

Bezpieczeństwo przewozu pasażerów oraz ładunków w jednoosobowych i bezpilotowych statkach powietrznych

Tomasz Balcerzak



**Bezpieczeństwo przewozu
pasażerów oraz ładunków
w jednoosobowych i bezpilotowych
statkach powietrznych**

DOI: 10.26399/978-83-66723-77-1

Tomasz Balcerzak

**Bezpieczeństwo przewozu
pasażerów oraz ładunków
w jednoosobowych i bezpilotowych
statkach powietrznych**



Warszawa 2024

*Bezpieczeństwo przewozu pasażerów oraz ładunków w jednoosobowych
i bezpilotowych statkach powietrznych*
Tomasz Balcerzak (Uczelnia Łazarskiego, ORCID 0000-0002-3845-998X)

Recenzenci: płk dr hab. Dariusz Bogusz, prof. LAW
dr hab. inż. nawig. Andrzej Fellner, prof. PŚ

Redaktor prowadząca: Aleksandra Szudrowicz
Realizacja typograficzna: PanDawer, www.pandawer.pl
Projekt okładki: Agnieszka Terczyńska, Studio Grafpa

DOI: 10.26399/978-83-66723-77-1

ISBN 978-83-66723-77-1
e-ISBN 978-83-66723-78-8

© Copyright by Uczelnia Łazarskiego 2024



Wydanie 1
Oficyna Wydawnicza Uczelni Łazarskiego, Warszawa 2024

SPIS TREŚCI

Wykaz ważniejszych terminów i pojęć	7
Wstęp	11
Rozdział 1. Cel i metodologia badań	22
Rozdział 2. Bezpieczeństwo w lotnictwie	36
Rozdział 3. Aspekty prawne i regulacyjne	107
Rozdział 4. Aspekty społeczne	166
Rozdział 5. Czynniki ekonomiczne	198
Rozdział 6. Perspektywy i kierunki rozwoju transportu lotniczego	209
Rozdział 7. Propozycja wdrożenia przewozu pasażerów i ładunków w samolotach bezzałogowych i z załogą jednoosobową uwzględniająca m.in. bezpieczeństwo transportu lotniczego	228
Rozdział 8. Podsumowanie i wnioski	238
Załącznik	243
Bibliografia	253
Streszczenie	261
Abstract	263
Spis tabel	265
Spis rysunków	266

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH TERMINÓW I POJĘĆ

- AI (*artificial intelligence*) – sztuczna inteligencja i ML (*machine learning*) – uczenie maszynowe; technologie, które mogą być stosowane w bezzałogowych oraz jednoosobowych systemach lotniczych do optymalizacji operacji i decyzji
- ATM (Air Traffic Management) – zarządzanie ruchem lotniczym; aspekty tego systemu, które muszą zostać dostosowane do integracji bezzałogowych i jednoosobowych operacji lotniczych
- autonomiczny lot – lot bez bezpośredniego udziału człowieka; system jest w stanie podejmować decyzje i wykonywać operacje bez interwencji z zewnątrz
- autopilot systems* – systemy autopilota; zaawansowana automatyzacja stosowana w celu wsparcia lub zastąpienia pilotów ludzi w prowadzeniu lotu
- ATC (Air Traffic Control) – kontrola ruchu lotniczego; system zarządzania ruchem samolotów w przestrzeni powietrznej odpowiedzialny za zapewnienie bezpiecznego i sprawnego przepływu lotów; zajmuje się monitorowaniem lotów, nadzorowaniem oraz udzielaniem zezwoleń i instrukcji dla samolotów w powietrzu oraz na ziemi
- BSP – bezzałogowy statek powietrzny (zob. także UAV); urządzenie latające bez pilota na pokładzie sterowane zdalnie lub działające autonomicznie
- BVLOS (Beyond Visual Line of Sight) – poza zasięgiem wzroku; operacje, w których pilot lub operator UAS nie jest w stanie utrzymać wzrokowego kontaktu z bezzałogowym statkiem powietrznym
- certification standards* – standardy certyfikacji; regulacje i wymogi, które bezzałogowe statki powietrzne muszą spełnić, aby zostać dopuszczone do operacji komercyjnych
- CRM (Crew Resource Management) – zarządzanie zasobami załogi; w kontekście jednoosobowych załóg odnosi się to do sposobów zarządzania zadaniami i obciążeniem pracy pilota
- cybersecurity* – bezpieczeństwo cybernetyczne; ważne dla ochrony systemów bezzałogowych przed zagrożeniami cyfrowymi
- EASA (European Union Aviation Safety Agency) – Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego; organizacja Unii Europejskiej odpowiedzialna za zapewnienie bezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym na terenie państw

- członkowskich; tworzy przepisy, przeprowadza certyfikacje samolotów i nadzoruje ich zgodność z przepisami bezpieczeństwa
- FAA (Federal Aviation Administration) – Federalna Administracja Lotnictwa; agencja rządowa Stanów Zjednoczonych odpowiedzialna za regulacje i nadzór nad lotnictwem cywilnym; ustanawia przepisy dotyczące bezpieczeństwa lotniczego, zarządza kontrolą ruchu lotniczego oraz nadzoruje rozwój systemów nawigacyjnych i lotnisk
- fail-safe systems* – systemy zapewniające maksymalne bezpieczeństwo operacji
- human factors* – czynnik ludzki; bada interakcje między ludźmi a systemami oraz znaczenie tych interakcji w kontekście projektowania i operacji
- IAS (Indicated Airspeed) – wskazywana prędkość powietrzna; prędkość samolotu odczytywana z prędkościomierza; różni się od rzeczywistej prędkości powietrznej, ponieważ nie uwzględnia takich czynników, jak ciśnienie powietrza, temperatura czy wysokość lotu.
- ICAO (International Civil Aviation Organization) – Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego; specjalistyczna agencja ONZ odpowiedzialna za ustanawianie globalnych norm i przepisów dotyczących lotnictwa cywilnego; odgrywa kluczową rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa, regularności i wydajności międzynarodowego lotnictwa cywilnego
- PIC (Pilot in Command) – pilot odpowiedzialny za bezpieczne prowadzenie lotu, który w przypadku załogi jednoosobowej musi obsługiwać wszystkie funkcje zwykle dzielone między dwóch lub więcej pilotów
- redundancy* – nadmiarowość w projektowaniu systemów; oznacza, że krytyczne komponenty mają zapasowe elementy, które mogą przejąć ich funkcje w przypadku awarii
- RPS (Remote Pilot Station) – stanowisko zdalnego pilota, z którego operator może sterować RPAS
- RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) – zdalnie pilotowany system statków powietrznych; termin często stosowany w kontekście operacji bardziej zaawansowanych niż wykonywane przez typowe drony
- SAA (Sense and Avoid) / DAA (Detect and Avoid) – systemy wykrywania i unikania przeszkód, kluczowe dla bezpiecznego funkcjonowania UAS w przestrzeni powietrznej
- single-pilot cockpit* – kokpit zaprojektowany do obsługi przez jednego pilota; może obejmować zaawansowane systemy wspomagające i automatyzację
- UAS (Unmanned Aircraft System) – systemy bezałogowych statków powietrznych, które mogą obejmować drony i inne typy maszyn zdolnych do autonomicznego lotu

- UAM (Urban Air Mobility) – mobilność powietrzna w obszarach miejskich; koncepcja wykorzystywania bezzałogowych statków powietrznych do transportu osób lub towarów w miastach
- UAV (Unmanned Aerial Vehicle) – bezzałogowy statek powietrzny; urządzenie latające bez pilota na pokładzie sterowane zdalnie lub działające autonomicznie; szeroko stosowane w przemyśle, wojsku, fotografii i innych dziedzinach; z uwagi na rozwój technologiczny zyskują coraz większe zastosowanie w misjach cywilnych, m.in. w logistyce czy monitorowaniu terenów
- UTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management) – system zarządzania ruchem bezzałogowych statków powietrznych zaprojektowany, aby umożliwić bezpieczną integrację UAS z załogowymi operacjami lotniczymi
- VLOS (Visual Line of Sight) – w zasięgu wzroku; operacje, w których pilot lub operator musi mieć ciągły kontakt wzrokowy z bezzałogowym statkiem powietrzny
- VTOL (Vertical Take-Off and Landing) – pionowy start i lądowanie; typ statku powietrznego, który ma zdolność pionowego wznoszenia się i lądowania bez potrzeby użycia pasa startowego; do tej kategorii należą śmigłowce oraz niektóre innowacyjne konstrukcje, takie jak samoloty wielowirnikowe (np. drony)

WSTĘP

Bezpieczeństwo przewozu pasażerów oraz ładunków w samolotach bezzałogowych i z załogą jednoosobową budzi szereg dyskusji i analiz. Dążenie do zwiększenia efektywności i obniżenia kosztów eksploatacji przy jednoczesnym utrzymaniu lub podniesieniu poziomu bezpieczeństwa jest główną motywacją do wprowadzania tych innowacji.

1. Bezpilotowe przewozy towarów cargo

Przewozy cargo bez załogi lotniczej stanowią istotny krok w ewolucji transportu, generując zarówno zalety, jak i wyzwania dla sektora logistycznego. Wśród korzyści związanych z tą formą transportu wymienia się argument, że są one postrzegane jako mniej ryzykowne niż przewozy pasażerskie. Istnieje przekonanie, że eliminują one ryzyko dla życia ludzkiego w przypadku ewentualnych awarii. W ten sposób, nie obciążając się obowiązkiem zapewnienia bezpieczeństwa pasażerom, przewozy cargo mogą koncentrować się na efektywnym dostarczaniu towarów.

Ponadto bezpilotowe przewozy cargo mają potencjał operowania na trasach mniej atrakcyjnych dla tradycyjnych linii lotniczych. Są zdolne do pokonywania tras, które mogą być zbyt kosztowne lub zbyt mało rentowne dla przewoźników tradycyjnych obsługujących loty pasażerskie oraz cargo. W rezultacie wzrosnie dostępność i częstotliwość dostaw, co może być kluczowe dla potencjału logistycznego i handlowego, szczególnie w przypadku obszarów o ograniczonej infrastrukturze transportowej.

Jednakże mimo tych potencjalnych korzyści, przewozy cargo bez załogi lotniczej stają w obliczu istotnych wyzwań. Przede wszystkim systemy muszą być wyjątkowo niezawodne, aby przetransportować towary bezpiecznie i na czas. Każda awaria może skutkować opóźnieniami w dostawach lub nawet utratą towarów, co może mieć znaczący wpływ na łańcuchy dostaw i klientów końcowych.

Ponadto systemy te muszą być w stanie samodzielnie reagować na awarie i nieprzewidziane sytuacje. W przeciwieństwie do lotów z załogą, w których pilot (człowiek) może podejmować szybkie decyzje w sytuacjach kryzysowych, systemy

bezzałogowe muszą być wyposażone w zaawansowane algorytmy i systemy zarządzania awaryjnego, aby zapewnić bezpieczeństwo i skuteczność w każdej sytuacji.

Przewozy cargo bez załogi oferują wiele korzyści; ich powszechne wdrożenie wymaga sprostania wielu technicznym i operacyjnym wyzwaniom. Jednakże z odpowiednim zaangażowaniem technologicznym i regulacyjnym mogą one stać się kluczowym elementem przyszłości transportu cargo, przyczyniając się do funkcjonowania efektywniejszych i bardziej elastycznych łańcuchów dostaw na całym świecie.

2. Bezpilotowe przewozy pasażerskie

Bezpilotowe przewozy pasażerskie reprezentują przełomową koncepcję w dziedzinie transportu lotniczego, otwierając nowe możliwości i wyzwania dla przyszłości mobilności.

Do jego podstawowych atutów należy potencjał w zakresie długoterminowego zmniejszania liczby błędów ludzkich, które stanowią jedną z głównych przyczyn wypadków lotniczych. Automatyzacja procesów pokładowych może zmniejszyć ryzyko popełniania pomyłek przez człowieka, co przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa podróży lotniczych. Eliminacja czynnika ludzkiego może również skutkować bardziej jednolitym i przewidywalnym poziomem bezpieczeństwa w lotnictwie pasażerskim.

Pomimo obiecujących perspektyw w odniesieniu do bezpilotowych przewozów pasażerskich pojawiają się istotne wyzwania, którym należy skutecznie sprostać. Pierwszym z nich jest konieczność wyposażenia systemów bezpilotowych w silne redundancje, aby zapewnić bezpieczeństwo pasażerów w przypadku awarii pojedynczych systemów. W odróżnieniu od tradycyjnych lotów z załogą, podczas których piloci mogą reagować na awarie w czasie rzeczywistym, bezzałogowe statki powietrzne muszą być wyposażone w zaawansowane systemy zapasowe i procedury awaryjne, aby utrzymać pełną kontrolę nad sytuacją.

Drugim istotnym wyzwaniem jest budowanie wobec nich zaufania społecznego i pozyskanie dla nich akceptacji. Mimo że osiągnięcia technologiczne mogą zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa, to zaufanie społeczne pozostaje kluczowym czynnikiem determinującym sukces tego rodzaju inicjatyw. Konieczne będzie przeprowadzenie kampanii informacyjnych i edukacyjnych, aby wyjaśnić społeczeństwu zalety i przekonać do bezpieczeństwa bezzałogowych przewozów pasażerskich oraz wyeliminować obawy i niepewności związane z tą nową technologią.

Bezpilotowe przewozy pasażerskie mają ogromny potencjał rewolucjonizacji branży lotniczej, jednak ich powszechne wprowadzenie będzie wymagało

pokonania wielu technicznych, operacyjnych i społecznych przeszkód. W miarę postępu technologicznego i zmieniających się norm regulacyjnych może się okazać, że staną się integralną częścią przyszłości transportu lotniczego, przyczyniając się do bardziej efektywnych i bezpiecznych podróży milionów pasażerów na całym świecie.

3. Jednoosobowe składy załogi lotniczej

Jednoosobowe składy załogi lotniczej stanowią koncepcję, która wzbudza zarówno zainteresowanie, jak i dyskusje w kontekście przyszłości lotnictwa.

W przypadku przewozów cargo redukcja załogi do jednej osoby może przynieść istotne oszczędności i ułatwić zarządzanie lotami. Maksymalne ograniczenie liczby personelu lotniczego może zminimalizować koszty operacyjne, zwłaszcza w przypadku długich lotów towarowych – cargo, w których obecność dodatkowych członków załogi będzie generować większe koszty utrzymania i logistyki.

W przewozach pasażerskich jednoosobowe składy załogi mogą stanowić krok pośredni między tradycyjnymi, pełnoskładowymi załogami a pełną autonomią lotu. Taki model może być szczególnie atrakcyjny dla linii lotniczych, które dążą do zwiększenia efektywności operacyjnej, jednocześnie zapewniając wysoki poziom bezpieczeństwa i komfortu pasażerów.

Jednym z głównych wyzwań związanych z jednoosobowymi składami załogi lotniczej jest konieczność przygotowania pilota do zarządzania wszystkimi aspektami lotu samodzielnie, włącznie z potencjalnymi sytuacjami awaryjnymi. Zamiast polegać na współpracy zespołowej, pilot musi być w stanie podejmować szybkie i trafne decyzje w warunkach stresu, co wymaga wysokiego poziomu wykształcenia i kompetencji. Ponadto konieczne jest stworzenie systemów, które wesprą pilota w sytuacjach awaryjnych i zapewnią odpowiednie wsparcie w przypadku konieczności podjęcia krytycznych decyzji. Zaawansowane systemy awaryjne i automatyzacja mogą być kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa i skuteczności operacji lotniczych w przypadku załóg jednoosobowych.

Jednoosobowe składy załogi lotniczej generują zarówno korzyści, jak i wyzwania dla przemysłu lotniczego. Ich skuteczne wdrożenie będzie wymagało uwzględnienia różnorodnych czynników, takich jak aspekty operacyjne, technologiczne oraz kwestie bezpieczeństwa i ludzkiej wydajności. Jednakże przy odpowiednim, innowacyjnym podejściu mogą stać się integralną częścią przyszłości lotnictwa, przyczyniając się do bardziej efektywnych i zrównoważonych operacji lotniczych na całym świecie.

4. Kwestie bezpieczeństwa

Kwestie bezpieczeństwa stanowią priorytetowy obszar w kontekście rozwoju oraz implementacji systemów bezpilotowych zarówno w transporcie lotniczym, jak i innych dziedzinach.

Rozwój technologii sztucznej inteligencji (AI)¹, zdolnej do podejmowania decyzji w warunkach niepewności i pod dużą presją, jest kluczowy dla zapewnienia bezpieczeństwa operacji bezzałogowych. AI może być wykorzystywana do analizy danych z wielu źródeł, identyfikacji zagrożeń oraz podejmowania szybkich i skutecznych działań w sytuacjach krytycznych. Systemy AI mogą również wspomagać pilotów lub operatorów w podejmowaniu decyzji, poprawiając ich reakcję na sytuacje awaryjne i zwiększając bezpieczeństwo operacji.

Ponadto systemy bezpilotowe muszą być wyposażone w zaawansowane technologie komunikacyjne, które umożliwiają bezpieczne i niezawodne nawiązywanie komunikacji z kontrolerami ruchu lotniczego oraz innymi samolotami w przestrzeni powietrznej. Skuteczna komunikacja jest kluczowa dla zapewnienia

¹ Sztuczna inteligencja (AI) w lotnictwie jest jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się obszarów technologicznych, który ma potencjał przekształcenia całego przemysłu. Jest wykorzystywana w wielu aspektach lotnictwa, od projektowania i produkcji samolotów po operacje lotnicze, zarządzanie ruchem lotniczym i obsługę klienta. Jedne z kluczowych zastosowań AI w lotnictwie odnoszą się do autopilota i rozwoju autonomicznych systemów lotu. Te zaawansowane systemy mogą analizować ogromne ilości danych z czujników i innych źródeł w czasie rzeczywistym, co pozwala na podejmowanie szybkich i dokładnych decyzji nawigacyjnych. Chociaż pełna autonomia w lotach pasażerskich nie jest jeszcze rzeczywistością, w dziedzinie bezzałogowych statków powietrznych (dronów) i małych samolotów postęp jest znaczący. W obszarze zarządzania ruchem lotniczym AI jest stosowana do optymalizacji przepływu ruchu lotniczego, co ma kluczowe znaczenie dla zwiększenia wydajności, bezpieczeństwa oraz minimalizacji opóźnień. Systemy AI mogą analizować wzorce ruchu, warunki pogodowe i inne czynniki, aby zapewnić płynniejszy i bezpieczniejszy przepływ ruchu lotniczego. AI jest również wykorzystywana w obsłudze technicznej i inspekcji samolotów, gdzie może pomóc w wykrywaniu i diagnozowaniu potencjalnych problemów przed ich wystąpieniem. Algorytmy uczenia maszynowego są w stanie analizować dane z czujników i przeprowadzać szczegółowe analizy stanu różnych komponentów samolotu, co pozwala na bardziej efektywne planowanie konserwacji i zmniejszenie ryzyka awarii. W dziedzinie obsługi klienta AI jest używana do automatyzacji i personalizacji interakcji z klientami, na przykład przez chatboty obsługujące rezerwacje biletów lub odpowiadające na pytania klientów. Sztuczna inteligencja może również pomagać w analizowaniu danych klientów w celu dostarczania bardziej spersonalizowanych usług i ofert. Ponadto ma potencjał zrewolucjonizowania projektowania samolotów, umożliwiając tworzenie bardziej wydajnych i ekologicznych modeli. Algorytmy uczenia maszynowego mogą być wykorzystywane do optymalizacji projektów pod kątem aerodynamiki, wydajności paliwowej i redukcji emisji.

bezpieczeństwa operacji bezzałogowych, ponieważ umożliwia świadome działania i koordynację w dynamicznym środowisku lotniczym.

Pomimo postępu technologicznego systemy bezpilotowe nadal napotykają istotne wyzwania związane z zapewnieniem bezpieczeństwa operacji. Jednym z głównych jest konieczność zapewnienia niezawodności i odporności systemów na zakłócenia oraz awarie techniczne. Systemy bezpilotowe muszą być wyposażone w zaawansowane zabezpieczenia i redundancje, które umożliwiają kontynuację operacji nawet w przypadku wystąpienia nieprzewidzianych sytuacji.

Ponadto w zakresie operacji bezpilotowych istnieją również wyzwania związane z regulacją i standaryzacją. Konieczne jest opracowanie klarownych ram prawnych i norm bezpieczeństwa, które uregulują korzystanie z systemów bezzałogowych w przestrzeni powietrznej oraz określą odpowiedzialność za ewentualne incydenty i wypadki.

Rozwój technologii wspomagających oraz skuteczne rozwiązanie kluczowych wyzwań to podstawowe elementy zapewnienia bezpieczeństwa operacji bezpilotowych. Przy zachowaniu odpowiedniej równowagi między innowacją a bezpieczeństwem systemy bezzałogowe mogą stanowić skuteczne narzędzie w różnych dziedzinach, przyczyniając się do poprawy efektywności i bezpieczeństwa operacji w przestrzeni powietrznej oraz innych obszarach.

Aspekty bezpieczeństwa stanowią niezwykle ważny element rozważań przy wprowadzaniu nowych technologii lotniczych zarówno w przypadku samolotów bezpilotowych, jak i załóg jednoosobowych.

W kontekście samolotów bezpilotowych integralność systemu jest absolutnie kluczowa. Niezawodność oprogramowania i hardware'u musi być zapewniona na najwyższym poziomie. Każdy system musi być zaprojektowany z myślą o *fail-safe* i redundancji², aby minimalizować ryzyko awarii i zapewnić ciągłość

² Pojęcie *fail-safe* w lotnictwie odnosi się do projektowania systemów i komponentów samolotów w taki sposób, aby w przypadku ich awarii minimalizować ryzyko poważnych konsekwencji. Jest to kluczowy element bezpieczeństwa, który ma na celu zapewnienie, że nawet w przypadku nieoczekiwanej usterki lub błędu samolot pozostanie bezpieczny dla załogi, pasażerów i otoczenia. *Fail-safe* w lotnictwie obejmuje szereg różnych strategii i technologii. Jedną z nich jest opisywana wcześniej redundancja, czyli zastosowanie wielokrotnych, niezależnych systemów wykonujących te same funkcje. Dzięki temu, jeśli jeden system zawiedzie, inny może przejąć jego zadania. Przykładem może być wyposażenie w wiele niezależnych systemów nawigacji i sterowania, tak aby w przypadku awarii jednego z nich, inne mogły zapewnić bezpieczne kontynuowanie lotu. Inną strategią *fail-safe* jest projektowanie komponentów tak, aby w przypadku ich uszkodzenia nie dochodziło do katastrofalnych awarii. Na przykład, niektóre elementy samolotu są zaprojektowane w taki sposób, by w przypadku uszkodzenia „zawodziły w kontrolowany sposób”, nie powodując dalszych uszkodzeń innych części maszyny. *Fail-safe* dotyczy również systemów ostrzegania i diagnostyki, które monitorują różne aspekty działania samolotu i informują załogę o wszelkich nieprawidłowościach lub potencjalnych

operacji. Ponadto systemy muszą być zdolne do reagowania na awarie i nieprzewidziane zdarzenia w czasie rzeczywistym, co wymaga zaawansowanych mechanizmów monitorowania i kontroli.

W przypadku zarządzania ruchem lotniczym konieczne jest całkowite prze-modelowanie procedur, tak aby uwzględnić samoloty bezzałogowe. Autonomiczne procedury związane z wejściem przestrzeni kontrolowanej i opuszczeniem jej muszą być wprowadzone i doskonale zsynchronizowane z istniejącymi systemami.

Natomiast w kontekście załóg jednoosobowych kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa operacji jest wsparcie pilota. Rozwój zaawansowanych systemów wspomagających jego decyzje i działania, zwłaszcza w sytuacjach krytycznych, może znacznie zwiększyć poziom bezpieczeństwa. Monitorowanie stanu zdrowia i samopoczucia pilota jest niezbędne w celu zapobieżenia zmęczeniu i przeciążeniu zadaniowemu, co może znacząco wpłynąć na zdolność pilota do skutecznego wykonywania obowiązków.

Zarówno w przypadku samolotów bezpilotowych, jak i załóg jednoosobowych, aspekty bezpieczeństwa wymagają szczególnej uwagi i ciągłego doskonalenia. Tylko poprzez ciągłe innowacje, rozwój technologii oraz ścisłe przestrzeganie procedur można zagwarantować wysoki poziom bezpieczeństwa w lotnictwie.

5. Bezpieczeństwo cybernetyczne

Kluczową rolę w kontekście bezpieczeństwa operacji bezpilotowych oraz jednoosobowych załóg samolotowych odgrywa bezpieczeństwo cybernetyczne. Ze względu na rosnącą złożoność systemów lotniczych i zwiększone wykorzystanie technologii informatycznych, bezpilotowe oraz jednoosobowe składy załóg samolotów stają się szczególnie narażone na ataki cybernetyczne, co wymaga zastosowania zaawansowanych rozwiązań w zakresie cyberbezpieczeństwa.

Współczesne systemy lotnicze, w tym bezzałogowe statki powietrzne oraz samoloty z załogą jednoosobową, są coraz bardziej zintegrowane z systemami informatycznymi i sieciami komunikacyjnymi. To z kolei stwarza nowe kierunki ataków dla potencjalnych intruzów, którzy mogą próbować przejąć kontrolę nad systemem lotniczym, zakłócić jego działanie lub uzyskać poufne informacje.

problemach. Dzięki temu załoga może podjąć odpowiednie działania naprawcze lub awaryjne jeszcze przed wystąpieniem poważniejszej usterki. W praktyce koncepcja *fail-safe* w lotnictwie oznacza ciągłe dążenie do projektowania i budowy samolotów w taki sposób, aby maksymalnie ograniczyć ryzyko poważnych awarii. Jest to proces ciągły, obejmujący zarówno rozwój nowych technologii, jak i stałą analizę oraz ulepszanie istniejących systemów. Bezpieczeństwo jest priorytetem w lotnictwie, a strategię *fail-safe* są kluczowym elementem w osiągnięciu tego celu.

Ataki cybernetyczne na tego rodzaju systemy mogą prowadzić do poważnych konsekwencji, w tym utraty kontroli nad statkiem powietrznym, zakłóceń w działaniu systemów awaryjnych, a nawet w skrajnych przypadkach – wypadków lotniczych. Dlatego też rozwój zaawansowanych rozwiązań w zakresie cyberbezpieczeństwa staje się priorytetem dla producentów, operatorów oraz regulatorów w przemyśle lotniczym.

W celu zapewnienia skutecznego bezpieczeństwa cybernetycznego bezpilotowym i jednoosobowym załogom lotniczym samolotów konieczne jest zastosowanie wielu warstw zabezpieczeń, w tym: szyfrowania danych, mechanizmów uwierzytelniania, systemów detekcji i reakcji na incydenty oraz stałych aktualizacji oprogramowania. Szyfrowanie danych jest konieczne, aby uniemożliwić przechwycenie przesyłanych informacji i manipulację nimi. Wykorzystanie silnych mechanizmów uwierzytelniania i autoryzacji jest niezbędne do zapobiegnięcia nieautoryzowanemu dostępowi do systemów lotniczych. Implementacja zaawansowanych systemów detekcji ataków cybernetycznych oraz szybka reakcja na potencjalne incydenty minimalizuje ich skutki i zapewnia ciągłość operacji lotniczych. Regularne aktualizacje oprogramowania oraz łatki bezpieczeństwa są nieodzowne, aby uniemożliwić wykorzystywanie przez potencjalnych atakujących luk w zabezpieczeniach.

Bezpieczeństwo cybernetyczne stanowi podstawowy element w aspekcie operacji bezpilotowych oraz jednoosobowych składów załóg lotniczych samolotów. W obliczu rosnącego zagrożenia atakami cybernetycznymi konieczne jest ciągle doskonalenie i wdrażanie zaawansowanych rozwiązań w zakresie cyberbezpieczeństwa, aby zapewnić niezawodność, bezpieczeństwo oraz integralność systemów lotniczych.

6. Szkolenie i procedury

Szkolenie i procedury mają bardzo duże znaczenie w kontekście wdrożenia bezpilotowych oraz jednoosobowych składów załóg lotniczych w przemyśle lotniczym. Załogi naziemne, kontrolerzy ruchu lotniczego, personel pokładowy, a także sami piloci będą musieli wziąć udział w intensywnych programach szkoleniowych, aby móc efektywnie współpracować z zaawansowanymi systemami automatycznymi.

Wdrożenie bezpilotowych oraz jednoosobowych składów załóg lotniczych w komercyjnych przewozach pasażerskich i cargo będzie wymagało znaczących inwestycji oraz zmian w podejściu do zarządzania ruchem lotniczym. Bezpieczeństwo pozostaje najważniejszym aspektem, którego nie można lekceważyć w dążeniu do innowacji i efektywności. Obejmuje ono wiele aspektów – od

technologicznych po społeczne i prawne. Każdy z tych obszarów przedstawia unikalne wyzwania i możliwości.

Wszyscy uczestnicy systemu lotniczego powinni być odpowiednio przeszkoleni i przygotowani do pracy z nowymi technologiami oraz procedurami. Kontrolerzy ruchu lotniczego muszą opanować nowe narzędzia i interfejsy, które umożliwią im skuteczne zarządzanie ruchem lotniczym obejmującym bezzałogowe statki powietrzne oraz samoloty z jednoosobową załogą lotniczą.

Piloci z kolei będą musieli przystosować się do nowych ról i obowiązków, które wynikają z wprowadzenia zaawansowanych systemów automatycznych. Powinni być w stanie skutecznie reagować na sytuacje awaryjne oraz współpracować z systemami AI, które mogą wspomagać ich decyzje i działania w trakcie lotu.

Ostatecznie skuteczne szkolenie i odpowiednie procedury są niezwykle istotne dla zapewnienia bezpieczeństwa operacji bezpilotowych oraz jednoosobowych załóg lotniczych. Poprawne przygotowanie wszystkich uczestników procesu lotniczego będzie stanowiło fundament dla bezpiecznego i efektywnego funkcjonowania nowych technologii w przestrzeni powietrznej.

7. Aspekty technologiczne

W ewolucji lotnictwa, szczególnie w kontekście wprowadzenia bezpilotowych systemów lotniczych oraz nowych technologii wspierających załogi jednoosobowe, bardzo dużą wartość mają aspekty technologiczne. Automatyzacja i AI stają się w lotnictwie coraz bardziej istotne, umożliwiając podejmowanie decyzji w dynamicznych i złożonych środowiskach lotniczych. Rozwój AI, która jest zdolna do analizy dużej ilości danych w czasie rzeczywistym oraz podejmowania odpowiednich działań, ma ogromne znaczenie dla zwiększenia bezpieczeństwa i efektywności operacji lotniczych.

Wprowadzenie systemów zarządzania ruchem lotniczym Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) ma na celu koordynowanie lotów zarówno załogowych, jak i bezzałogowych w jednym zintegrowanym systemie. UTM pozwala na skuteczne monitorowanie, zarządzanie i kontrolę ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej, zapewniając bezpieczne i efektywne operacje.

Cyberbezpieczeństwo staje się coraz bardziej istotnym aspektem w kontekście bezpieczeństwa lotniczego. Zapewnienie ochrony przed atakami hakerskimi ma zasadnicze znaczenie, biorąc pod uwagę zdalny charakter sterowania i zależność bezpilotowych systemów lotniczych od cyfrowych systemów komunikacji. W zakresie cyberbezpieczeństwa konieczne jest zastosowanie zaawansowanych rozwiązań, które chronią systemy lotnicze przed zagrożeniami oraz zapewniają ciągłość operacji.

Aspekty technologiczne mają znaczący wpływ na rozwój lotnictwa, szczególnie w odniesieniu do automatyzacji, sztucznej inteligencji, zarządzania ruchem lotniczym oraz cyberbezpieczeństwa. Ciągły rozwój i innowacje w tych obszarach są kluczowe dla zapewnienia bezpiecznych, efektywnych i zrównoważonych operacji lotniczych w przyszłości.

8. Aspekty społeczne

Aspekty społeczne silnie oddziałują na rozwój, determinując akceptację nowych technologii lotniczych, szczególnie w kontekście bezpilotowych systemów lotniczych oraz załóg jednoosobowych.

Akceptacja publiczna stanowi istotny czynnik sukcesu w kwestii przewozów bezpilotowych. Niezbędne jest budowanie zaufania publicznego poprzez uświadamianie bezpieczeństwa i skuteczności systemów bezpilotowych. Aby zaakceptować szerokie zastosowanie nowych technologii, społeczeństwo musi być przekonane o tym, że są one bezpieczne i niezawodne.

W przypadku przewozów z załogą jednoosobową kluczowe wyzwanie stanowi przekonanie społeczeństwa, że jeden pilot jest wystarczający do bezpiecznego prowadzenia lotu. Pomimo postępu technologicznego istnieje pewien poziom oporu i nieufności, który należy skutecznie przezwyciężyć poprzez edukację i informowanie.

Innym istotnym czynnikiem jest również wpływ nowych technologii na zatrudnienie. Perspektywa zmniejszenia liczby miejsc pracy dla pilotów, które nastąpi w wyniku automatyzacji, może spotkać się z oporem związków zawodowych i pracowników branży lotniczej. Konieczne jest znalezienie równowagi między wykorzystaniem nowych technologii a zachowaniem miejsc pracy oraz zapewnieniem wsparcia dla osób dotkniętych ewentualnymi zmianami na rynku pracy.

Budowanie zaufania publicznego, przekonanie społeczeństwa oraz zarządzanie skutkami społecznymi zmian w branży lotniczej są niezbędne dla zapewnienia pomyślnego i zrównoważonego rozwoju lotnictwa w przyszłości.

9. Aspekty prawne, regulacje i standardy

Regulacje lotnicze na całym świecie zawierają wymóg obecności pilotów na pokładach samolotów przewożących pasażerów. Z tego powodu konieczne będą istotne zmiany w tych regulacjach, by uwzględnić nowe technologie i zmieniające się modele operacyjne w lotnictwie. Certyfikacja samolotów bezzałogowych

oraz tych z załogą jednoosobową będzie wymagała opracowania nowych przepisów technicznych i operacyjnych, które zagwarantują bezpieczeństwo oraz zgodność z obowiązującymi standardami.

Odpowiedzialność prawna w zakresie nowych technologii lotniczych musi być jasno określona. Istnieć powinno klarowne określenie tego, kto ponosi odpowiedzialność w przypadku zaistnienia wypadku – czy producent systemu, operator, czy może inna strona zaangażowana w operacje lotnicze. Zapewnienie odpowiedniej klarowności w tym obszarze jest kluczowe dla zapewnienia ochrony interesów wszystkich zaangażowanych stron.

Samoloty bezpilotowe będą musiały zostać zaakceptowane na poziomie międzynarodowym. Wymaga to współpracy i porozumienia między różnymi krajami oraz organizacjami międzynarodowymi. Konieczne jest wypracowanie wspólnych standardów oraz procedur, które umożliwią bezpieczne i efektywne operacje bezpilotowych systemów lotniczych. Opracowanie klarownych przepisów i procedur zapewni zgodność operacji lotniczych z prawem oraz ich bezpieczeństwo, zarówno na poziomie krajowym, jak i międzynarodowym.

Wdrażanie samolotów bezpilotowych i z załogą jednoosobową jest procesem stopniowym, który będzie wymagał intensywnej współpracy między inżynierami, naukowcami, organami regulacyjnymi, liniami lotniczymi, a także społeczeństwem. Każdy z tych aspektów wymaga starannej analizy i planowania w celu zapewnienia, by nowe modele operacyjne były nie tylko wykonalne z ekonomicznego punktu widzenia, ale przede wszystkim bezpieczne.

Regulacje i standardy mają kluczowe znaczenie w kontekście operacji bezpilotowych oraz jednoosobowych składów załóg lotniczych w przemyśle lotniczym. Aktualne przepisy lotnicze często nie są dostosowane do specyfiki tego rodzaju operacji, co wymaga intensywnej pracy legislacyjnej i ustanowienia nowych standardów, które adekwatnie uwzględnią wyzwania i potrzeby z nimi związane.

W przypadku operacji bezpilotowych oraz załóg jednoosobowych konieczne jest opracowanie szczegółowych scenariuszy testowych oraz procesów certyfikacji nowych systemów. Testy i certyfikacja muszą być przeprowadzane w sposób szczegółowy i dokładny, aby gwarantowały, że nowe technologie i rozwiązania spełniają wymagane standardy bezpieczeństwa oraz są zgodne z obowiązującymi regulacjami lotniczymi.

Wdrażanie nowych regulacji i standardów dla operacji bezpilotowych oraz załóg jednoosobowych wymaga współpracy pomiędzy władzami regulacyjnymi, producentami, operatorami – liniami lotniczymi oraz innymi zainteresowanymi stronami. Istotne jest, aby były one klarowne, spójne oraz elastyczne i w rezultacie umożliwiały rozwój, a także innowacje w dziedzinie bezzałogowych

i jednoosobowych systemów lotniczych, jednocześnie zapewniając wysoki poziom bezpieczeństwa i skuteczności operacyjnej.

W miarę postępu technologicznego i zmieniających się potrzeb branży lotniczej konieczne będzie ciągłe monitorowanie i aktualizacja tych regulacji oraz standardów. Odpowiednie ich dostosowanie do nowych technologii i trendów pozwoli na skuteczne oraz bezpieczne wprowadzanie innowacji do przemysłu lotniczego, co przyczyni się do dalszego rozwoju i doskonalenia tego dynamicznego sektora.

ROZDZIAŁ 1

CEL I METODOLOGIA BADAŃ

Niniejsza monografia uwzględnia szereg kluczowych czynników rozwojowych i zmian zachodzących w branży lotniczej. Rozwój technologii bezzałogowych i autonomicznych otwiera nowe możliwości dla transportu lotniczego, a postęp w tej dziedzinie zmienia sposób przewozu pasażerów i cargo. Dlatego też, tworząc monografię, podjęto się zbadania tych innowacji oraz przyszłości transportu lotniczego w kontekście bezpilotowców i automatyzacji.

Aspekty prawne i regulacyjne wprowadzenia bezpilotowych i jednoosobowych składów załogi generują nowe wyzwania w zakresie przepisów lotniczych. Analiza prawna jest niezbędna do zrozumienia potrzebnego kierunku nowelizacji przepisów w celu wspierania tych technologii przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa i ochrony praw. Monografia prezentuje badania nad problemem, wskazując, jak istniejące przepisy mogą ewoluować i jakie nowe regulacje mogą być potrzebne.

Jak wyżej wspomniano, bezpieczeństwo lotnicze jest zagadnieniem kluczowym, dlatego dokonano analizy zarówno wyzwań, jak i potencjalnych korzyści z wprowadzenia bardziej zautomatyzowanych systemów lotniczych właśnie w tym aspekcie. Bezpieczeństwo stanowi priorytet w lotnictwie, więc analiza wpływu bezpilotowych i jednoosobowych załóg na standardy i procedury w tej dziedzinie jest istotna dla przyszłych operacji lotniczych.

Znaczenie ekonomiczne zautomatyzowanych i jednoosobowych systemów załogowych obejmuje potencjalne oszczędności kosztów i zwiększoną efektywność operacyjną. Monografia przedstawia badania tych implikacji oraz potencjalnego wpływu na rynek pracy w lotnictwie.

Biorąc pod uwagę fakt, że aspekty społeczne, w tym akceptacja społeczna, są istotne w kontekście reakcji społeczeństwa na zmiany w przewozie lotniczym, podobnie jak zaufanie do systemów autonomicznych i bezzałogowych, podjęto rozważania nad społecznym odbiorem tych zmian, uwzględniając szeroki zakres problematyki – od obaw o bezpieczeństwo po kwestie zatrudnienia.

Kolejnym zagadnieniem jest przyszłość lotnictwa uwzględniająca szybki rozwój technologiczny i zmieniające się wymagania środowiskowe oraz społeczne.

Badanie możliwości rynkowych bezzałogowych i jednoosobowych operacji lotniczych w kontekście przewozu towarów i pasażerów jest niezmiernie ważne dla przyszłych inwestycji i innowacji w branży.

1.1. Cel monografii

Celem niniejszej monografii jest zintegrowanie wiedzy interdyscyplinarnej dla zrozumienia, oceny i rozwoju zaleceń dotyczących bezpieczeństwa pasażerskich przewozów lotniczych oraz cargo w kontekście operacji bezpilotowych i z załoгами jednoosobowymi, przy uwzględnieniu obecnych i przyszłych wyzwań w dziedzinach technologii, bezpieczeństwa operacyjnego, oczekiwań społecznych i regulacji prawnych.

W ramach analizy technologicznej zbadano obecne i rozwijające się technologie stosowane w bezpilotowych i jednoosobowych systemach lotniczych oraz dokonano oceny ich wpływu na bezpieczeństwo operacji lotniczych. Następnie przeprowadzona została krytyczna ocena systemów bezpieczeństwa stosowanych w lotnictwie bezzałogowym i jednoosobowym, w tym metod zarządzania ryzykiem, protokołów reakcji awaryjnej i wymogów certyfikacyjnych.

Zrozumienie społecznych konsekwencji wprowadzania bezpilotowych i jednoosobowych systemów lotniczych, w tym wpływu na rynek pracy, zmian w percepcji społecznej i kwestii zaufania publicznego, stanowi kolejny ważny problem badawczy. Istotnym aspektem jest również zidentyfikowanie luk w obecnych regulacjach prawnych, które wymagają dostosowania do zmieniającego się środowiska lotniczego, oraz opracowanie zaleceń mających na celu wspieranie prawodawców i odpowiednich organów w tworzeniu nowych, adekwatnych ram regulacyjnych. Wyniki analizy zostały zintegrowane w przekrojowych zaleceniach dotyczących bezpiecznej implementacji i eksploatacji bezpilotowych oraz jednoosobowych systemów lotniczych w przewozach pasażerskich i cargo.

Długoterminowym celem jest przyczynienie się do rozwoju i implementacji polityk oraz praktyk, które umożliwią bezpieczne, skuteczne oraz akceptowalne społecznie wdrożenie bezpilotowych i jednoosobowych systemów lotniczych w przemyśle lotniczym na całym świecie.

Poprzez realizację tych celów niniejsza monografia ma nie tylko przyczynić się do akademickiej dyskusji na temat przyszłości lotnictwa, ale również służyć jako kompendium wiedzy dla decydentów, projektantów systemów lotniczych, operatorów lotniczych oraz organów regulacyjnych odpowiedzialnych za kształtowanie przyszłości bezpiecznego lotnictwa.

Wyzwania współczesnego lotnictwa dotyczą nie tylko zwiększenia efektywności i redukcji kosztów, ale także poprawy bezpieczeństwa oraz minimalizowania negatywnego wpływu na środowisko. Autonomizacja lotnictwa ma potencjał rewolucjonizacji branży, ale niesie za sobą nowe zadania z zakresu bezpieczeństwa i regulacji prawnych, które wymagają dogłębnej analizy. Rozwój technologii autonomicznych, w tym sztucznej inteligencji, systemów sensorycznych i algorytmów decyzyjnych, otwiera możliwości dla operacji lotniczych z mniejszą liczbą pilotów na pokładzie lub bez nich. W niniejszej monografii ukazano, jak postęp technologiczny wpływa na aspekty bezpieczeństwa i jakie są jego granice.

Przyjęcie nowych technologii przez społeczeństwo jest kluczowe dla ich sukcesu. W lotnictwie, w którym bezpieczeństwo jest nadrzędne, budowanie zaufania do systemów bezpilotowych staje się niezbędne.

W monografii skupiono się na aspektach społecznych nowych technologii, biorąc pod uwagę percepcję bezpieczeństwa przez pasażerów i społeczeństwo. Przejście na operacje bezpilotowe lub załogi jednoosobowe wymaga rewizji istniejących ram prawnych i regulacyjnych. Monografia ma na celu analizę aktualnego stanu prawnego oraz projektowanie potencjalnych zmian, które umożliwią integrację nowych technologii z istniejącym systemem przepisów. Przeprowadzono w niej również dokładną analizę ryzyka i strategii zarządzania nim w kontekście operacji bezzałogowych i z załogą jednoosobową, bowiem bezpieczeństwo operacyjne ma fundamentalne znaczenie dla branży lotniczej. Przewozy zarówno pasażerskie, jak i cargo, muszą podlegać rygorystycznym procedurom, które zapewnią bezpieczeństwo na najwyższym możliwym poziomie.

Dążenie do pogłębienia wiedzy naukowej oraz praktycznego przyczynienia się do rozwoju bezpiecznego i efektywnego lotnictwa stanowiło główną motywację napisania tej monografii.

Osobiste połączenie doświadczenia w pilotażu, zarządzaniu komercyjną działalnością lotniczą i badaniami naukowymi dały autorowi monografii szeroką i zintegrowaną perspektywę na wyzwania i możliwości w lotnictwie. Fascynacja postępowaniem technologicznym i chęć badania nowych granic w lotnictwie są kluczowym motywatorem, by zgłębiać oraz analizować wpływ załóg bezpilotowych i jednoosobowych na tę branżę. Jako pilot autor jest bezpośrednio zaangażowany w kwestie bezpieczeństwa lotniczego, a badanie, w jaki sposób nowe technologie na nie wpłyną, postrzega jako bardzo ważne. Doświadczenie jako menedżera lotniczego pozwala zrozumieć, jak zmiany w załogach mogą wpłynąć na operacje, logistykę i ekonomię lotnictwa. Jako naukowiec natomiast ma możliwość przyczynienia się do poszerzenia rosnącej dziedziny wiedzy na temat integracji zaawansowanych technologii w lotnictwie. Spostrzeżenia i analizy mogą mieć wpływ na kształtowanie przyszłych regulacji i polityk dotyczących lotnictwa.

Edukowanie innych w zakresie możliwości oraz wyzwań związanych z bezzałogowymi i jednoosobowymi operacjami lotniczymi jest również dla autora ważne, szczególnie w kontekście społecznym i prawnym.

Monografia zmierza nie tylko do zgromadzenia i syntezy obecnego stanu wiedzy, ale także identyfikuje lukę badawczą oraz sugeruje kierunki przyszłych badań oraz rozwoju w dziedzinie lotnictwa autonomicznego i półautonomicznego. Przez to ma służyć jako fundament dla naukowców, inżynierów, regulatorów branżowych oraz decydentów politycznych do kształtowania przyszłości lotnictwa w najbezpieczniejszy możliwy sposób.

Monografia stawia konkretne pytania badawcze i hipotezy, których celem jest analiza oraz zrozumienie wyzwań i możliwości związanych z wdrożeniem bezzałogowych, a także jednoosobowych składów załóg w lotnictwie cywilnym. W obszarze kluczowych zagadnień pojawia się szereg pytań badawczych, które dotyczą zarówno aspektów technologicznych, regulacyjnych, bezpieczeństwa, jak i ekonomicznych oraz społecznych konsekwencji takich zmian.

Pierwsze pytanie odnosi się do identyfikacji głównych wyzwań technologicznych związanych z wprowadzeniem bezpilotowych operacji lotniczych i załóg jednoosobowych, szczególnie w transporcie pasażerskim i towarowym. W tym kontekście istotne jest zrozumienie, jakie technologie muszą zostać rozwinięte, aby zapewnić niezawodność, bezpieczeństwo i efektywność tych operacji. Drugie pytanie dotyczy wpływu zmniejszenia składu załogi na bezpieczeństwo lotów. Zmiana ta stawia nowe wymagania zarówno w zakresie systemów kontroli, jak i współpracy człowieka z maszyną, co może mieć istotny wpływ na operacyjne aspekty bezpieczeństwa. Trzecim zagadnieniem są zmiany regulacyjne niezbędne do wprowadzenia oraz skutecznego zarządzania takimi operacjami. Wprowadzenie nowych przepisów, w tym certyfikacja, nadzór i standardy operacyjne, będzie kluczowe dla bezpiecznego i efektywnego funkcjonowania tego typu lotów.

Kolejne pytanie dotyczy ekonomicznych implikacji zmian: Jakie korzyści ekonomiczne przyniesie redukcja liczby pilotów na pokładzie, ale też jakie koszty początkowe są związane z wprowadzeniem tych systemów? W perspektywie społecznego postrzegania operacji bezpilotowych badania muszą uwzględnić określenie, jakie są główne obawy społeczeństwa przed tymi zmianami oraz w jaki sposób można je skutecznie rozwiązać. Ostatnim zagadnieniem badawczym są potencjalne ścieżki rozwoju technologii i operacji bezzałogowych w lotnictwie cywilnym. Warto zidentyfikować przyszłe kierunki innowacji, które mogą wpłynąć na dalszy rozwój tego segmentu rynku lotniczego.

Niniejsze opracowanie przedstawia także zestaw hipotez, które mają być zweryfikowane podczas badania. Pierwsza zakłada, że wdrożenie lotów bezpilotowych oraz realizowanych przez jednoosobowe składy załóg zmniejszy

koszty operacyjne linii lotniczych, jednak będzie wymagało znaczących inwestycji początkowych. Hipoteza ta wskazuje na potrzebę zbadania relacji pomiędzy kosztami wdrożenia technologii a długoterminowymi oszczędnościami wynikającymi z redukcji personelu. Druga hipoteza sugeruje, że zmniejszenie liczby członków załogi będzie wymagać wprowadzenia nowych protokołów bezpieczeństwa oraz intensywnych szkoleń, które w długim okresie mogą prowadzić do zwiększenia bezpieczeństwa lotów dzięki ograniczeniu błędów ludzkich. Trzecia dotyczy społecznego odbioru bezpilotowych lotów pasażerskich. Początkowy sceptycyzm społeczeństwa może stopniowo ustępować w miarę wzrostu liczby dowodów na bezpieczeństwo i efektywność tych operacji. Kluczowym elementem będzie tu zaufanie do nowych technologii i regulacji. Czwarta hipoteza zakłada, że rozwój regulacji dotyczących lotów bezzałogowych i realizowanych przez jednoosobowe składy załóg będzie postępować wolniej niż rozwój technologii, co może stanowić istotną barierę w szybkim wdrożeniu tych rozwiązań. Ostatnia, piąta hipoteza dotyczy wpływu tych zmian na rynek pracy w branży lotniczej i przyjmuje, że wprowadzenie nowych systemów operacyjnych spowoduje przebudowę istniejących procesów szkolenia oraz zmianę ról pracowników lotniczych, w tym zarówno pilotów, jak i personelu pokładowego.

Monografia ma na celu kompleksową analizę i syntezę powyższych zagadnień z uwzględnieniem dynamicznie rozwijającego się segmentu lotnictwa. Bada zarówno obecne trendy, jak i prognozy, skupiając się na aspektach technologicznych, regulacyjnych, ekonomicznych i społecznych, które będą kluczowe dla sukcesu bezzałogowych oraz jednoosobowych operacji lotniczych w transporcie cywilnym.

1.1.1. Opis metody badawczej oraz struktury pracy

Opracowanie tematu bezpieczeństwa w lotnictwie, szczególnie w kontekście operacji bezpilotowych i załóg jednoosobowych, wymagało zastosowania wielowymiarowego podejścia badawczego. Metody badawcze były odpowiednio dobrane, aby umożliwić holistyczne i interdyscyplinarne spojrzenie na problematykę. W ramach przeglądu literatury przeprowadzono systematyczną analizę prac naukowych, publikacji branżowych, raportów agencji regulacyjnych, wyników badań empirycznych oraz analiz przypadków, co pozwoliło zidentyfikować aktualny stan wiedzy, istniejące luki badawcze i trendy w dziedzinie lotnictwa autonomicznego i półautonomicznego. Analiza dokumentów obejmowała dokładne zbadanie obowiązujących przepisów prawa, standardów bezpieczeństwa oraz dokumentacji technicznej dotyczącej systemów bezpilotowych

i półautonomicznych, w tym dokumentów dotyczących certyfikacji, procedur operacyjnych oraz przypadków awaryjnych.

Studium przypadków skupiło się na analizie wybranych przykładów użycia bezpilotowych i jednoosobowych załóg w lotnictwie cywilnym i wojskowym, z naciskiem na zdarzenia, a także wypadki lotnicze, które dostarczają wiedzy na temat realnych wyzwań i ryzyk. Metody ilościowe obejmowały wykorzystanie statystyki do analizy danych o bezpieczeństwie, wypadkach i incydentach, a także przeprowadzenie badań ankietowych wśród ekspertów branży, pasażerów i pracowników lotnictwa, aby ocenić percepcję technologii autonomicznych i ich wpływu na bezpieczeństwo.

Metody jakościowe, takie jak wywiady, grupy fokusowe oraz analiza dyskursu, pozwoliły na zrozumienie społecznych i kulturowych aspektów przyjęcia technologii autonomicznych w lotnictwie oraz identyfikację barier regulacyjnych i prawnych. Modelowanie i symulacje przy użyciu zaawansowanych narzędzi umożliwiły ocenę potencjalnych scenariuszy, a także identyfikację najlepszych praktyk w kontekście operacyjnym, technologicznym i bezpieczeństwa. Analiza porównawcza różnych modeli operacyjnych w lotnictwie cywilnym i wojskowym pomogła zidentyfikować kluczowe czynniki sukcesu oraz potencjalne ryzyka.

Badanie trendów i prognozowanie obejmowało analizę wzrostu ruchu lotniczego, rozwoju technologicznego oraz zmian w regulacjach, które mogą wpłynąć na przyszłość lotnictwa autonomicznego i półautonomicznego. Wnioskowanie i syntetyzowanie polegało na integracji wyników różnych metod badawczych, aby sformułować zalecenia dotyczące polityki, praktyki operacyjnej, standardów bezpieczeństwa oraz kierunków dalszych badań. Weryfikacja i walidacja wyników przeprowadzona została poprzez krytyczną ocenę zebranych danych i wyników badawczych, konsultacje z ekspertami oraz *cross-checking* wielu źródeł.

Zastosowanie powyższej metodologii badawczej zapewniło kompleksowe i wiarygodne podejście do analizy bezpieczeństwa pasażerskich przewozów lotniczych i cargo w kontekście bezpilotowych i jednoosobowych załóg lotniczych, uwzględniając różnorodne aspekty – bezpieczeństwo, technologie, społeczeństwo i prawo.

Istotną częścią monografii jest analiza przeprowadzonych i koordynowanych przez autora badań, których głównym celem było poznanie opinii interesariuszy sektora lotniczego na temat możliwości wdrożenia koncepcji komercyjnych lotów pasażerskich i towarowych z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych lub z obecnością jednego pilota na pokładzie. Dodatkowo badania miały na celu identyfikację czynników społecznych, bezpieczeństwa, technologicznych, prawnych i ekonomicznych, które mogą wpływać na wdrożenie tej nowej koncepcji lotów komercyjnych. Ponadto starano się w ramach tych

badania określić szanse i zagrożenia oraz wskazać mocne i słabe strony badanej koncepcji lotów.

Dane zebrane w procesie badawczym pozwoliły poznać opinie interesariuszy sektora lotniczego oraz na ich podstawie określić te czynniki, która mogą mieć znaczący wpływ na rozwój koncepcji lotów komercyjnych. Wyniki badań zostały umieszczone w raporcie przygotowanym na zlecenie Sektorowej Rady Kompetencji ds. Sektora Lotniczo- Kosmicznego³.

Badanie obejmowało następujące podmioty, grupy zawodowe:

- personel latający (piloci, personel pokładowy i pomocniczy);
- kontrolerzy ruchu lotniczego (powietrznego i naziemnego);
- personel operacyjny;
- personel techniczny;
- personel obsługi naziemnej;
- personel służby bezpieczeństwa lotów;
- inne zidentyfikowane.

1.2. Opis procesu badawczego

Wykorzystanie statków powietrznych bezzałogowych oraz z jednym pilotem na pokładzie w komercyjnym transporcie pasażerskim i towarowym jest atrakcyjne zarówno pod względem ekonomicznym, jak i bezpieczeństwa. Z ekonomicznego punktu widzenia redukcja kosztów związanych z zatrudnieniem pilotów może znacząco obniżyć koszty operacyjne. Z kolei ograniczenie wpływu czynnika ludzkiego, który jest podatny na błędy, może przyczynić się do podniesienia poziomu bezpieczeństwa lotów. Mimo dostępnych już możliwości technologicznych

³ Raport *Analiza czynników społecznych, bezpieczeństwa, technologii, prawa oraz ekonomii w kontekście możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich oraz cargo przy wykorzystaniu bezzałogowych statków powietrznych oraz z załogą jednoosobową w aspekcie oferowanych przez system szkolnictwa kwalifikacji lotniczych w odniesieniu do potrzeb pracodawców (potrzeb rynku)*. Opracowanie raportu wykonał zespół ODBAS (Organizacja Obrony Biznesu) w składzie: dr Małgorzata Żmigrodzka – Lotnicza Akademia Wojskowa; mgr inż. Katarzyna Kostur – Lotnicza Akademia Wojskowa; dr Natalia Moch – Wojskowa Akademia Techniczna; mgr Ireneusz Konieczny; mgr Rafał Orłowski; dr Paweł Lubecki; dr Andrzej SkwarSKI – Akademia im. Jakuba z Paradyża w Gorzowie Wielkopolskim; dr inż. pil. Tomasz Balcerzak – Uczelnia Łazarskiego; dr hab. inż. Elżbieta Szymańska, prof. SGGW, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego. Zrealizowano w ramach projektu Sektorowa Rada Kompetencji ds. Przemysłu Lotniczo-Kosmicznego będącego częścią Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój, działanie 2.12 „Zwiększenie wiedzy o potrzebach kwalifikacyjno-zawodowych” finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego, Warszawa, 23.07.2022.

rozwiązania te nie są jeszcze powszechnie stosowane w branży lotniczej. Dlatego przeprowadzone badanie miało na celu identyfikację czynników społecznych, bezpieczeństwa, technologicznych i ekonomicznych, które mogą wpłynąć na wdrożenie tej koncepcji w przewozach komercyjnych. Ponadto uwzględniono przygotowanie systemu edukacji do kształcenia kwalifikacji niezbędnych w kontekście tej nowej technologii.

Do zaspokojenia potrzeb informacyjnych na rzecz badania wykorzystano różne zasoby. Obejmowały one publikacje innych autorów na temat bezzałogowych statków powietrznych i załóg jednoosobowych, informacje od instytucji nadzorujących funkcjonowanie sektora lotniczego, takich jak Urząd Lotnictwa Cywilnego oraz międzynarodowe organizacje lotnicze, a także opinie respondentów.

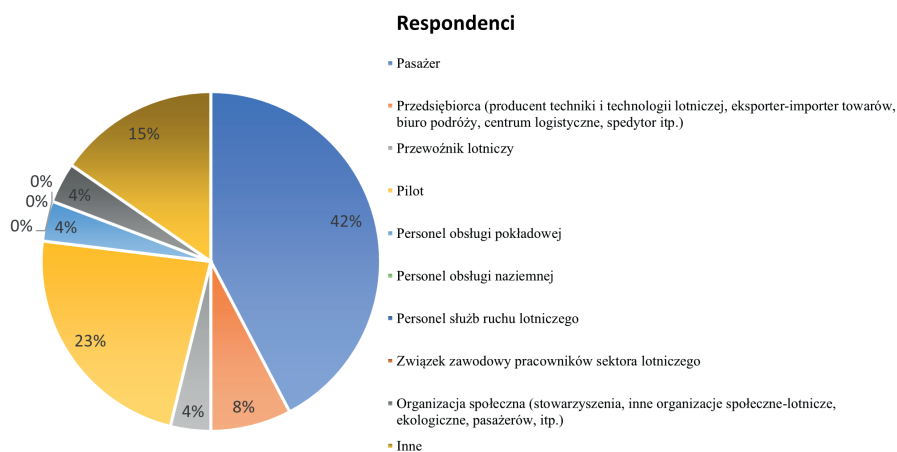
Przedmiot badania obejmował analizę literatury fachowej, zbieranie opinii interesariuszy sektora lotniczego na temat możliwości wdrożenia omawianej koncepcji, identyfikację czynników mających wpływ na jej wdrożenie oraz analizę szans, zagrożeń, mocnych i słabych stron. W ramach badania przeanalizowano opinie ponad 500 interesariuszy sektora lotniczego w Polsce, w tym pasażerów, potencjalnych klientów nowej technologii, pracodawców zajmujących się produkcją i wdrażaniem nowych rozwiązań lotniczych, a także załóg statków powietrznych oraz personelu służb ruchu lotniczego.

Proces badawczy skupił się na identyfikacji czynników mogących wpływać na redukcję personelu lotniczego w komercyjnych lotach pasażerskich i towarowych realizowanych przy wykorzystaniu bezzałogowych statków powietrznych oraz załóg jednoosobowych. W szczególności analizowano czynniki społeczne, bezpieczeństwa, technologiczne, prawne i ekonomiczne, które mogą mieć wpływ na wprowadzenie tych rozwiązań. Badanie miało na celu udzielenie odpowiedzi na kluczowe pytania, m.in. o to, jakie czynniki są związane z wprowadzeniem komercyjnych lotów bezzałogowych oraz obsługiwanych przez jednego pilota, jakie są perspektywy czasowe ich wprowadzenia oraz jakie szanse, korzyści, zagrożenia, mocne i słabe strony mogą mieć wpływ na wdrożenie tej koncepcji.

W procesie badawczym wykorzystano metody teoretyczne, takie jak analiza i synteza, oraz empiryczne, w tym badania ankietowe i analizę dokumentów. Zastosowanie analizy czynnikowej pozwoliło na zidentyfikowanie kluczowych elementów mających wpływ na wdrożenie omawianych technologii. Metody ilościowe, czyli badania statystyczne, porównawcze oraz diagnostyczne sondaże ankietowe, dostarczyły danych na temat opinii ekspertów i respondentów w odniesieniu do aspektów społecznych, technologicznych, bezpieczeństwa, prawnych i ekonomicznych.

Analiza danych skupiła się na pięciu kluczowych obszarach: społecznym, bezpieczeństwa, technologicznym, prawnym oraz ekonomicznym. Opinie respondentów umożliwiły zidentyfikowanie szans i zagrożeń, a także mocnych i słabych stron, które mogą wpłynąć na wdrożenie omawianej koncepcji komercyjnych lotów bezzałogowych oraz z załogą jednoosobową.

Badanie skierowane zostało do różnych grup osób bezpośrednio związanych z transportem lotniczym, w tym: pasażerów, przedsiębiorców, przewoźników lotniczych, pilotów, personelu obsługi pokładowej, naziemnej oraz służb ruchu lotniczego, przedstawicieli związku zawodowego pracowników sektora lotniczego, organizacji społecznych oraz innych osób (rys. 1).



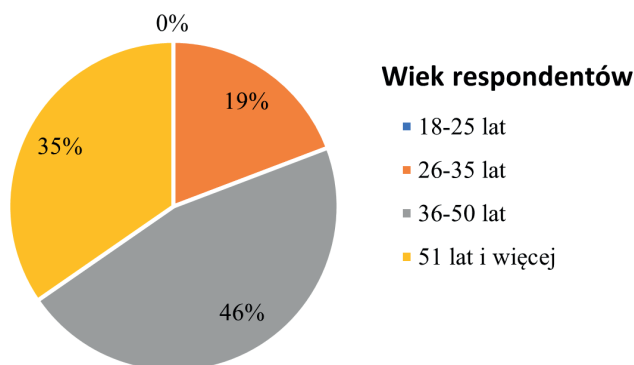
Rysunek 1. Procentowe zestawienie respondentów

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁴.

Największy odsetek stanowili pasażerowie (42%). Piloci natomiast 23%, podczas gdy inne osoby 15%. Najmniej liczną grupę stanowili przedstawiciele przewoźników lotniczych, personelu obsługi pokładowej oraz organizacji społecznych – po 4%. W badaniu nie wzięli udziału przedstawiciele personelu obsługi naziemnej, służb ruchu lotniczego oraz związków zawodowych.

Wśród respondentów najliczniejszą grupę stanowiły osoby w wieku 36–50 lat – 46%. Drugą były osoby w wieku 51 lat i więcej – 35%. Osoby w wieku 26–35 lat stanowiły 19% respondentów. W badaniu nie wzięła udziału żadna osoba w wieku 18–25 lat (rys. 2).

⁴ Ibidem.



Rysunek 2. Przedział wiekowy respondentów

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁵.

Harmonogram realizacji badania obejmował szczegółowo zaplanowane etapy, które zostały zrealizowane w okresie od 23 maja do 23 lipca 2022 r. Każdy etap badania był kluczowy dla uzyskania rzetelnych i spójnych wyników pozwalających na pełne zrozumienie problematyki związanej z wprowadzeniem bezzałogowych i jednoosobowych składów załóg w lotnictwie komercyjnym.

Pierwszym krokiem była analiza literatury dotyczącej badanego zagadnienia. Ten etap polegał na zgromadzeniu, przeglądzie i dogłębnym zrozumieniu istniejących opracowań naukowych oraz raportów branżowych związanych z tematem badania. Analizowano zarówno kwestie technologiczne, jak i regulacyjne, społeczne oraz ekonomiczne, które miały bezpośredni wpływ na rozwój koncepcji bezzałogowych i jednoosobowych operacji lotniczych. Na tym etapie kluczowe było zidentyfikowanie głównych trendów oraz luk badawczych, które wymagały dalszej eksploracji.

Drugim etapem było opracowanie ankiety badawczej oraz przeprowadzenie badań. Stworzenie narzędzia badawczego, jakim była ankieta, wymagało dokładnego sformułowania pytań badawczych w taki sposób, aby uzyskać od respondentów istotne informacje dotyczące ich opinii na temat potencjalnego wdrożenia badanych rozwiązań w lotnictwie komercyjnym. Badania terenowe, przeprowadzone na grupie około 500 interesariuszy sektora lotniczego w Polsce, umożliwiły zebranie cennych danych zarówno od pasażerów, jak i przedstawicieli branży lotniczej, pracodawców, załóg oraz klientów zainteresowanych nowymi technologiami w lotnictwie.

Kolejnym krokiem – trzecim etapem harmonogramu było usystematyzowanie oraz analiza zebranych danych. Dane z ankiet oraz inne materiały

⁵ Ibidem.

zostały uporządkowane, a następnie poddane szczegółowej analizie przy użyciu odpowiednich metod statystycznych oraz narzędzi badawczych. Na tym etapie kluczowe było zidentyfikowanie wzorców, korelacji, a także czynników mających wpływ na akceptację i rozwój technologii bezałogowych oraz jednoosobowych operacji lotniczych. Analiza ta dostarczyła informacji dotyczących zarówno potencjalnych korzyści, jak i wyzwań związanych z wdrożeniem tej koncepcji.

Ostatnim, czwartym etapem było sporządzenie końcowego sprawozdania z przeprowadzonych badań, na podstawie którego opracowano niniejszą monografię. Na tym etapie wyniki analizy danych zostały zsyntetyzowane w formie raportu, który zawierał wnioski i rekomendacje dotyczące dalszych kroków związanych z rozwojem bezałogowych operacji lotniczych. Raport ten stanowił podstawę do dalszej dyskusji na temat wprowadzania innowacji w sektorze lotniczym, uwzględniając zarówno aspekty technologiczne, regulacyjne, jak i społeczne.

Wszystkie etapy harmonogramu były ze sobą ściśle powiązane, co pozwoliło na kompleksowe podejście do problematyki badawczej oraz uzyskanie wartościowych wyników, które mogą posłużyć jako fundament dla dalszych badań i wdrożeń w obszarze bezałogowego lotnictwa komercyjnego.

1.2.1. Definicja problemu

W erze rosnącej automatyzacji i postępującej technologizacji, branża lotnicza stoi przed znaczącym przełomem, jakim jest wprowadzenie bezałogowych i jednoosobowych systemów lotniczych. Chociaż mogą one oferować wiele korzyści, w tym potencjalne obniżenie kosztów operacyjnych i zwiększenie efektywności, ich wdrożenie niesie również za sobą szereg problemów związanych z bezpieczeństwem, technologią, aspektami społecznymi i regulacjami prawnymi.

Wdrożenie tych systemów musi zapewnić równoważny lub lepszy poziom bezpieczeństwa niż w przypadku tradycyjnych załóg wieloosobowych. Obejmuje to zarówno bezpieczeństwo operacyjne (*safety*), jak i cyberbezpieczeństwo (*security*), oraz implikuje wyzwania związane z zarządzaniem awaryjnymi sytuacjami lotniczymi.

Rozwój i integracja nowych technologii, takich jak autonomiczne systemy nawigacyjne, sztuczna inteligencja w zarządzaniu ruchem lotniczym i zaawansowane algorytmy sterowania lotem, są kluczowe dla funkcjonowania i niezawodności bezałogowych systemów lotniczych.

Przyjęcie bezpilotowych i jednoosobowych systemów lotniczych wiąże się z percepcją społeczną i akceptacją takich rozwiązań. Wpływają one bowiem na

rynek pracy, rozwój zawodowy w branży lotniczej oraz rodzą pytania etyczne i związane z zaufaniem publicznym.

Istniejące ramy prawne i regulacyjne są przeważnie dostosowane do lotnictwa załogowego. Wdrożenie systemów bezzałogowych wymaga przemyślanej adaptacji i rozwoju przepisów prawa, które będą regulować certyfikację, odpowiedzialność i nadzór nad nowymi systemami lotniczymi.

Problem bezpieczeństwa w bezzałogowych i jednoosobowych operacjach lotniczych jest więc multidyscyplinarny i wymaga zintegrowanego podejścia, które uwzględnia i harmonizuje wszystkie te aspekty, aby umożliwić bezpieczne i efektywne wdrożenie tych technologii w cywilnej przestrzeni powietrznej.

1.3. Przegląd literatury i istniejących badań

Przegląd literatury na temat podejmowany w niniejszej monografii obejmuje kilka kluczowych, przedstawionych poniżej obszarów.

1. Historia i rozwój bezpilotowych systemów lotniczych (Unmanned Aircraft System, UAS):
 - literatura koncentrująca się na ewolucji UAS, od początkowych zastosowań wojskowych do cywilnych i komercyjnych;
 - prace prezentujące badania postępów technologicznych i ich wpływu na przyszłe zastosowania w transporcie lotniczym.
2. Aspekty bezpieczeństwa operacyjnego:
 - badania dotyczące protokołów bezpieczeństwa, zarządzania ryzykiem, a także awaryjności systemów w bezpilotowych i jednoosobowych operacjach lotniczych;
 - analizy przypadków i statystyk wypadków związanych z UAS.
3. Regulacje i standardy:
 - literatura na temat istniejących i proponowanych regulacji dotyczących bezzałogowych statków powietrznych, w tym międzynarodowych standardów International Civil Aviation Organization (ICAO) oraz regulacji European Union Aviation Safety Agency (EASA) i Federal Aviation Administration (FAA);
 - dyskusje na temat wyzwań regulacyjnych i prawnych stojących przed integracją UAS w przestrzeni lotniczej.
4. Zaawansowane technologie i innowacje:
 - prace skupiające się na innowacyjnych technologiach, takich jak sztuczna inteligencja, automatyka, systemy detekcji i unikania kolizji;

- rozważania na temat przyszłych technologii i ich potencjalnego wpływu na bezpieczeństwo.
5. Psychologiczne i społeczne aspekty bezpieczeństwa:
 - badania dotyczące percepcji bezpieczeństwa przez pasażerów i załogi w kontekście automatyzacji oraz zmniejszania liczebności załóg;
 - studia nad wpływem tych zmian na zaufanie pasażerów i akceptacją przewozów bezzałogowych.
 6. Wpływ na rynek pracy i szkolenia załóg:
 - analizy zmian w wymogach dotyczących szkoleń i kwalifikacji personelu lotniczego w świetle nowych technologii;
 - rozważania na temat przyszłości zawodów lotniczych w kontekście automatyzacji.
 7. Studia przypadków i analizy wypadków:
 - dokumentacja oraz analiza istotnych incydentów i wypadków związanych z UAS;
 - lekcje wynikające z tych zdarzeń i ich znaczenie dla bezpieczeństwa przyszłych operacji.
 8. Wyzwania i perspektywy:
 - dyskusje na temat przyszłych wyzwań, w tym integracji UAS z załogowym ruchem lotniczym i zarządzania ruchem lotniczym ATM.

Przegląd literatury na temat bezpieczeństwa przewozu pasażerów i ładunków w samolotach bezzałogowych i z załogą jednoosobową obejmował kilka kluczowych obszarów badań. Poniżej przegląd najważniejszych pozycji literatury dotyczącej tych obszarów; szerszy wykaz literatury zawiera bibliografia końcowa.

1. Bezpieczeństwo.
 - a. Automatyzacja w kokpicie:
 - badania nad wpływem zaawansowanych systemów automatycznych na obciążenie pracy pilota i świadomość sytuacyjną, np. L. Bainbridge, *Automation in Aviation*, Amsterdam 1983;
 - rozważania dotyczące redundancji systemów i ich odporności na błędy zarówno ludzkie, jak i maszynowe.
 - b. Bezzałogowe statki powietrzne (UAV):
 - Rozprawy na temat integracji UAV z przestrzenią powietrzną, np. K. Dalamagkidis, K.P. Valavanis, L.A. Piegł, *Unmanned Aircraft Systems: Integration into the National Airspace System*, London 2011.
2. Technologia.
 - a. Systemy kontroli i zarządzania lotem:
 - analizy systemów takich jak autopilot, Flight Management Systems (FMS) oraz ich wpływ na bezpieczeństwo lotu, np. C. Spitzer, *Flight*

Management Systems: The Evolution of Avionics and Navigation Technology, San Diego 1993;

- raporty na temat systemów antykolizyjnych (TCAS) i systemów ostrzeżenia o zbliżaniu się do ziemi (GPWS).

3. Czynniki społeczne.

a. Zaufanie publiczne i percepcja:

- badania opinii publicznej na temat automatyzacji i przewozów bezzałogowych, np. M. Kyriakidis i in., *Public Opinion about Autonomous Driving*, „Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour”, 2015, 32;
- raporty dotyczące wpływu automatyzacji na rynek pracy w lotnictwie.

4. Aspekty prawne.

a. Regulacje prawne i standardy:

- dokumentacja dotycząca międzynarodowych przepisów i regulacji, np. konwencja chicagowska oraz dokumenty ICAO;
- analiza prawna dotycząca odpowiedzialności cywilnej i karnej w przypadku wypadków lotniczych związanych z automatyzacją, np. D. Hodgkinson, R. Johnston, *Aviation Law and Drones: Unmanned Aircraft and the Future of Aviation*, Abingdon, Oxon 2017.

Z przeglądu literatury wynika, że badania skupiają się na technologicznych możliwościach oraz wyzwaniach, które stawia przed branżą lotniczą rozwój systemów bezpilotowych i załóg jednoosobowych. Bezpieczeństwo pozostaje priorytetem, a uwaga zwracana jest na potrzebę integracji nowych technologii w sposób, który nie zagraża istniejącym standardom. Akceptacja społeczna i ramy prawne są kluczowymi czynnikami, które wpływają na tempo adopcji tych technologii przez lotnictwo komercyjne.

Każda z tych dziedzin jest wciąż dynamicznie rozwijającym się polem badawczym, co oznacza, że literatura jest stale aktualizowana o nowe studia przypadków, analizy technologiczne i wprowadzane regulacje.

ROZDZIAŁ 2

BEZPIECZEŃSTWO W LOTNICTWIE

2.1. Bezpieczeństwo w lotnictwie – perspektywa historyczna

2.1.2. Evolucja bezpieczeństwa lotniczego

Ewolucja bezpieczeństwa lotniczego jest fascynującym procesem, który dokładnie odzwierciedla rozwój technologii, zarządzania, regulacji oraz zmieniające się oczekiwania społeczne. Zagadnienie bezpieczeństwa w lotnictwie przeszło długą drogę od pierwszych lotów braci Wright po dzisiejsze zaawansowane systemy zarządzania ruchem lotniczym i automatyzację.

1. Wczesne lata lotnictwa:

- Pionierskie lata (1900–1930). Wczesne lata lotnictwa to loty eksperymentalne; nie istniały standardy bezpieczeństwa. Wypadki były częste i niejednokrotnie wynikały z błędów ludzkich oraz braku niezawodności sprzętu.
- Rozwój regulacji (1930–1940). Po kilku katastrofach, takich jak spłonienie sterowca Hindenburg, zaczęto wprowadzać pierwsze regulacje. Powstały też organizacje, np. amerykańska FAA, odpowiedzialne za regulacje w lotnictwie cywilnym.

2. Złoty wiek lotnictwa:

- Standardy i procedury (1950–1960). Okres po II wojnie światowej przyniósł dalszy rozwój procedur lotniczych i standardów w tym zakresie, włącznie z wprowadzeniem radarów i komunikacji radiowej, co znacząco poprawiło bezpieczeństwo.
- Rozwój technologiczny (1970–1980). Zastosowanie w samolotach zaawansowanych technologii, takich jak automatyczne systemy pilotażu (autopiloty), zwiększyło bezpieczeństwo operacyjne.

3. Nowoczesne lotnictwo:

- Zarządzanie bezpieczeństwem lotów (1990–2000). Wprowadzono systemy zarządzania bezpieczeństwem lotów (Safety Management Systems, SMS), które integrują praktyki zarządzania ryzykiem z operacjami lotniczymi.

- Era informatyzacji (2000–2010). Rozwój technologii informatycznych i ich implementacja w kontroli ruchu lotniczego (np. Automatic Dependent Surveillance-Broadcast – ADS-B, który umożliwia śledzenie lotów w czasie rzeczywistym) znacznie poprawiły zarządzanie przestrzenią powietrzną.
4. Przyszłość bezpieczeństwa lotniczego:
- Automatyzacja i bezałogowe statki powietrzne (od 2010 r. do dziś). Eksploracja i wdrażanie bezpilotowych systemów lotniczych oraz rozwijanie prac nad wdrożeniem koncepcji załóg jednoosobowych w kokpicie, a nawet możliwości bezałogowych samolotów pasażerskich.
 - Zarządzanie oparte na danych i sztuczna inteligencja. Użycie dużych zbiorów danych (*big data*) i algorytmów AI do prognozowania i zapobiegania wypadkom lotniczym.
 - Cyberbezpieczeństwo. W miarę wzrostu zależności od systemów cyfrowych, bezpieczeństwo cybernetyczne staje się nieodłącznym elementem bezpieczeństwa lotniczego.

Każdy z tych etapów przyniósł zarówno wyzwania, jak i rozwiązania, które stale podnosiły standardy bezpieczeństwa lotniczego. Po każdej katastrofie lotniczej przeprowadzane są dogłębne dochodzenia, których wyniki prowadzą do dalszych ulepszeń i modyfikacji przepisów. Ta ewolucyjna ścieżka jest dowodem na to, że branża lotnicza stale dąży do zminimalizowania ryzyka i maksymalizacji bezpieczeństwa zarówno pasażerów, jak i załóg⁶.

⁶ Należy zaznaczyć, że w terminologii lotniczej i prawnej różnica pomiędzy katastrofą a wypadkiem lotniczym jest często kwestią skali i konsekwencji zdarzenia, jednakże używanie tych terminów może się różnić w zależności od kontekstu i regionu. 1. Wypadek lotniczy. W międzynarodowych regulacjach, jak ustalone przez ICAO, wypadek lotniczy jest zdefiniowany jako zdarzenie związane z działaniem statku powietrznego, które ma miejsce od chwili, gdy osoby na pokładzie mają zamiar wykonać lot, aż do momentu, gdy wszyscy opuszczają samolot. Do wypadku dochodzi wówczas, gdy ktoś zostaje śmiertelnie ranny lub samolot jest poważnie uszkodzony. 2. Katastrofa lotnicza. Termin „katastrofa” nie ma formalnej definicji w międzynarodowym prawie lotniczym, ale jest często używany w mediach i języku potocznym do opisania szczególnie tragicznych wypadków lotniczych z dużą liczbą ofiar śmiertelnych i/lub poważnymi szkodami. W ujęciu formalnym większość organów regulacyjnych i organizacji lotniczych stosuje bardziej „techniczne” terminy, takie jak „poważny wypadek” lub „wypadek lotniczy”. W niniejszej monografii stosowane są wymiennie terminy „wypadek” i „katastrofa lotnicza” w kontekście tego dodatkowego komentarza. W związku z tym termin „katastrofa lotnicza” może być postrzegany jako pojęcie nieformalne, często stosowane w komunikacji masowej i dyskusji publicznej. W oficjalnych raportach i analizach bezpieczeństwa lotniczego zwykle używa się bardziej precyzyjnych terminów prawnie zdefiniowanych. Warto zaznaczyć, że niezależnie od terminologii, każde zdarzenie lotnicze, które prowadzi do śmierci, obrażeń lub znacznych szkód, jest przedmiotem dokładnego śledztwa, którego celem jest zrozumienie przyczyn i zapobieganie przyszłym wypadkom.

2.1.3. Analiza najważniejszych wypadków lotniczych i wprowadzonych zmian

Analiza wypadków lotniczych często prowadzi do istotnych zmian w przepisach, technologiach i procedurach operacyjnych w branży lotniczej. Każda katastrofa jest dokładnie badana przez odpowiednie organy, takie jak Narodowa Rada Bezpieczeństwa Transportu (NTSB) w USA, EASA w Europie czy Państwowa Komisja Badania Wypadków Lotniczych (PKBWL) w Polsce.

Analiza najważniejszych wypadków lotniczych i wprowadzonych po nich zmian ukazuje, jak katastrofy powietrzne przyczyniły się do ewolucji bezpieczeństwa lotniczego. Poniżej znajduje się opis kilku znaczących przykładów.

1. Katastrofa na Teneryfie (1977). Najtragiczniejszy wypadek w historii lotnictwa, w którym zderzyły się dwa samoloty Boeing 747. Przyczyną była kombinacja złej widoczności, nieporozumień w komunikacji i błędów w zarządzaniu ruchem lotniczym. W wyniku tego wypadku wprowadzono szereg zmian w procedurach komunikacji lotniskowej i kontroli ruchu lotniczego, w tym ujednoczenie frazeologii radiowej.
2. Katastrofa lotu Valujet 592 (1996). Samolot DC-9 rozbił się na Florydzie z powodu pożaru w komorze bagażowej. Ten tragiczny wypadek doprowadził do zaostrzenia przepisów dotyczących transportu materiałów niebezpiecznych i kontroli bagażu.
3. Katastrofa lotu Swissair 111 (1998). MD-11 rozbił się u wybrzeży Nowej Szkocji z powodu pożaru na pokładzie. W wyniku tej tragedii wprowadzono nowe standardy dotyczące materiałów palnych używanych w samolotach i zaktualizowano procedury w przypadku pożaru na pokładzie.
4. Katastrofa lotu Helios Airways 522 (2005). Samolot Boeing 737 rozbił się w Grecji po tym, jak załoga straciła przytomność z powodu hipoksji. Ta tragedia uwypukliła potrzebę lepszego szkolenia personelu w zakresie rozpoznawania i reagowania na problemy z ciśnieniem w kabinie.
5. Katastrofa lotu Air India Express 812 (2010). Boeing 737 wypadł z pasa startowego i rozbił się w Mangaluru w Indiach. Wypadek ten podkreślił znaczenie szkolenia w zakresie kontroli lotu w trudnych warunkach atmosferycznych i podczas lądowania na krótkich pasach startowych.
6. Katastrofa lotu Asiana Airlines 214 (2013). Boeing 777 rozbił się podczas lądowania na lotnisku w San Francisco. Wypadek ten zwrócił uwagę na konieczność poprawy szkolenia załóg w zakresie ręcznego pilotowania samolotu oraz lepszej koordynacji w kokpicie.
7. Katastrofa lotu Indonesia AirAsia QZ8501 (2014). Airbus A320 rozbił się w Morzu Jawajskim. Badania wykazały, że przyczyną były błędy załogi

- i awaria systemu sterowania. Ta tragedia przyczyniła się do zwiększenia nacisku na szkolenie załóg w zakresie zarządzania awaryjnego.
8. Katastrofa lotu Colgan Air 3407 (2009). Bombardier Dash 8 Q400 rozbił się podczas podejścia do lądowania w Buffalo (Nowy Jork). Wypadek ten skupił uwagę na konieczności szkolenia w zakresie świadomości przestrzeni lotniczej i zarządzania zmęczeniem załogi.
 9. Katastrofa lotu Turkish Airlines 1951 (2009). Boeing 737-800 rozbił się podczas podejścia do lądowania na lotnisku Schiphol w Amsterdamie. Wypadek ten wypuklił potrzebę poprawy systemów ostrzegania o niskiej wysokości i szkolenia załóg w zakresie reagowania na takie ostrzeżenia.
 10. Katastrofa lotu Spanair 5022 (2008). MD-82 rozbił się podczas startu z lotniska w Madrycie. Do tego wypadku przyczynił się błąd załogi i awaria techniczna. W wyniku tej tragedii wzrosła świadomość znaczenia rutynowych kontroli przed startem i lepszego szkolenia załóg.
 11. Katastrofa lotu Alaska Airlines 261 (2000). MD-83 rozbił się u wybrzeży Kalifornii z powodu awarii mechanizmu sterowania statecznikiem. Ta tragedia doprowadziła do przeglądu i poprawy procedur konserwacji oraz szkolenia w zakresie rozpoznawania i reagowania na problemy techniczne.
 12. Katastrofa lotu TWA 800 (1996). Samolot typu Boeing 747 rozpadł się w powietrzu wskutek eksplozji pary paliwowej w zbiorniku. Po tej katastrofie wprowadzono zmiany dotyczące projektowania zbiorników paliwa, systemów wentylacyjnych i procedur obsługowych, aby zminimalizować ryzyko podobnych eksplozji.
 13. Zderzenie samolotów w powietrzu nad Überlingen (2002). Dwa samoloty zderzyły się w powietrzu, co doprowadziło do śmierci wszystkich osób na pokładzie. Katastrofa ta podkreśliła konieczność usprawnienia systemów kontroli lotów i komunikacji, a także wprowadzenia bardziej zaawansowanych systemów unikania kolizji (TCAS).
 14. Katastrofa samolotu lotu Air France 447 (2009). Airbus A330 wpadł do Atlantyku. Wśród przyczyn wymienia się błędy załogi, utratę danych o prędkości oraz problemy z czujnikami i odbiornikiem ciśnienia powietrza – rurką Pitota. W wyniku tego zdarzenia zwrócono większą uwagę na szkolenie załóg w zakresie radzenia sobie z sytuacjami awaryjnymi oraz ulepszono czujniki.
 15. Zestrzelenie samolotu lotu MH17 (2014). Samolot został zestrzelony nad Ukrainą. Katastrofa ta przyczyniła się do wprowadzenia zmian w międzynarodowych procedurach dotyczących bezpieczeństwa przelotów nad obszarami konfliktów.
 16. Katastrofy samolotów linii lotniczych Lion Air 610 (2018) i Ethiopian Airlines 302 (2019). Oba wypadki, z udziałem samolotów Boeing 737 MAX, były

wynikiem problemów z systemem MCAS. Po tych katastrofach nastąpiło globalne uziemienie modelu 737 MAX, a Boeing dokonał znaczących zmian w projektowaniu, oprogramowaniu i szkoleniu.

17. Katastrofa lotu samolotu Concorde Air France (2000). Wypadek ten doprowadził do przeglądu konstrukcji opon i zbiorników paliwa w samolotach oraz do zmian w procedurach zarządzania awaryjnego na pokładzie.
18. Katastrofa lotu American Airlines 191 (1979). Samolot rozbił się zaraz po starcie z powodu utraty silnika. Ta katastrofa doprowadziła do przeglądu i zaostrenia przepisów dotyczących kontroli i obsługi technicznej samolotów.
19. Katastrofa lotu Japan Airlines 123 (1985). Samolot rozbił się po utracie sterowności z powodu awarii statecznika pionowego. W wyniku tej katastrofy wzmocniono standardy dotyczące kontroli i napraw strukturalnych samolotów, a także poprawiono procedury zarządzania awaryjnego.
20. Katastrofa lotu Germanwings 9525 (2015). Była spowodowana celowym działaniem drugiego pilota; w jej następstwie wprowadzono m.in. wymóg, aby w kokpicie zawsze przebywały dwie osoby. Jeśli jeden z pilotów opuszcza kokpit, inny członek załogi musi go zastąpić. Wzmocniono procedury monitorowania zdrowia psychicznego pilotów, w tym regularne kontrole, i spowodowano łatwiejszy dostęp do pomocy psychologicznej.
21. Katastrofa lotu United Airlines 232 (1989). McDonnell Douglas DC-10 rozbił się podczas awaryjnego lądowania w Sioux City (Iowa) po awarii silnika i utracie systemów hydraulicznych. Ten wypadek podkreślił znaczenie redundancji systemów pokładowych i w jego konsekwencji poprawiono procedury zarządzania sytuacjami awaryjnymi.
22. Katastrofa lotu American Airlines 587 (2001). Airbus A300 rozbił się w Queens (Nowy Jork) niedługo po starcie, z powodu oderwania statecznika pionowego. Wypadek ten przyczynił się do skupienia uwagi na projektowaniu stateczników oraz szkoleniu załóg w zakresie zarządzania obciążeniami strukturalnymi w trakcie lotu.
23. Zderzenie samolotów w powietrzu nad Charkhi Dadri (1996). Zderzenie Boeinga 747 Saudia i Ił-76 Kazachstan Airlines nad Indiami było jednym z najtragiczniejszych zderzeń samolotów w powietrzu. Wypadek ten przyczynił się do wprowadzenia bardziej rygorystycznych procedur kontroli ruchu lotniczego i ulepszeń w systemach unikania kolizji.
24. Katastrofa lotu Flash Airlines 604 (2004). Boeing 737 rozbił się w Morzu Czerwonym po starcie z Sharm el-Sheikh (Egipt). Badania wykazały, że przyczyną był błąd pilotów. Ten wypadek zaakcentował potrzebę lepszego szkolenia załóg w zakresie orientacji przestrzennej i zarządzania sytuacjami awaryjnymi.

25. Katastrofa lotu UPS Airlines 6 (2010). Boeing 747 rozbił się podczas próby awaryjnego lądowania w Dubaju z powodu pożaru na pokładzie. Wypadek ten doprowadził do zaostrzenia przepisów dotyczących przewozu baterii litowo-jonowych i innych materiałów łatwopalnych.
26. Katastrofa lotu LaMia 2933 (2016). British Aerospace Avro RJ85 rozbił się w Kolumbii z powodu braku paliwa. Ten tragiczny wypadek, w którym zginęła większość drużyny piłkarskiej Chapecoense, uwypuklił znaczenie zarządzania paliwem i planowania lotów.
27. Katastrofa lotu TransAsia Airways 235 (2015). ATR 72 rozbił się po starciu z Tajpej (Tajwan) w wyniku błędnych działań załogi po awarii jednego z silników. Ten wypadek podkreślił potrzebę lepszego szkolenia załóg w zakresie zarządzania awariami silników i procedur awaryjnych.
28. Katastrofa lotu Pakistan International Airlines 8303 (2020). Airbus A320 rozbił się podczas podejścia do lądowania w Karaczi (Pakistan). Wstępne dochodzenie wskazało na błędy załogi i problemy techniczne jako główne przyczyny. Ta katastrofa rzuca światło na znaczenie przestrzegania procedur operacyjnych i utrzymania wysokiego standardu konserwacji samolotów.
29. Katastrofa lotu SpaceShipTwo (2014). Wypadek w lotnictwie kosmicznym, który podkreślił potrzebę podnoszenia poziomu bezpieczeństwa w komercyjnych podróżach kosmicznych.
30. Katastrofa promu kosmicznego Challenger (1986). Choć to nie wypadek lotniczy, miał on duży wpływ na kulturę bezpieczeństwa w dziedzinach związanych z lotnictwem i kosmonautyką. Awaria promu spowodowana była defektem uszczelki O-ring w chłodnych warunkach. Po tej tragedii NASA przeprowadziła gruntowną rewizję swoich procedur bezpieczeństwa i podejścia do zarządzania ryzykiem.

Każda z tych katastrof doprowadziła do ważnych zmian w regulacjach, technologi, procedurach bezpieczeństwa i szkoleniach załóg. Stały postęp w dziedzinie bezpieczeństwa lotniczego jest w dużej mierze skutkiem analiz przyczyn wypadków i uwzględniania wyciąganych z nich wniosków w przyszłych praktykach⁷.

⁷ Ibidem. Ponadto: 1. Poważny wypadek (*serious incident*) – incydent, którego okoliczności wskazują, że prawie doszło do wypadku. Poważne incydenty obejmują sytuacje, w których zagrożone jest bezpieczeństwo operacji, ale nie dochodzi do ciężkich obrażeń ani znacznych uszkodzeń samolotu. 2. Incydent (*incident*) – zdarzenie, które nie spełnia kryteriów wypadku lotniczego lub poważnego wypadku, ale wpływa lub może wpłynąć na bezpieczeństwo operacji. 3. Awaria techniczna (*technical failure*) – wypadek, którego przyczyną jest usterka techniczna samolotu. Mogą to być problemy z silnikiem, awarie systemów pokładowych lub inne usterki techniczne. 4. Błąd ludzki (*human error*) – wypadek, którego przyczyną jest błąd ludzki, np. pilotów, personelu naziemnego lub

Wnioski i zmiany systemowe po wielu katastrofach lotniczych skoncentrowały się na kilku kluczowych obszarach. Szkolenie załóg stało się priorytetem, ze szczególnym naciskiem na zarządzanie sytuacjami awaryjnymi, doskonalenie komunikacji i współpracy w kokpicie. Ponadto przepisy dotyczące zdrowia psychicznego i fizycznego załóg zostały zaostrzone, aby zapewnić pełne przygotowanie do odpowiedzialnych zadań.

W obszarze technologii wprowadzono znaczące ulepszenia, koncentrując się na awionice, automatyce oraz bezpieczeństwie konstrukcyjnym samolotów. Procedury bezpieczeństwa zostały dostosowane poprzez lepsze zarządzanie ryzykiem oraz zwiększenie redundancji w głównych systemach samolotów. W reakcji na wyniki analizy wypadków wprowadzono również istotne zmiany proceduralne.

Przepisy regulacyjne zostały zaktualizowane zarówno na poziomie międzynarodowym, jak i krajowym, aby w pełni uwzględnić wyniki analiz wypadków i zalecenia dotyczące poprawy bezpieczeństwa lotniczego. Wprowadzone zmiany mają na celu ciągłe podnoszenie standardów bezpieczeństwa, minimalizację ryzyka oraz zapobieganie przyszłym katastrofom lotniczym.

2.2. Rola załóg latających w zapewnieniu bezpieczeństwa

Załogi lotnicze odgrywają niezwykle ważną rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa lotniczego. Każdy członek załogi – od pilotów po personel pokładowy – ma obowiązki, które muszą być wypełnione, aby lot przebiegał bezpiecznie i sprawnie. Poniżej zaprezentowane zostały główne aspekty, w których załogi lotnicze są niezbędne dla bezpieczeństwa lotniczego⁸.

kontrolerów ruchu lotniczego. 5. Zdarzenia związane z warunkami pogodowymi (*weather-related events*) – incydenty, w których kluczową rolę odgrywają trudne warunki pogodowe, takie jak turbulencje, oblodzenie, burze lub złe warunki widoczności. 6. Kolizje w powietrzu i na ziemi (*midair and ground collisions*) – zdarzenia, w których dochodzi do zderzenia statków powietrznych w powietrzu lub na ziemi. 7. Zdarzenia związane z kontrolą ruchu lotniczego (*air traffic control-related events*) – incydenty związane z błędami w zarządzaniu ruchem lotniczym. 8. Akty terroryzmu lub sabotażu (*acts of terrorism or sabotage*) – wypadki, których przyczyną jest celowe działanie mające na celu zniszczenie samolotu lub zagrażające bezpieczeństwu lotu. 9. Nieprzewidziane zdarzenia (*unforeseen events*) – rzadkie przypadki, które nie mieszczą się w typowych kategoriach, takie jak uderzenia w silnik samolotu przez ptaki. Klasyfikacja ta pomaga w analizie i badaniu wypadków lotniczych oraz w opracowywaniu strategii mających na celu poprawę bezpieczeństwa lotniczego.

⁸ Formalny podział załogi lotniczej uwzględnia role i funkcje, które są niezbędne do bezpiecznego i skutecznego przeprowadzenia lotu. Główne kategorie załogi lotniczej: 1. Załoga pokładowa (*flight crew*): kapitan (*captain*) – najwyższy rangą członek załogi, odpowiedzialny za

W operacjach lotniczych fundamentalne znaczenie mają piloci pełniący szereg istotnych funkcji, które są niezbędne dla bezpiecznego i efektywnego przeprowadzania lotów. Kompetencje i szkolenie pilotów są podstawą ich przygotowania do pracy. Przechodzą oni rygorystyczne szkolenie, które obejmuje zarówno teorię lotu, jak i intensywne treningi praktyczne. Program szkolenia jest nieustannie aktualizowany, aby pilot mógł zdobyć niezbędne umiejętności i kwalifikacje wymagane do operowania statkiem powietrznym. W jego ramach piloci uczą się również zarządzania sytuacjami awaryjnymi poprzez symulacje, co pozwala im na efektywne reagowanie w sytuacjach krytycznych.

Piloci ponoszą odpowiedzialność za planowanie i przeprowadzanie lotów. Ich zadania obejmują kompleksową nawigację, obsługę zaawansowanych systemów samolotowych, monitorowanie warunków pogodowych oraz podejmowanie szybkich i trafnych decyzji w nieprzewidzianych sytuacjach. To wszystko wymaga bieżącej oceny sytuacji i umiejętności podejmowania decyzji w czasie rzeczywistym.

Piloci muszą umieć efektywnie komunikować się z kontrolą ruchu lotniczego (ATC), innymi samolotami oraz członkami załogi. Zapewnienie płynności i bezpieczeństwa operacji lotniczych wymaga precyzyjnej i jasnej wymiany informacji między wszystkimi zaangażowanymi stronami. Dzięki swojej wiedzy, doświadczeniu i umiejętnościom są oni fundamentem bezpieczeństwa i efektywności w lotnictwie, zapewniając odbycie każdego lotu zgodnie z najwyższymi standardami bezpieczeństwa i operacyjnymi.

całościowe kierowanie lotem, bezpieczeństwo i decyzje operacyjne; drugi pilot (*first officer*) – pomaga kapitanowi w kierowaniu samolotem i wykonuje zadania zgodnie z jego poleceniami; starszy oficer (*senior officer*) – w niektórych przypadkach, podczas dłuższych lotów, może być obecny dodatkowy doświadczony pilot do pomocy w nawigacji i zarządzaniu lotem; dodatkowi piloci – w przypadku bardzo długich tras mogą być obecni dodatkowi piloci, aby zapewnić zmiany i odpoczynek głównym pilotom. 2. Załoga kabiny pasażerskiej (*cabin crew*): purser (*chief flight attendant*) – główny steward/stewardesa zarządzający pracą pozostałych członków załogi kabiny pasażerskiej i zapewniający bezpieczeństwo oraz komfort pasażerów; stewardzi/stewardesy (*flight attendants*) – osoby odpowiedzialne za opiekę nad pasażerami, bezpieczeństwo, demonstracje procedur bezpieczeństwa i obsługę pokładową. 3. Inżynierowie pokładowi (*flight engineers*): inżynier pokładowy – w starszych modelach samolotów inżynier pokładowy zarządzał systemami technicznymi samolotu, a obecnie w większości nowoczesnych samolotów funkcje te są zautomatyzowane. 4. Dodatkowy personel (w niektórych przypadkach): obserwatorzy lotów/nawigatorzy – w niektórych specjalistycznych operacjach lotniczych mogą być obecni nawigatorzy lub obserwatorzy lotów, zwłaszcza w lotnictwie wojskowym, badawczym czy specjalistycznym. Formalny podział załogi lotniczej jest ściśle związany z bezpieczeństwem i efektywnością operacji lotniczych. Każdy członek załogi odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu bezpiecznego i komfortowego lotu.

Bardzo istotne znaczenie w zapewnieniu bezpieczeństwa i komfortu pasażerów podczas lotu ma personel pokładowy. Jego głównym zadaniem jest dbałość o bezpieczeństwo pasażerów, zwłaszcza w sytuacjach awaryjnych. Szkolenia w tym zakresie pozwalają członkom personelu pokładowego na skuteczne zarządzanie ewakuacją w tego typu sytuacjach na pokładzie. To właśnie oni są odpowiedzialni za prowadzenie i koordynację działań w razie konieczności ewakuacji, zapewniając wykonywanie procedur zgodnie z najwyższymi standardami bezpieczeństwa.

Personel pokładowy jest również przeszkolony do odpowiedniego reagowania na innego rodzaju sytuacje awaryjne, w tym medyczne, wypadki oraz incydenty na pokładzie. Jego zadania obejmują obsługę sprzętu ratunkowego oraz udzielanie pierwszej pomocy pasażerom, którzy mogą wymagać natychmiastowej interwencji.

Dodatkowo członkowie personelu pokładowego dbają o utrzymanie porządku, a także monitorują kabinę podczas całego lotu. Ich obowiązkiem jest rozpoznawanie i skuteczne zarządzanie wszelkimi nietypowymi sytuacjami, które mogą wpłynąć na bezpieczeństwo oraz komfort podróży. Dzięki ich profesjonalizmowi i przygotowaniu każdy lot może przebiegać bezpiecznie i sprawnie, a pasażerowie mają zapewnioną spokojną podróż.

Załogi lotnicze funkcjonują zgodnie z precyzyjnie określonymi procedurami standardowymi oraz awaryjnymi, które zapewniają spójność działań i przewidywalność na każdym etapie lotu. Te procedury operacyjne są fundamentem pozwalającym na bezpieczne przeprowadzenie lotu niezależnie od okoliczności.

Piloci i personel pokładowy są przeszkoleni szczególnie w zarządzaniu ryzykiem i podejmowaniu decyzji. Ich szkolenie obejmuje uzyskanie zdolności do szybkiego i świadomego reagowania na zmienne sytuacje, które mogą wystąpić w trakcie lotu. Skuteczne zarządzanie ryzykiem pozwala im unikać potencjalnych zagrożeń oraz podejmować trafne decyzje mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa wszystkim osób na pokładzie.

Dzięki rygorystycznemu przestrzeganiu procedur operacyjnych oraz wysokiej jakości szkoleniu, załogi lotnicze są w stanie utrzymać wysokie standardy bezpieczeństwa i operacyjne, co jest kluczowe dla bezpieczeństwa pasażerów, a także efektywności całego procesu lotniczego.

W utrzymaniu wysokich standardów bezpieczeństwa w lotnictwie znaczącą rolę ma współpraca z organami lotniczymi. Załogi mają obowiązek raportowania wszelkich incydentów lub nieregularności, które mogą mieć potencjalny wpływ na bezpieczeństwo lotnicze. Te raporty są wymogiem, ale również stanowią istotne źródło informacji dla organów lotniczych, które monitorują i analizują zgłoszone sytuacje. Dzięki tym danym możliwe jest ciągłe doskonalenie

procedur i standardów bezpieczeństwa, aby minimalizować ryzyko wystąpienia podobnych incydentów w przyszłości.

Dodatkowo piloci i personel pokładowy regularnie uczestniczą w szkoleniach uzupełniających. Są one niezbędne do utrzymywania aktualnych kompetencji oraz zapoznania się z najnowszymi regulacjami i procedurami. Dzięki temu załogi są w stanie dostosowywać się do zmieniającego się otoczenia operacyjnego oraz implementować najlepsze praktyki, które wspierają bezpieczeństwo i skuteczność ich działań na pokładzie samolotu.

Współpraca z organami lotniczymi oraz regularne szkolenia uzupełniające są elementami o wielkim znaczeniu dla zapewnienia najwyższych standardów bezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym i wojskowym.

Adaptacja do nowych technologii obejmuje przeszkolenie załóg w obsłudze zaawansowanych systemów i technologii, takich jak zautomatyzowane systemy pokładowe. Piloci i personel pokładowy są także szkoleni w zakresie zarządzania tymi systemami oraz w kierunku zdobywania umiejętności przejmowania kontroli manualnej, gdy zajdzie taka potrzeba. Dzięki temu są w stanie efektywnie operować w dynamicznym i zautomatyzowanym środowisku lotniczym, co przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa i efektywności lotów⁹.

⁹ Problemy adaptacji pilotów do nowych technologii na przykładzie implementacji samolotu typu Boeing B737 MAX: 1. Wprowadzenie nowych technologii. Boeing 737 MAX, najnowsza wersja popularnego samolotu komercyjnego, został zaprojektowany przy użyciu zaawansowanych technologii, które miały na celu poprawę efektywności paliwowej i ogólnej wydajności. Główne zmiany obejmowały nowe silniki CFM International LEAP-1B oraz zaawansowane systemy kontroli lotu. 2. System MCAS. Jednym z najbardziej znaczących nowych systemów w B737 MAX był Maneuvering Characteristics Augmentation System (MCAS), który został zaprojektowany dla poprawy zachowania samolotu podczas określonych manewrów i sytuacji lotniczych, głównie, aby zapobiec przeciągnięciu. 3. Problemy szkoleniowe. a. Niedostateczne szkolenie – wielu pilotów raportowało, że nie otrzymało wystarczającego szkolenia na temat MCAS, które było kluczowe dla bezpiecznego operowania samolotem. Zdobywanie informacji na temat nowego systemu było często ograniczone do krótkiego kursu komputerowego, bez pełnego szkolenia symulacyjnego. b. Brak świadomości – w niektórych przypadkach piloci nie byli w pełni świadomi obecności systemu MCAS i jego funkcji. To znacznie ograniczało ich zdolność do reagowania na nietypowe zachowanie samolotu. 4. Problemy operacyjne. a. Automatyzacja i zaufanie – wprowadzenie MCAS oznaczało większy stopień automatyzacji, co wymagało od pilotów adaptacji do nowej logiki operacyjnej. Piloci musieli nauczyć się, kiedy system automatyczny może przejąć kontrolę i jak na to skutecznie reagować. b. Przejście z innych modeli samolotów – piloci, którzy byli przyzwyczajeni do starszych modeli B737, mieli trudności z adaptacją do nowych systemów i interfejsów, co powodowało ich niepewność i błędy operacyjne. 5. Incydenty i konsekwencje. Dwa katastrofalne wypadki z udziałem B737 MAX (Lion Air Flight 610 i Ethiopian Airlines Flight 302) ujawniły poważne problemy związane z adaptacją pilotów do nowych technologii. W obu przypadkach piloci mieli trudności z zarządzaniem niespodziewanymi aktywacjami MCAS, co doprowadziło

Promocja kultury bezpieczeństwa w lotnictwie jest kluczowym elementem, którego integralną częścią są załogi lotnicze. To właśnie one pełnią centralną rolę w propagowaniu i utrzymywaniu wysokich standardów bezpieczeństwa, które stanowią fundament dla wszystkich procedur i działań w lotnictwie.

Załogi lotnicze są nieodzowną składową systemu bezpieczeństwa lotniczego. Ich wyszkolenie, doświadczenie, kompetencje oraz zdolność do efektywnej współpracy mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo pasażerów i samych załóg. Dzięki ich zaangażowaniu i profesjonalizmowi możliwe jest skuteczne zarządzanie operacjami lotniczymi, co przekłada się na bezpieczeństwo i efektywność całego sektora lotniczego.

2.3. Technologie autonomiczne i półautonomiczne

Technologie autonomiczne i półautonomiczne w lotnictwie obejmują szeroki zakres systemów i aplikacji, które mają na celu zmniejszenie liczby zadań wykonywanych przez pilotów, zwiększenie efektywności i bezpieczeństwa operacji lotniczych oraz – w niektórych przypadkach – zastąpienie pilotów w kabinie. Poniżej zaprezentowano przegląd technologii oraz ich obecny stan i perspektywy.

1. Technologie półautonomiczne obecnie odgrywające kluczową rolę w lotnictwie cywilnym i wojskowym:
 - *Autopilot*. Systemy autopilota są standardowym wyposażeniem w większości samolotów komercyjnych, mogą automatycznie wykonywać wiele zadań, takich jak utrzymanie kursu, wysokości czy prędkości.
 - *Autothrottle*. System *autothrottle* automatycznie reguluje moc silników, aby utrzymać wyznaczoną prędkość lotu.

do utraty kontroli nad samolotem. 6. Wnioski i działania naprawcze. a. Zwiększony zakres szkolenia – po wypadkach FAA oraz inne agencje lotnicze wprowadziły bardziej rygorystyczne wymagania dotyczące szkolenia na B737 MAX, w tym obowiązkowe szkolenia symulacyjne dla pilotów. b. Lepsza komunikacja. Boeing został zobowiązany do poprawy komunikacji z liniami lotniczymi i pilotami odnośnie do zmian technologicznych i operacyjnych w nowych modelach samolotów. c. Modyfikacje systemów – MCAS został zmodyfikowany, aby zapewnić większą redundancję i ograniczyć możliwość niezamierzonej aktywacji, co zwiększa bezpieczeństwo operacyjne. Adaptacja pilotów do nowych technologii, jak w przypadku B737 MAX, jest podstawowym aspektem wprowadzenia nowych modeli samolotów. Problemy związane z niewystarczającym szkoleniem, brakiem świadomości systemów i trudnościami w przejściu ze starszych modeli mogą prowadzić do poważnych incydentów. Lepsze szkolenie, komunikacja i modyfikacje technologiczne są niezbędne, aby zapewnić bezpieczną adaptację pilotów do nowych technologii lotniczych.

- FMS. Zaawansowane FMS zarządzają planowaniem lotu, nawigacją i optymalizacją ścieżki lotu, co zmniejsza obciążenie załogi.
 - Traffic Collision Avoidance System (TCAS). System zapobiegania kolizjom w powietrzu; informuje pilotów o innych statkach powietrznych w pobliżu i zaleca manewry unikowe.
 - Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS). System ostrzegający przed zbliżaniem się do ziemi, który pomaga uniknąć kolizji z terenem.
2. Technologie autonomiczne nadal będące w fazie rozwoju i badawczej, których potencjał zmiany przyszłości lotnictwa jest ogromny:
- Bezzałogowe statki powietrzne (UAV)¹⁰. Drony są najbardziej znanym przykładem autonomicznych systemów lotniczych używanych zarówno w wojsku, jak i do celów komercyjnych czy rekreacyjnych.
 - Automatyczne systemy lądowania. Istnieją systemy zdolne do przeprowadzenia całkowicie automatycznego lądowania samolotu w trudnych warunkach atmosferycznych, nawet przy całkowitym braku widoczności ziemi¹¹.

¹⁰ Formalna nazwa drona to bezzałogowy statek powietrzny (UAV) lub bezzałogowy statek latający. Oba terminy są często stosowane zamiennie, aby opisać te zdalnie sterowane lub autonomiczne pojazdy latające, które znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach od fotografii i filmowania po badania naukowe i operacje wojskowe. ICAO definiuje bezzałogowy statek powietrzny jako „statek powietrzny, który jest przeznaczony do operowania bez pilota na pokładzie”. Terminy takie jak „UAV” lub „RPAS” są również powszechnie używane. Regulacje Unii Europejskiej dotyczące dronów definiują Unmanned Aircraft jako każdy statek powietrzny, który działa autonomicznie lub jest zaprojektowany do takiego działania, albo do zdalnego pilotowania bez pilota na pokładzie. Ta definicja obejmuje wszystkie rodzaje statków powietrznych bez pilota na pokładzie, w tym modele latające sterowane radiowo (samoloty o stałych skrzydłach, helikoptery, szybowce), niezależnie od tego czy mają na pokładzie kamerę, czy nie. W regulacjach używany jest termin „Unmanned Aircraft System”, aby odnieść się do drona, jego systemu i wszelkiego sprzętu używanego do jego kontrolowania i obsługi, takiego jak jednostka sterująca, możliwa katapulta do jego wyrzutu i inne. Remotely Piloted Aircraft Systems jest podkategorią UAS, która obejmuje zarówno RPAS, jak i w pełni autonomiczne UAS. W pełni autonomiczne UAS latają całkowicie samodzielnie bez interwencji pilota.

¹¹ Automatyczne systemy lądowania to zaawansowane technologie wykorzystywane w lotnictwie do lądowania statków powietrznych bez bezpośredniej interwencji pilota. Te systemy wykorzystują szereg sensorów, danych nawigacyjnych i algorytmów do precyzyjnego wykonania procesu lądowania. Obejmują one: 1. Instrument Landing System (ILS) – technologia wykorzystująca sygnały radiowe do zapewnienia precyzyjnych wskazań dla statku powietrznego, co pozwala na lądowanie nawet w trudnych warunkach pogodowych. 2. GPS-based Landing Systems – systemy wykorzystujące sygnały GPS do dokładnego określenia pozycji statku powietrznego, umożliwiając automatyczne lądowania. 3. Autoland – funkcja automatycznego lądowania, często wykorzystywana w nowoczesnych samolotach komercyjnych, pozwalająca na całkowicie zautomatyzowane lądowanie bez interwencji pilota. Automatyczne systemy lądowania są kluczowe w zapewnianiu

- UTM. Rozwijane przez NASA i inne agencje UTM mają na celu automatyczne zarządzanie ruchem niewielkich bezałogowych statków powietrznych, zwłaszcza w miejskiej przestrzeni powietrznej¹².
- Samoloty pasażerskie bez pilotów. Chociaż nadal jest to koncepcja futurystyczna, niektóre firmy i instytucje badawcze pracują nad możliwością wprowadzenia samolotów bezałogowych do transportu pasażerskiego¹³.

bezpieczeństwa lotów, szczególnie w trudnych warunkach pogodowych lub w sytuacjach awaryjnych, gdy działanie pilota może być ograniczone.

¹² Systemy zarządzania ruchem lotniczym UTM są przeznaczone do bezpiecznego i efektywnego zarządzania ruchem bezałogowych statków powietrznych, szczególnie dronów, w przestrzeni powietrznej. Główne cechy UTM to: 1. Integracja z tradycyjnym ruchem lotniczym. UTM jest zaprojektowane, aby współdziałać z istniejącymi systemami zarządzania ruchem lotniczym, umożliwiając bezpieczną koegzystencję załogowych i bezałogowych statków powietrznych. 2. Automatyzacja i cyfryzacja. UTM wykorzystuje zaawansowane technologie, takie jak GPS, algorytmy sztucznej inteligencji i systemy komunikacji, do monitorowania i zarządzania ruchem dronów. 3. Bezpieczeństwo i zgodność z regulacjami. Systemy te zapewniają przestrzeganie przepisów lotniczych, zarządzając identyfikacją dronów, ich trasami lotu oraz dostosowując się do różnych scenariuszy lotniczych. 4. Zdalne identyfikowanie i śledzenie. UTM umożliwia identyfikację i śledzenie dronów w czasie rzeczywistym, co jest kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa w kontekście podziału kompetencji oraz odpowiedzialności za nadzór lotu. UTM stanowi ważny element w rozwijającej się infrastrukturze zarządzania ruchem dronów, zwłaszcza w kontekście rosnącej liczby komercyjnych i prywatnych operacji przeprowadzanych za pomocą dronów.

¹³ Kilka przykładów bieżących prac nad samolotami pasażerskimi bez pilotów: 1. Ehang EH216-S eVTOL. Ehang, firma chińska, opracowała elektryczny, pionowo startujący i lądujący samolot (eVTOL) o nazwie EH216-S, który jest również autonomiczny. Został on zatwierdzony przez Chińską Administrację Lotnictwa Cywilnego (Civil Aviation Administration of China, CAAC) do komercyjnych operacji przewozu pasażerów. Jest to pierwsze takie zatwierdzenie na świecie. Model EH216-S został zaprojektowany zgodnie z normami bezpieczeństwa i wymaganiami dotyczącymi stateczności powietrznej CAAC, co spowodowało zakwalifikowanie go do przewozu pasażerów w operacjach komercyjnych. 2. Wisk. Amerykańska firma Wisk pracuje nad autonomiczną takśówką powietrzną, która wykorzystuje zaawansowaną technologię do samodzielnego lotu. Projekt Wisk obejmuje symulacje wysokiej wierności całego ekosystemu (samolotu, systemów naziemnych i elementu ludzkiego) oraz testowanie samolotów zastępczych. Te technologie pozwalają na szybkie testowanie w rzeczywistym środowisku operacyjnym i gromadzenie danych niezbędnych do analizy różnych sytuacji operacyjnych. 3. Airbus. Airbus również bada i rozwija technologie autonomiczne w lotnictwie. Przykładem jest projekt Autonomous Taxi, Take-off and Landing (ATTOL), który wykorzystywał technologie wizji komputerowej do wykonania w pełni autonomicznych takśówek oraz do realizacji startów, podejść i lądowań samolotu komercyjnego. Projekt ten został zakończony w 2020 r., a jego technologie nadal są rozwijane, aby napędzać przyszłe koncepcje. Ponadto Airbus pracuje nad skalowanymi, certyfikowanymi systemami autonomicznymi, które napędzają aplikacje samolotów bezpilotowych w całym Airbusie, od małych miejskich pojazdów powietrznych po duże samoloty komercyjne.

2.4. Wyzwania integracyjne i regulacyjne

Wyzwania integracyjne i regulacyjne związane z zaangażowaniem autonomicznych oraz półautonomicznych systemów w przestrzeni lotniczej są liczne i wymagają spełnienia poniższych kryteriów:

- bezpieczeństwo musi być uwzględnione przez projektantów systemów autonomicznych, aby były one niezawodne i zdolne do radzenia sobie z nieprzewidzianymi sytuacjami;
- regulacje, opracowywane przez takie organy jak FAA, EASA i inne, muszą umożliwić bezpieczną integrację systemów autonomicznych z tradycyjnymi załogowymi;
- akceptacja społeczna, która jest niezbędna, aby ludzie zaufali technologiom umożliwiającym loty bez bezpośredniego udziału ludzi;
- zaawansowane algorytmy sztucznej inteligencji są konieczne do nauki i adaptacji w dynamicznym środowisku lotniczym;
- musi być zapewnione cyberbezpieczeństwo, aby systemy były odporne na cyberzagrożenia, które mogą zagrażać bezpieczeństwu lotów;
- redundancja systemów jest konieczna, aby w przypadku awarii była zapewniona kontrola nad samolotem.

Technologie autonomiczne i półautonomiczne obiecują znaczne korzyści, w tym zwiększenie bezpieczeństwa i efektywności lotów. Jednakże ich pełna realizacja i integracja z istniejącym systemem lotnictwa będzie wymagała dalszego rozwoju w tym zakresie, badań naukowych oraz tworzenia nowych regulacji, a także budowania zaufania społecznego.

2.5. Rozwój technologii autonomicznych w lotnictwie

2.5.1. Aspekty technologiczne

Rozwój technologii autonomicznych w lotnictwie stanowi jeden z najbardziej dynamicznych i innowacyjnych obszarów współczesnego przemysłu lotniczego obejmujący aspekty techniczne oraz różnorodne wyzwania związane z bezpieczeństwem, regulacjami prawnymi oraz akceptacją społeczną.

Kluczowym elementem postępującej automatyzacji w lotnictwie są coraz bardziej zaawansowane FMS, które umożliwiają wykonywanie skomplikowanych zadań z minimalnym udziałem pilota, począwszy od startu aż po lądowanie.

Rzeczywisty rozwój technologii danych i łączności, takich jak ADS-B¹⁴, przyczynia się do poprawy świadomości sytuacyjnej oraz efektywniejszej komunikacji między samolotami i kontrolą ruchu lotniczego. Natomiast AI jest w coraz większym stopniu wykorzystywana do analizowania ogromnych ilości danych z różnych sensorów, co umożliwia podejmowanie lepszych decyzji przez systemy autonomiczne i redukcję obciążenia załogi. Kolejny istotny element autonomicznych operacji lotniczych, umożliwiający samolotom unikanie przeszkód i innych statków powietrznych bez konieczności interwencji człowieka, to DAA.

Rzeczywisty rozwój robotyki i automatyzacji przyczynia się do wprowadzania autonomicznych systemów do obsługi samolotów na ziemi, efektywnie redukując potrzebę interwencji człowieka i zwiększając bezpieczeństwo operacji lotniczych.

Wspomniane technologie mają potencjał, by znacząco zwiększyć efektywność i bezpieczeństwo lotów. Jednak ich pomyślne wdrożenie i integracja z istniejącym systemem lotnictwa wymaga kolejnych badań, dalszego rozwoju technologicznego oraz dostosowania regulacji, aby sprostać wyzwaniom związanym z autonomiczną przyszłością lotnictwa.

2.5.2 Aspekty bezpieczeństwa

Redundancja i niezawodność mają w kontekście bezpieczeństwa znaczenie fundamentalne. Systemy autonomiczne muszą być nie tylko bardzo niezawodne,

¹⁴ ADS-B, czyli Automatic Dependent Surveillance-Broadcast, jest to wykorzystywany w lotnictwie system nadzoru, który pozwala na śledzenie samolotów. Stanowi on część nowoczesnej infrastruktury zarządzania ruchem lotniczym i odgrywa ważną rolę w poprawie bezpieczeństwa i efektywności lotów. Główne cechy i funkcje systemu ADS-B: 1. Transmisja danych. Samoloty wyposażone w ADS-B nadają informacje o swojej tożsamości, pozycji, wysokości i prędkości. Te dane są transmitowane na ziemię i do innych samolotów wyposażonych w odpowiednie odbiorniki. 2. Zależność od GPS. ADS-B jest zależny od satelitarnych systemów nawigacyjnych, takich jak GPS, które są mu niezbędne do precyzyjnego określenia pozycji samolotu. 3. Poprawa bezpieczeństwa. Dzięki ADS-B kontrolerzy ruchu lotniczego mają dokładniejsze i aktualniejsze informacje o pozycji samolotów, co zwiększa bezpieczeństwo lotów, zwłaszcza w trudnych warunkach atmosferycznych. 4. Efektywność zarządzania ruchem lotniczym. System pomaga w bardziej efektywnym zarządzaniu ruchem lotniczym, umożliwiając kontrolerom lepsze planowanie tras lotu i zmniejszenie ryzyka kolizji. 5. Zwiększenie transparentności i świadomości sytuacyjnej. ADS-B zwiększa świadomość sytuacyjną pilotów, umożliwiając im odbieranie danych o innych samolotach w ich okolicy, co jest szczególnie przydatne w unikaniu kolizji. 6. Globalne wdrażanie. ADS-B jest stopniowo wdrażany na całym świecie jako standardowy element systemów zarządzania ruchem lotniczym. W wielu krajach, w tym w Stanach Zjednoczonych, istnieją już mandaty dotyczące wyposażenia samolotów w te systemy.

ale także wyposażone w powielone systemy zapasowe (redundancje), aby zapobiec awariom i zminimalizować ryzyko nieplanowanego zatrzymania operacji.

W związku z rozwojem łączności i automatyzacji niezwykle istotne jest cyberbezpieczeństwo. Konieczne jest zapewnienie odpowiednich środków ochrony przed atakami cybernetycznymi, które mogą potencjalnie zagrozić bezpieczeństwu operacji lotniczych i prywatności danych.

Bardzo rygorystycznie muszą być realizowane procesy testowania i certyfikacji, ponieważ ich celem jest zapewnienie gotowości systemów do bezpiecznego użytkowania. Wymagają one również pełnej współpracy zarówno ze strony regulatorów, jak i użytkowników, co jest niezbędne dla pomyślnego wdrożenia nowych technologii w lotnictwie.

2.5.3. Aspekty społeczne i prawne

Aby odpowiednio dostosować ramy prawne do integracji systemów autonomicznych w przestrzeni powietrznej, niezbędne są regulacje na poziomie międzynarodowym i poszczególnych państw. Wymagają one także klarownego określenia odpowiedzialności w wypadkach, co ma duże znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa operacji.

Akceptacja społeczna jest równie istotna. Społeczeństwo powinno zaakceptować ideę samolotów działających bez bezpośredniego nadzoru ludzkiego. Środkami do tego celu są edukacja oraz dokumentacja bezpieczeństwa takich operacji mogące zbudować zaufanie i spowodować, że autonomiczne technologie będą przez społeczeństwo odbierane pozytywnie.

W kontekście etyki i odpowiedzialności prawnej konieczne jest zdefiniowanie, jak będzie rozłożona odpowiedzialność w przypadku błędów systemu; wymaga to szczegółowych regulacji i norm etycznych, aby zapewnić sprawiedliwe i bezpieczne funkcjonowanie tych zaawansowanych technologii.

2.5.4. Potencjalne korzyści i wyzwania

Potencjalne korzyści wynikające z rozwoju technologii autonomicznych w lotnictwie obejmują zmniejszenie kosztów operacyjnych, zwiększenie efektywności działań, poprawę bezpieczeństwa poprzez eliminację błędów ludzkich oraz możliwość operowania w trudniejszych warunkach atmosferycznych lub środowiskowych. Te korzyści mogą znacząco przyczynić się do udoskonalenia operacji lotniczych na wielu poziomach.

Jednakże istnieją również liczne wyzwania. Konieczne są: opracowanie kompleksowych standardów, które będą regulować działanie tych systemów; zapewnienie ich niezawodności i bezpieczeństwa; ochrona przed zagrożeniami cybernetycznymi oraz rozwój odpowiedniej infrastruktury naziemnej wspierającej operacje autonomiczne.

Rozwój technologii autonomicznych w lotnictwie jest nieunikniony, ale jego postęp będzie zależał od skutecznego rozwiązania powyższych kwestii oraz wypracowania odpowiednich procedur, które umożliwią bezpieczną integrację z istniejącym systemem lotniczym.

2.6. Systemy zarządzania lotem i ich ewolucja

FMS-y¹⁵ to złożone, specjalistyczne komputery używane w samolotach komercyjnych i prywatnych przeznaczone do zapewnienia automatycznego nawigowania, optymalizacji trasy, zarządzania prędkością i planowania lotu. Ewolucja tych systemów pokładowych stanowi historię postępu technologicznego, który w dużym stopniu przyczynił się do poprawy bezpieczeństwa i wydajności operacji lotniczych.

2.6.1. Pierwsze FMS-y (lata 70.)

Pierwsze FMS-y, wprowadzone w latach 70., były zasadniczo uproszczonymi komputerami nawigacyjnymi, które integrowały kilka podstawowych funkcji, takich jak autopilot, wyznaczanie trasy oraz proste obliczenia wydajnościowe. Te wczesne systemy mogły zarządzać trasami lotów poprzez wprowadzanie współrzędnych punktów nawigacyjnych i wykonywanie niezbędnych obliczeń do śledzenia tych tras. Stanowiły one początek ewolucji, która doprowadziła do powstawania coraz bardziej zaawansowanych systemów FMS w późniejszych latach.

2.6.2. Rozwój i integracja (lata 80. i 90.)

W latach 80. i 90. nastąpił znaczący rozwój i integracja FMS-ów.

Automatyzacja tych systemów została wzmocniona przez integrację większej liczby funkcji zarządzania lotem, takich jak kontrola prędkości i wysokości.

¹⁵ Flight Management System (FMS) – wyspecjalizowany, zintegrowany z autopilotem i systemami nawigacyjnymi, system sterowania lotem umożliwiający zautomatyzowanie szeregu czynności związanych z obsługą i kontrolą systemów samolotu. Jest podstawowym elementem nowoczesnej awioniki.

To pozwalało na bardziej zautomatyzowane podejścia i lądowania, co z kolei poprawiało efektywność operacji lotniczych.

Dodatkowo systemy FMS były coraz lepiej zintegrowane z innymi zaawansowanymi systemami awioniki, takimi jak wyświetlacze *head-up* (HUD)¹⁶ oraz zaawansowane autopiloty. Znacząco rozszerzało to możliwości FMS-ów, zapewniając pilotom bardziej kompleksowe narzędzia do zarządzania lotem i monitorowania go.

2.6.3. GPS i nawigacja satelitarna (lata 90.)

W latach 90. nastąpił znaczący postęp w dziedzinie GPS i nawigacji satelitarnej.

Wprowadzenie Globalnego Systemu Pozycjonowania (Global Positioning System, GPS) umożliwiło precyzyjne określanie pozycji samolotów na całym świecie, co spowodowało poprawę nawigacji i bezpieczeństwa lotów.

Równocześnie rozwój wymagań dotyczących nawigacji Area Navigation (RNAV) i wydajności nawigacyjnej Required Navigation Performance (RNP) przyczynił się do zwiększenia dokładności tras lotniczych oraz efektywności zużycia paliwa¹⁷. Te

¹⁶ Head-Up Display (HUD) w samolotach to zaawansowany system wyświetlania informacji, który projektuje ważne dane lotu na przezroczystą powierzchnię umieszczoną na linii wzroku pilota. HUD umożliwia pilotom odczytywanie kluczowych informacji, takich jak prędkość, wysokość, nawigacja i wskazówki dotyczące celowania (w przypadku samolotów wojskowych), bez konieczności spoglądania na tradycyjne przyrządy umieszczone na panelu. Kluczowe cechy i zalety HUD w samolotach: 1. Poprawa bezpieczeństwa. Dzięki temu, że informacje są wyświetlane bezpośrednio w polu widzenia pilota, HUD pomaga w utrzymaniu ciągłej świadomości sytuacyjnej i pozwala na szybsze reagowanie w krytycznych sytuacjach. 2. Zmniejszenie obciążenia wzroku. HUD redukuje potrzebę częstego przemieszczania wzroku między panelami przyrządów a widokiem na zewnątrz, co zmniejsza obciążenie wzroku i pozwala pilotom na lepsze skoncentrowanie się na otoczeniu lotu. 3. Wsparcie w trudnych warunkach pogodowych. HUD jest szczególnie przydatny w trudnych warunkach atmosferycznych, ponieważ umożliwia wówczas pilotom lepszą orientację i nawigację, nawet gdy widoczność jest ograniczona. 4. Ułatwienie lądowania i startu. W przypadku startów i lądowań, HUD dostarcza ważnych informacji, które wspomagają pilota w dokładnym manewrowaniu samolotem. 5. Zastosowania wojskowe i cywilne. Chociaż technologia HUD początkowo była używana głównie w samolotach wojskowych do ułatwiania celowania i nawigacji, obecnie jest coraz częściej stosowana również w samolotach cywilnych, zwłaszcza w komercyjnych liniach lotniczych. 6. Integracja z innowacyjnymi technologiami. Współczesne systemy HUD mogą być integrowane z innymi zaawansowanymi technologiami, takimi jak systemy ostrzegania o kolizji, systemy zarządzania lotem i systemy rozszerzonej rzeczywistości, aby zapewnić jeszcze szerszy zakres informacji i wsparcia dla pilotów.

¹⁷ Required Navigation Performance (RNP) i Area Navigation (RNAV) to dwa ważne terminy w lotnictwie cywilnym, które odnoszą się do nawigacji lotniczej. Oba mają na celu zwiększenie precyzji, elastyczności i efektywności tras lotu. Główne cechy: 1. RNAV. a. Definicja. RNAV jest metodą nawigacji, która pozwala na lot po dowolnej ścieżce w przestrzeni powietrznej przy

zaawansowane technologie nawigacyjne umożliwiają samolotom bardziej precyzyjne śledzenie określonych tras oraz efektywniejsze planowanie i realizację lotów.

2.6.4. Nowe tysiąclecie i rozwój technologii (od 2000 r.)

W XXI wieku nastąpił znaczący rozwój technologii związanych z systemami zarządzania lotem.

FMS-y stały się bardziej zaawansowane i zintegrowane. Zyskały możliwość aktualizacji w czasie rzeczywistym oraz wykorzystania danych o ruchu powietrznym, co znacząco poprawiło zarządzanie operacjami lotniczymi.

Integracja FMS-ów z nowymi systemami ATM oraz ADS-B umożliwiła lepszą koordynację i zarządzanie ruchem powietrznym. Dzięki temu samoloty mogą efektywniej planować trasy lotów oraz bezpieczniejszymi metodami komunikować się z kontrolą ruchu lotniczego i innymi samolotami.

2.6.5. Era autonomii i AI (obecnie i przyszłość)

Era autonomii oraz AI, która obecnie trwa i ma zrewolucjonizować przyszłość lotnictwa, skupia się na kilku kluczowych aspektach.

pomocy sieci punktów nawigacyjnych, bez konieczności bezpośredniego lotu od jednego punktu nawigacyjnego do drugiego. b. Technologia. Wykorzystuje systemy nawigacji satelitarnej (takie jak GPS) lub inne źródła danych nawigacyjnych do obliczania pozycji samolotu i umożliwia przelot wzdłuż określonej ścieżki pomiędzy punktami określonymi przez szerokość i długość geograficzną. c. Elastyczność. RNAV zwiększa elastyczność i efektywność operacji lotniczych, pozwalając na planowanie tras lotu, które są bardziej bezpośrednie – przebiegają po najkrótszym odcinku i umożliwiają zaoszczędzenie paliwa. 2. RNP. a. Definicja. RNP to standard w nawigacji, który określa wymagania dotyczące dokładności, integralności, dostępności, ciągłości i funkcjonalności potrzebnych do prowadzenia operacji lotniczych w określonej przestrzeni powietrznej. b. Dokładność i niezawodność. RNP wymaga od samolotu utrzymywania precyzyjnej ścieżki lotu z określoną dokładnością nawigacyjną. Oznacza to, że samolot musi być zdolny do utrzymania swojej pozycji w określonych granicach. c. Systemy zintegrowane. Systemy RNP często wykorzystują zaawansowane technologie, takie jak autonomiczne systemy nadzoru, które pomagają w spełnieniu wymagań RNP. c. Zastosowanie. RNP jest szczególnie ważny w trudnych warunkach terenowych lub w zatłoczonych przestrzeniach powietrznych, gdzie precyzyjna nawigacja jest kluczowa dla bezpieczeństwa. Różnice między RNP a RNAV: 1. RNAV skupia się na metodzie nawigacji pozwalającej na lot po dowolnej ścieżce z wykorzystaniem różnych technologii nawigacyjnych. 2. RNP dodaje do RNAV wymagania dotyczące dokładności i niezawodności, określając, jak dokładnie samolot musi śledzić daną ścieżkę lotu. Wspólnie, RNAV i RNP stanowią ważny element nowoczesnego zarządzania ruchem lotniczym, umożliwiając bardziej efektywne, bezpieczne i ekonomiczne loty.

Autonomiczne systemy lotu stają się coraz bardziej zaawansowane, umożliwiając samolotom monitorowanie warunków lotu, diagnozowanie i reagowanie w czasie rzeczywistym. Rozwój tych systemów oraz rosnące zaufanie do technologii opartych na AI otwierają nowe możliwości dla efektywności operacyjnej i bezpieczeństwa lotniczego.

Drugim, równie ważnym elementem staje się cyberbezpieczeństwo, szczególnie w odniesieniu do FMS-ów. Ochrona tych krytycznych systemów przed zagrożeniami cyfrowymi jest niezbędna dla zapewnienia integralności, bezpieczeństwa i niezawodności autonomicznych operacji lotniczych.

Te zmiany i wyzwania definiują nową erę w lotnictwie, w którym technologie autonomiczne i AI mają znaczny wpływ na przyszłość bezpieczeństwa oraz efektywności operacyjnej w transporcie powietrznym.

2.6.6. Wnioski

Systemy zarządzania lotem przeszły długą drogę od prostych komputerów nawigacyjnych do zaawansowanych systemów, które mogą w pełni zarządzać lotem od startu do lądowania. W miarę jak technologia rozwija się, można oczekiwać jeszcze większej integracji z systemami opartymi na sztucznej inteligencji, co może prowadzić do dalszej automatyzacji i potencjalnie do pełnego autonomicznego lotu komercyjnego. Wyzwaniem pozostaje utrzymanie bezpieczeństwa tych systemów, zapewnienie ich odporności na zakłócenia i zbudowanie zaufania społecznego do technologii, które będą coraz bardziej oddziaływać na sposób podróżowania w powietrzu.

2.7. Przyszłość sztucznej inteligencji i jej rola w bezpieczeństwie lotniczym

Przyszłość AI w bezpieczeństwie lotniczym jest obiecująca, ma potencjał znacznego podniesienia poziomu bezpieczeństwa i poprawienia efektywności oraz zarządzania ruchem lotniczym. Kilka kluczowych obszarów, w których AI może odegrać istotną rolę w przyszłości lotnictwa obejmuje prognozowanie i zarządzanie ruchem lotniczym, automatyzację procesów decyzyjnych, monitorowanie stanu technicznego samolotów, ulepszanie systemów bezpieczeństwa, integrację z lotnictwem bezzałogowym oraz optymalizację operacji lotniczych. AI może być wykorzystywana do analizy danych meteorologicznych, danych lotów oraz innych czynników wpływających na ruch lotniczy, co pozwala dostarczać systemom zarządzania lotem dokładniejsze prognozy i lepiej dostosowywać trasy lotów w czasie rzeczywistym, minimalizując

ryzyko niebezpiecznych warunków pogodowych i opóźnień. AI wspiera także szybkie i precyzyjne podejmowanie decyzji w sytuacjach awaryjnych lub podczas nieoczekiwanych incydentów, analizując dane z różnych źródeł i rekomendując optymalne rozwiązania dla zarządców ruchu lotniczego i pilotów. Dodatkowo, dzięki analizie danych zbieranych z samolotów w locie, AI umożliwia monitorowanie ich stanu technicznego w czasie rzeczywistym, co przyczynia się do wczesnego wykrywania problemów technicznych i podejmowania działań zapobiegawczych. AI może także analizować dane dotyczące incydentów i wypadków lotniczych, identyfikując czynniki ryzyka i wspierając opracowywanie strategii zapobiegania przyszłym incydentom, co determinuje doskonalenie systemów bezpieczeństwa i regulacji lotniczych. W kontekście rozwoju lotnictwa bezzałogowego AI odgrywa bardzo ważną rolę w zarządzaniu ruchem lotniczym dronów i innych statków powietrznych, zapewniając bezpieczne i efektywne operacje. Dodatkowo wspomaga linie lotnicze i operatorów lotnisk w optymalizacji operacji, w tym w zarządzaniu trasami lotów, rozkładami lotów, utrzymaniem floty oraz zarządzaniu zapasami paliwa. Jednak wraz z korzyściami płynącymi z zastosowania AI w lotnictwie pojawiają się również wyzwania związane z bezpieczeństwem cybernetycznym, regulacjami oraz prywatnością. Dlatego, aby zapewnić bezpieczeństwo i minimalizować ryzyko, istotne jest odpowiednie planowanie i monitorowanie wdrożeń AI. Przyszłość sztucznej inteligencji w bezpieczeństwie lotniczym niesie nadzieję na poprawę efektywności, bezpieczeństwa i ekologiczności lotnictwa. Jednak równocześnie konieczne jest utrzymanie odpowiednich kontroli i regulacji, aby zapewnić bezpieczeństwo oraz podział odpowiedzialności związanej z jej wykorzystaniem.

2.8. Badania możliwości technologicznych redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich oraz cargo przy wykonywaniu lotów bezzałogowych oraz statków powietrznych z jednym pilotem

Sektor przemysłu lotniczego, w tym producenci samolotów i awioniki, obecnie wdraża zaawansowane programy mające na celu implementację komercyjnych samolotów obsługiwanych przez jednego pilota. Ich wprowadzenie do użytku komercyjnego jest możliwe już w połowie obecnej dekady.

Działania dotyczące obsługi jednoosobowej samolotów są również wspierane i finansowane przez szersze rządowe inicjatywy. Przykładowo, w Wielkiej Brytanii są prowadzone badania w ramach tzw. Future Flight Deck¹⁸ czy Open

¹⁸ Future Flight Deck odnosi się do koncepcji i projektów związanych z przyszłym wyglądem oraz funkcjonalnością kokpitów samolotów. Te innowacyjne projekty i pomysły mają na celu wykorzystanie

Flight Deck¹⁹. W USA badania dotyczące jednozałogowych samolotów sponzoruje NASA Ames Research Center. Nie jest tajemnicą, że mają one na celu docelowe rozpoznanie i określenie warunków dla wdrożenia w pełni autonomicznych pojazdów latających UAV.

Wprowadzenie do użytku komercyjnego załóg składających się z jednego pilota stanie się katalizatorem rozwoju nowej gamy technologii skoncentrowanych

najnowszych technologii, a także osiągnięć w dziedzinie lotnictwa, aby uczynić pilotowanie samolotów bezpieczniejszym, bardziej efektywnym i intuicyjnym. Kluczowe cechy przyszłych kokpitów: 1. Zaawansowane systemy wyświetlania. Wdrożenie zaawansowanych systemów HUD i systemów wyświetlania opartych na rozszerzanej rzeczywistości, które dostarczają pilotom najistotniejszych informacji bez konieczności odwracania przez nich wzroku od zewnętrznej przestrzeni powietrznej. 2. Automatyzacja i autonomia. Większe wykorzystanie automatyzacji i systemów autonomicznych, które mogą pomagać pilotom w nawigacji, zarządzaniu lotem i podejmowaniu decyzji. 3. Interfejsy dotykowe i adaptacyjne. Zastąpienie tradycyjnych przycisków i przełączników przez interaktywne ekrany dotykowe, które mogą być dostosowywane do potrzeb i preferencji pilotów. 4. Integracja z systemami zarządzania ruchem lotniczym. Ścisła integracja kokpitu z nowoczesnymi systemami ATM, w tym z UTM. 5. Cyberbezpieczeństwo. Wzmocnienie ochrony przed zagrożeniami cybernetycznymi przy jednoczesnym uwzględnieniu rosnącej liczby danych przetwarzanych i przesyłanych między samolotem a systemami ziemnymi. 6. Optymalizacja pracy załogi. Ergonomiczne i intuicyjne projektowanie kokpitu w celu zmniejszenia obciążenia załogi pracą i zwiększenia efektywności operacyjnej. 7. Zrównoważony rozwój. Włączenie technologii przyjaznych dla środowiska, takich jak systemy zmniejszające zużycie paliwa i emisję spalin. Future Flight Deck jest więc pojęciem obejmującym szereg innowacji i koncepcji, które mają kształtować przyszłość lotnictwa, czyniąc je bezpieczniejszym, bardziej wydajnym i zrównoważonym.

¹⁹ Open Flight Deck to koncepcja w lotnictwie, która zakłada tworzenie kokpitów samolotów opartych na otwartych standardach i architekturach. Celem takiego podejścia jest umożliwienie większej integracji między różnymi systemami i urządzeniami w kokpicie, bez względu na ich różnych producentów, w następujących aspektach: 1. Modułowość i kompatybilność. W kokpicie opartym na otwartych standardach, różne komponenty systemu mogą być łatwo wymieniane, aktualizowane lub modyfikowane, co zapewnia większą elastyczność i możliwość dostosowania do różnych potrzeb operacyjnych. 2. Interoperacyjność. Open Flight Deck umożliwia lepszą współpracę między różnymi systemami pokładowymi, co może prowadzić do lepszego zarządzania danymi i efektywniejszej pracy załogi. 3. Innowacje i rozwój. Otwarte standardy mogą stymulować innowacje, ponieważ umożliwiają mniejszym firmom i start-upom rozwijanie i integrację swoich technologii z istniejącymi systemami lotniczymi. 4. Redukcja kosztów. Umożliwienie integracji systemów z różnych źródeł może przyczynić się do obniżenia kosztów zarówno zakupu, jak i utrzymania sprzętu lotniczego. 5. Bezpieczeństwo i cyberbezpieczeństwo. W kontekście otwartych systemów kwestie bezpieczeństwa, w tym cyberbezpieczeństwa, stają się kluczowe. Systemy te muszą być zaprojektowane w taki sposób, aby zapewniać wysoki poziom ochrony przed potencjalnymi zagrożeniami. 6. Standaryzacja i certyfikacja. Wyzwaniem dla Open Flight Deck jest zapewnienie, by wszystkie komponenty spełniały rygorystyczne standardy lotnicze i były certyfikowane do użycia w lotnictwie. Open Flight Deck to podejście, które ma na celu zwiększenie elastyczności, efektywności i innowacyjności w projektowaniu oraz funkcjonowaniu kokpitów samolotów, przy jednoczesnej dbałości o wysokie standardy bezpieczeństwa i interoperacyjności.

na człowieku i wspierających nowe koncepcje operacyjne linii lotniczych. Można założyć, że głównym czynnikiem, na którym zostaną skoncentrowane badania, będą wymagania dotyczące czynnika ludzkiego, a nie technologie sprzętowe i programowe.

Obecnie najbardziej zaawansowane badania nad różnymi podejściami technologicznymi do opracowania samolotu z jednym pilotem skupiają się na rozwoju systemów o zwiększonym poziomie automatyzacji (np. inteligentnych systemów opartych na wiedzy, systemów autonomicznych i automatyzacji adaptacyjnej). Ostrożniejsze podejścia zakładają korzystanie z dużej liczby komputerów pokładowych, bazujących na systemach rozproszonych, wykorzystujących wiele istniejących technologii wywodzących się z jednomiejscowych samolotów wojskowych i technologii UAS.

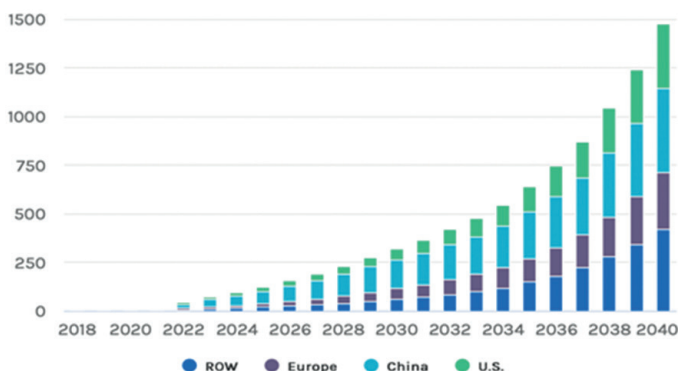
Wydaje się, że najważniejszym katalizatorem rozwoju autonomicznych systemów latających będzie rozwój pojazdów latających elektrycznych lub hybrydowo-elektrycznych pionowego startu i lądowania (electric Vertical Take-Off and Landing, eVTOL)²⁰. Nie tylko powinny one zwiększyć mobilność poprzez szybsze, cichsze oraz oszczędniejsze przemieszczanie ludzi i ładunku niż tradycyjne helikoptery, ale także przyczynić się do większej akceptacji pasażerów dla systemów autonomicznych również w samolotach dalekiego zasięgu. Sprawdzone tam rozwiązania technologiczne zapewne znajdą szerokie zastosowanie w systemach autonomicznych dalekiego zasięgu.

Według Morgan Stanley sektor pojazdów eVTOL osiągnie w podstawowym wariantcie prognozy łączny adresowalny rynek o wartości 1,5 bln USD do 2040 r., a 2,9 bln USD w wariantcie optymistycznym²¹. Rozwój ten będzie w dużej mierze determinowany postępowaniem w samochodach autonomicznych; stworzy warunki technologiczne oraz przełamie bariery psychologiczne wobec autonomicznych

²⁰ eVTOL to skrót nazwy electric Vertical Take-Off and Landing, oznaczającej elektryczny pionowy start i lądowanie. Przypisany jest do kategorii statków powietrznych, które wykorzystują elektryczne napędy do wykonania pionowego startu i lądowania. Kluczowymi cechami eVTOL-i są: 1. Elektryczny napęd. eVTOL-e wykorzystują silniki elektryczne, bardziej ekologiczne w porównaniu do tradycyjnych silników spalinowych. Jest to istotne w kontekście zmniejszania emisji dwutlenku węgla i hałasu. 2. Pionowy start i lądowanie. Ta zdolność umożliwia eVTOL-om operowanie w ograniczonych przestrzeniach, takich jak miasta. Nie wymagają one tradycyjnych pasów startowych. 3. Zastosowania. eVTOL-e mają szeroki zakres zastosowań, od transportu pasażerskiego (np. latające taksówki) po zastosowania w służbach ratowniczych, przemyśle filmowym, inspekcjach i monitoringu. 4. Innowacje w mobilności miejskiej. eVTOL-e są częścią większego trendu w kierunku mobilności miejskiej obejmującego rozwój nowych form transportu miejskiego, które są bardziej zrównoważone i efektywne. 5. Wyzwania i rozwój. Projektowanie i produkcja eVTOL-i wiąże się z wieloma wyzwaniami w zakresie bezpieczeństwa, regulacji, zarządzania ruchem lotniczym i technologii akumulatorów. 6. Przyszłość transportu. eVTOL-e są często postrzegane jako kluczowy element przyszłości transportu stanowiący potencjał dla szybkich, efektywnych i czystych środków transportu, zwłaszcza w zatłoczonych obszarach miejskich.

²¹ *Are drones and air taxis worth billions or trillions of dollars?*, <https://aerospaceamerica.aiaa.org/making-sense-of-advanced-air-mobility-market-projections/> (dostęp: 7.10.2024).

pojazdów powietrznych. Aby jednak do tego doszło, muszą zostać znalezione rozwiązania w sześciu podstawowych, następujących obszarach: przełamanie barier psychologicznych, bezpieczeństwo, systemy zarządzania ruchem, regulacje prawne, adekwatność technologiczna oraz infrastruktura towarzysząca.



Rysunek 3. Prognozy dla sektora eVTOL

Źródło: *Flying cars set for slow takeoff, rapid ascent*, <https://www.freightwaves.com/news/flying-cars-set-for-slow-takeoff-rapid-ascent> (dostęp: 7.10.2024).

Tabela 1. Wyzwania do zrealizowania przed przejściem na wyższy poziom mobilności powietrznej

Obszar	Opis
Bariery psychologiczne	bariery psychologiczne wydają się być główną przeszkodą w przekonaniu konsumentów – wg badania Deloitte na grupie 10 000 osób, 80% badanych obawia się o brak zapewnienia bezpieczeństwa przy korzystaniu z eVTOL-i
Bezpieczeństwo	dla popularyzacji eVTOL-i konieczne może być wygenerowanie i dostarczenie danych nt. długiego użytkowania bezwypadkowego
Zarządzanie ruchem	stworzenie wszechstronnego systemu zarządzania ruchem powietrznym zintegrowanego z innymi rodzajami transportu
Regulacje	stworzenie przepisów dotyczących pojazdów bezałogowych, świadectw zdatności do lotu oraz nowych rodzajów licencji pilota i szkoleń
Adekwatność technologiczna	wdrożenie wydajnych baterii, systemów zarządzania energią, czujników pokładowych i systemów wykrywania kolizji przy użyciu zaawansowanych technologii, takich jak AI/DL/AR
Infrastruktura	wybudowanie sieci stref startu i lądowania, parkingów, stacji ładowania i wertiportów

Źródło: opracowanie własne na podstawie: A. Hussain, V. Rutgers, *Change is in the air. The elevated future of mobility: What's next on the horizon?*, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/future-of-mobility/evtol-elevated-future-of-mobility-summary.html> (dostęp: 7.10.2024).

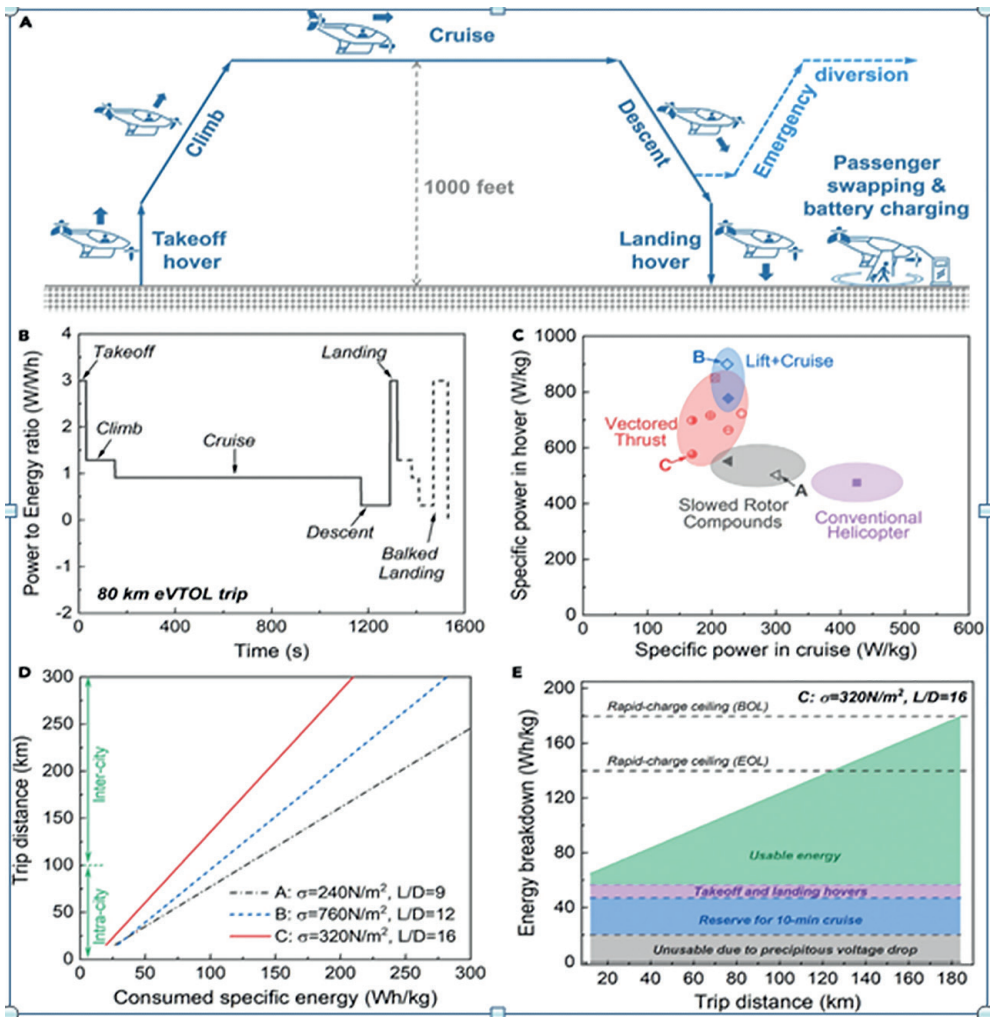
Każde z tych wyzwań, nieodpowiednio lub niewystarczająco zaadresowane, może stanowić istotną barierę w rozwoju eVTOL-i, a w konsekwencji UAW. Ważną zasadą przyświecającą branży eVTOL jest zrównoważony rozwój. Producenci mają na celu stworzenie rentownych samolotów, które muszą utrzymać zerową emisję netto podczas eksploatacji, aby obniżyć negatywny wpływ ich funkcjonowania na środowisko.

Tabela 2. Prognozy rozwoju pasażerskich eVTOL-i (2020–2030 i nast.)

2020–2025	2025–2030	2030
<ul style="list-style-type: none"> • pasażerski prototyp eVTOL-a poddany testowaniu, komercjalizacja eVTOL-a dla cargo • okres wyęźzonej współpracy operatorów i regulatorów dla stworzenia prawa i regulacji oraz systemu zarządzania ruchem powietrznym 	<ul style="list-style-type: none"> • szerokie zastosowanie eVTOL-i cargo, które powinno utorować drogę komercjalizacji eVTOL-i pasażerskich • pierwsza faza komercjalizacji pasażerskich, pilotowanych eVTOL-i • wybudowanie podstawowej infrastruktury (wertiporty) • wprowadzenie systemu zarządzania i infrastruktury regulacyjnej • wzrost niezawodności technologii 	<ul style="list-style-type: none"> • sukces pojazdów pilotowanych może skutkować zwiększoną ich adopcją i pojawieniem się autonomicznych eVTOL-i również dla pasażerów • większa akceptacja społeczna • spadek kosztów produkcji pasażerskich eVTOL-i ze względu na efekty skali i zmniejszenie kosztów produkcji baterii • prawdopodobne zwiększenie zasięgu eVTOL-i wskutek stosowania zaawansowanych technologii produkcji baterii

Źródło: opracowanie własne na podstawie: A. Hussain, V. Rutgers, *Change is in the air...*, op. cit.

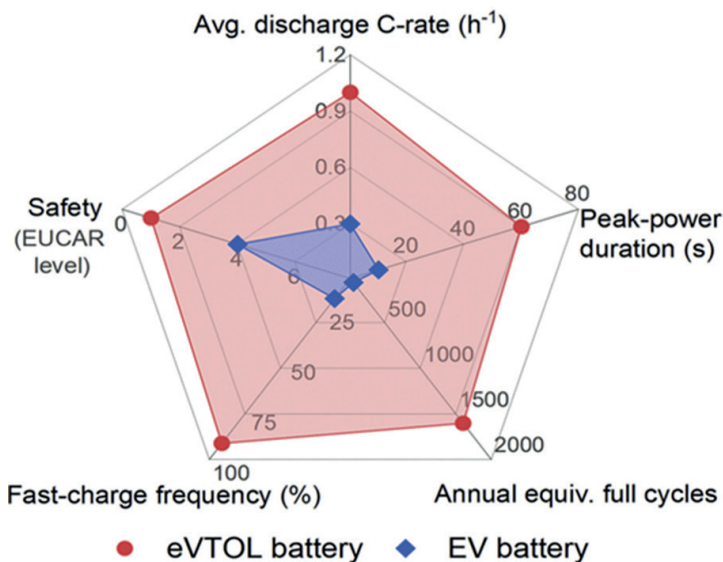
Wprowadzenie do powszechnego użytku eVTOL-i jest ograniczone dostępnością energii elektrycznej na pokładzie. Obecna technologia baterii odzwierciedla potrzeby motoryzacyjne, charakteryzuje się niskim ładowaniem i niskim napięciem podczas rozładowania. Ze względu na profile lotu, eVTOL-e wymagają znacznych poziomów mocy podczas szczytowych faz lotu – startu, lądowania, a także lotu pod wiatr czołowy.



Rysunek 4. Zapotrzebowanie na energię podczas typowej trajektorii lotu eVTOL-a

Źródło: X.-G. Yang, T. Liu, Sh. Ge, E. Rountree, Ch.-Y. Wang, *Challenges and key requirements of batteries for electric vertical takeoff and landing aircraft*, „Joule”, 2021, 5(7), s. 1644–1659, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.05.001> (dostęp: 7.10.2024).

Pojazdy eVTOL wymagają niezwykle szybkiego ładowania i rozładowywania ogniw o dużej mocy, co w praktyce może oznaczać możliwość pełnego naładowania baterii w ciągu kilkunastu minut oraz wykorzystania w krótkim czasie 10 do 15% energii. W rezultacie potrzebne są ogniwa o dużej gęstości energetycznej.



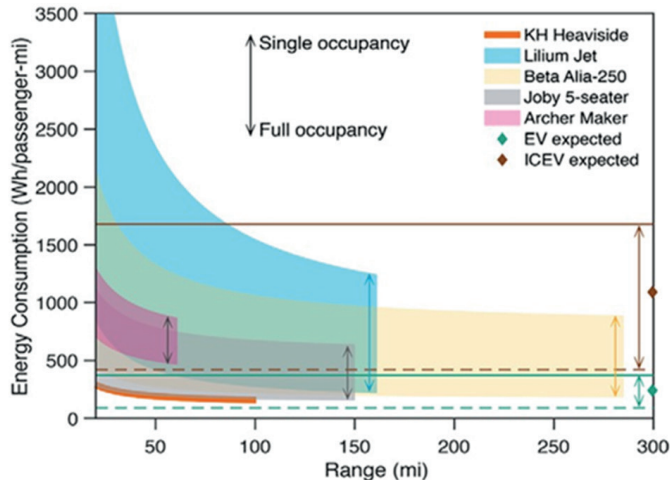
Rysunek 5. Porównanie wymagań dotyczących baterii dla eVTOL-i względem baterii dla EV
 Źródło: X.-G. Yang, T. Liu, Sh. Ge, E. Rountree, Ch.-Y. Wang, *Challenges...*, op. cit.

„Szybkie tempo zużycia energii powoduje konieczność adekwatnego zarządzania wywołaną temperaturą ze względu na warunki dużego obciążenia, zwłaszcza na początku i na końcu lotu. To oznacza wyzwania dla użytkownika baterii w cyklu degradacyjnym, zważywszy, że po wielokrotnym naładowaniu i rozładowaniu ogni, ich zdolności generacyjne spadają.

Kolejnym wąskim gardłem jest waga takich baterii, zważywszy, że zwiększenie zapotrzebowania na moc może być spełnione przez posiadanie wystarczającej liczby akumulatorów, to jednak istnieją ograniczenia udźwigu płatowca. Realistyczne rozwiązanie akumulatorowe musi zatem równoważyć dostarczenie wystarczającej mocy z wagą i rozmiarem akumulatorów przewożonych na pokładzie.

Porównując koszty rozwiązań eVTOL będących w zaawansowanym stadium rozwoju z tradycyjnymi rozwiązaniami dla mobilności, w tym z samochodem elektrycznym EV i spalinowym Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV), należy stwierdzić, że przy medianie zajętości (dla rynku amerykańskiego 1,7 = średnia dla 10 lat) wszystkie pięć eVTOL-i (Kitty Hawk Corporation Heaviside, Joby Aviation, Lilium Jet, Beta Technologies Alia-250 oraz Archer Aviation Maker) są bardziej wydajne przy projektowanym zasięgu niż oczekiwany ICEV (1000 Wh/pasazeromilę). Przy pełnym obłożeniu i zaprojektowanym zasięgu wszystkie

eVTOL-e są bardziej wydajne lub równoważne w pełni zajętej ICEV (420 Wh/pasażeromile)²².



Rysunek 6. Wydajność energetyczna wybranych eksperymentalnych eVTOL-i względem EV

Źródło: Sh. Sripad, V. Viswanathan, *The promise of energy-efficient battery-powered urban aircraft*, „Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America”, 2021, 2, <https://doi.org/10.1073/pnas.2111164118> (dostęp: 7.10.2024).

„Nie ma zatem wątpliwości, że w ostatnich latach poczyniono znaczne postępy w opracowywaniu wydajnych rozwiązań akumulatorowych na potrzeby transportu, jednak są one zoptymalizowane na potrzeby pojazdów naziemnych. Nadal otwartą kwestią jest to, czy rozwiązania te będą wystarczające do zasilania eVTOL-i we wszystkich fazach lotu, czy też ograniczenia w obecnym stanie techniki wymagają rozwiązania hybrydowego wytwarzania energii, podobnego do podejścia benzynowo-bateryjnego stosowanego w samochodach hybrydowych”²³.

O ile rozwój eVTOL-i ma bezpośrednie przełożenie na rozwój systemów latających ze zmniejszonym składem załogi lub całkowicie autonomicznych, to jeszcze skuteczniejszym katalizatorem rozwoju tych systemów będzie postęp w rozwoju technologii AI i *deep learning* (DL)²⁴. AI to najogólniejsze określenie „systemów lub

²² Sh. Sripad, V. Viswanathan, *The promise of energy-efficient battery-powered urban aircraft*, „Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America”, 2021, 2, <https://doi.org/10.1073/pnas.2111164118> (dostęp: 7.10.2024).

²³ Ibidem.

²⁴ Technologia sztucznej inteligencji to szeroka dziedzina informatyki, która zajmuje się tworzeniem inteligentnych maszyn zdolnych do wykonywania zadań, które tradycyjnie wymagały udziału inteligencji człowieka. Obejmuje ona rozumienie języka naturalnego, rozpoznawanie obrazów, uczenie się, rozwiązywanie problemów i podejmowanie decyzji. Kluczowymi aspektami

maszyn, które naśladowują ludzką inteligencję w celu wykonywania zadań i mogą sukcesywnie usprawniać swoje działanie w oparciu o zbierane informacje²⁵. *Deep learning*, czyli tzw. uczenie głębokie, jest „podzbiorem uczenia maszynowego (ML), w którym sztuczne sieci neuronowe – algorytmy zaprojektowane do działania przypominającego pracę ludzkiego mózgu – uczą się, bazując na dużych ilościach danych”²⁶.

Nie można zaprzeczyć, że AI zaczyna wywierać wpływ na społeczeństwo w niemalże wszystkich aspektach, nie tylko technologicznych. Przemysł lotniczy nie jest wyjątkiem. Przykładowo, Boeing wykorzystuje sztuczną inteligencję w celu zwiększenia wydajności sprzętu do automatyzacji montażu B787 Dreamliner w Południowej Karolinie, w USA. Od tego droga do powszechnego zastosowania ML w lotach jest jeszcze daleka. Możliwości użycia AI/DL w asystowanym lub autonomicznym pilotażu są jednak dużo szersze niż w produkcji samolotów.

Dzisiaj funkcjonujące UAW, czyli drony, generują ogromne ilości danych, a te stanowią paliwo dla algorytmów AI/DL, które są podstawowym narzędziem zapewniającym UAW autonomię. Można wyróżnić cztery kluczowe elementy lotu autonomicznego, w których te algorytmy mogą być zastosowane:

- szacowanie stanu – umiejętność oszacowania położenia, orientacji i prędkości pojazdu;
- kontrola obliczania i wykonywania niezbędnych poleceń w celu wywołania pożądanych działań;
- mapowanie – zdolność do mapowania za pomocą czujników środowiska, w którym znajdzie się pojazd latający;

technologii AI są: 1. **Uczenie maszynowe (ML)**. To poddziedzina AI polegająca na tworzeniu algorytmów, które mogą uczyć i udoskonalać się na podstawie doświadczenia. Przykłady obejmują uczenie nadzorowane, nienadzorowane i wzmacniające. 2. **Głębokie uczenie (*deep learning*)**. To specjalistyczna dziedzina ML, która polega na stosowaniu głębokich sieci neuronowych do rozwiązywania złożonych problemów. Jest to szczególnie skuteczne w rozpoznawaniu wzorców, takich jak mowa, tekst i obrazy. 3. **Przetwarzanie języka naturalnego (NLP)**. Jest to AI stosowana do zrozumienia, interpretacji i reagowania na naturalny język ludzki. Umożliwia komunikację między ludźmi a maszynami. 4. **Robotyka i autonomia**. AI umożliwia tworzenie inteligentnych robotów zdolnych do wykonywania zadań w sposób autonomiczny, często w środowiskach, które są zbyt niebezpieczne lub niedostępne dla ludzi. 5. **Rozpoznawanie obrazów i wzorców**. Technologie AI mogą analizować i interpretować obrazy oraz wizualne dane, znajdując w tym zakresie zastosowanie w medycynie, bezpieczeństwie i wielu innych dziedzinach. 6. **Zastosowania**. AI znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach od medycyny, finansów, edukacji, transportu, aż po rozrywkę. 7. **Wyzwania etyczne i społeczne**. Rozwój AI niesie za sobą pytania dotyczące prywatności, bezpieczeństwa danych, etyki w zakresie podejmowania decyzji przez maszyny oraz wpływu na rynek pracy. Technologia ta jest dynamicznie rozwijającym się obszarem, który ma ogromny potencjał przekształcania wielu aspektów życia codziennego ludzi, gospodarki i społeczeństwa.

²⁵ <https://www.oracle.com/pl/artificial-intelligence/what-is-ai/> (dostęp: 7.10.2024).

²⁶ <https://www.oracle.com/pl/data-science/machine-learning/what-is-deep-learning/> (dostęp: 7.10.2024).

- planowanie – możliwość obliczenia bezpiecznej trajektorii między dwoma podanymi punktami.

„Sztuczna inteligencja może zoptymalizować i poprawić kontrolę nad dronami, szczególnie w niestabilnych i agresywnych środowiskach. Klasyczne techniki sterowania i szacowania stanu mają ograniczoną skuteczność, ponieważ zwykle są optymalizowane tylko pod kątem przybliżonych modeli matematycznych, a nie rzeczywistych danych operacyjnych. Algorytmy AI i DL udowodniły swoją przydatność w wyciąganiu wniosków z doświadczenia i dostosowywaniu możliwości szacowania stanu dronów i sterowania do zmian (np. pęknięte śmigło) lub otoczenia (np. porywy wiatru lub deszcz). Jednym ze sprawdzonych zastosowań sztucznej inteligencji jest pomoc w znalezieniu optymalnych wartości dla regulatorów PID, aby zapewnić lepszą wydajność w ekstremalnych sytuacjach. Sieci neuronowe używane dla *deep learning*, takie jak CNN (Convolutional Neural Networks)²⁷ lub RNN (Recurrent Neural Networks)²⁸, były również wykorzystane

²⁷ CNN, czyli Convolutional Neural Networks (splotowe sieci neuronowe), to specjalny rodzaj sieci neuronowych stosowanych głównie w przetwarzaniu obrazów i rozpoznawaniu wzorców wizualnych. Podstawowe cechy i zastosowania CNN: 1. Architektura. CNN składają się z wielu warstw, w tym konwolucyjnych, łączących (*pooling layers*), pełnych (*fully connected layers*) i wyjściowych. Każda warstwa automatycznie i adaptacyjnie uczy się przestrzennych hierarchii cech z obrazów. 2. Warstwy konwolucyjne. Są to główne elementy CNN; używają one filtrów do przetwarzania danych wejściowych (np. pikseli obrazu) w celu wydobywania podstawowych cech, takich jak krawędzie, kolory, kształty itp. 3. Warstwy łączące (*pooling*). Zmniejszają one wymiary danych przetwarzanych przez sieć (np. rozmiar obrazu), zachowując przy tym istotne informacje. Pomaga to w redukcji obciążenia obliczeniowego i zapobiega nadmiernemu dopasowaniu (*overfitting*). 4. Rozpoznawanie i klasyfikacja obrazów. CNN są wyjątkowo skuteczne w zadaniach związanych z rozpoznawaniem obrazów, takich jak klasyfikacja zdjęć, rozpoznawanie twarzy, obiektów, analiza obrazów medycznych. 5. Przetwarzanie języka naturalnego. Chociaż głównie używane w przetwarzaniu obrazów, CNN znajdują również zastosowanie w NLP, gdzie mogą pomóc w analizie danych tekstowych. 6. Zastosowania w sztucznej inteligencji. CNN są podstawą wielu zaawansowanych aplikacji AI, w tym w samouczących się grach komputerowych, systemach rozpoznawania mowy, samochodach autonomicznych i innych. 7. *Deep learning*. Jako element głębokiego uczenia, CNN wykorzystują dużą ilość danych (zazwyczaj obrazów) do uczenia się i doskonalenia swojej zdolności do klasyfikacji oraz rozpoznawania wzorców. CNN to potężne narzędzie w dziedzinie uczenia maszynowego, a także sztucznej inteligencji, które znacznie przyczynia się do postępu w automatycznym rozpoznawaniu i analizie wizualnej.

²⁸ RNN, czyli Recurrent Neural Network (rekurencyjna sieć neuronowa), to rodzaj sieci neuronowych szczególnie użytecznych w przetwarzaniu sekwencji danych, takich jak mowa, tekst czy dane czasowe. Najważniejszymi cechami RNN są: 1. Pamięć sekwencyjna. Dzięki zdolności do zapamiętywania poprzednich informacji i wykorzystywania ich w obecnym zadaniu są one idealne do analizy danych sekwencyjnych, gdzie kontekst i kolejność elementów mają znaczenie. 2. Struktura. W RNN każdy neuron przesyła informacje do siebie w kolejnej jednostce czasowej, co tworzy rodzaj pętli sprzężenia zwrotnego. Pozwala to na przechowywanie informacji o wcześniejszych danych wejściowych w sieci.

do lepszego radzenia sobie ze zmianami w systemach, z pogorszeniem stanu, w warunkach dużej niepewności i perturbacjami w celu uzyskania korzystnej wydajności śledzenia do sterowania ruchem dronów²⁹.

Mapowanie i pozyskiwanie wiedzy o otoczeniu również zdecydowanie przyczynia się do pełnej autonomii. Obecnie można znaleźć drony wyposażone w zaawansowane technologicznie systemy mapowania, np. elektrooptyczne, stereo-optyczne czy LIDAR³⁰. Współczesne czujniki mapujące są w stanie odwzorowywać otoczenie o wysokiej wierności. W algorytmach Computer Vision (CV)³¹

3. Zastosowania. RNN znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach przetwarzania sekwencji danych, w tym w rozpoznawaniu mowy, generowaniu języka naturalnego, tłumaczeniu maszynowym i prognozowaniu serii czasowych. 4. Wyzwania. Jednym z głównych wyzwań w pracy z RNN jest problem „zanikającego gradientu”, który sprawia trudności w uczeniu sieci na długich sekwencjach danych. Problem ten częściowo rozwiązują bardziej zaawansowane warianty RNN, takie jak Long Short-Term Memory (LSTM) i Gated Recurrent Unit (GRU). 5. LSTM i GRU. To ulepszone wersje RNN, które mają specjalne struktury (takie jak bramki) do lepszego zarządzania informacjami długoterminowymi i krótkoterminowymi, co pomaga w przezwycięzeniu problemu zanikającego gradientu. 6. Przetwarzanie języka naturalnego. RNN są szczególnie popularne w NLP, gdzie są używane do zadań takich, jak generowanie tekstu, analiza sentymentu i rozpoznawanie mowy. RNN to potężne narzędzie do analizy danych sekwencyjnych, które dzięki swojej unikalnej strukturze potrafi wykorzystać kontekst oraz kolejność informacji w procesie uczenia się i przetwarzania danych.

²⁹ *The role of AI in drones and autonomous flight*, <https://datascience.aero/ai-drones-autonomous-flight/> (dostęp: 7.10.2024).

³⁰ LIDAR – Light Detection and Ranging (wykrywanie światła i pomiar odległości) to technologia służąca do pomiaru odległości poprzez oświetlenie celu impulsami światła laserowego i mierzenie odbitego sygnału. Jest to metoda podobna jak w przypadku radaru, ale zamiast fal radiowych LIDAR wykorzystuje światło. Kluczowe aspekty tej technologii: 1. Zasada działania. LIDAR mierzy czas, który upływa między wysłaniem impulsu światła laserowego a odbiorem odbitego sygnału. Na podstawie tego czasu można obliczyć odległość do obiektu. 2. Zastosowania. LIDAR jest szeroko stosowany w wielu dziedzinach, w tym w geodezji, kartografii, archeologii, geologii, leśnictwie, a także w technologii autonomicznych pojazdów do wykrywania i unikania przeszkód. 3. Mapowanie terenu. Jednym z głównych zastosowań LIDAR jest tworzenie szczegółowych map i modeli terenu, co jest szczególnie przydatne w geodezji i planowaniu urbanistycznym. 4. Badanie środowiska. LIDAR jest używany w badaniach środowiskowych do analizy topografii, roślinności, a także do monitorowania i zarządzania zasobami naturalnymi. 5. Samochody autonomiczne. LIDAR jest kluczowym komponentem wielu systemów jazdy autonomicznej, ponieważ umożliwia dokładne wykrywanie obiektów i przeszkód w otoczeniu pojazdu. 6. Precyzja i zakres. LIDAR jest w stanie wykrywać obiekty na duże odległości z bardzo wysoką dokładnością, co czyni go idealnym narzędziem do precyzyjnych pomiarów. 7. Wykorzystanie w naukach o Ziemi. W badaniach geologicznych i archeologicznych LIDAR pozwala na odkrywanie cech terenu i struktur, które mogą być niewidoczne z powierzchni Ziemi. LIDAR jest wszechstronną i precyzyjną technologią pomiarową, która ma szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach nauki, technologii i przemysłu.

³¹ Computer Vision, czyli wizja komputerowa, to dziedzina informatyki zajmująca się interpretowaniem i przetwarzaniem obrazów oraz wideo za pomocą komputerów. Celem wizji

wykorzystywana jest AI. Połączenie lekkich kamer o dużej rozdzielczości z nowoczesniejszymi algorytmami CV może usprawnić mapowanie i świadomość sytuacyjną UAW przy znikomych kosztach pod warunkiem zebrania dużej ilości danych i odpowiednio długiego wytrenowania algorytmów.

Zaplanowanie ścieżki w czasie rzeczywistym połączone z nawigacją to jedna z najtrudniejszych do ukształtowania cech systemów autonomicznych. Gdy UAW będzie dysponował celem i zmapowaną trasą, musi znaleźć sposób, aby się do celu dostać w najbezpieczniejszy i najbardziej efektywny sposób. Głębokie sieci neuronowe, takie jak Reinforced Learning (RV)³² zostały wykorzystane do opra-

komputerowej jest umożliwienie maszynom widzenia i rozumienia świata wizualnego w sposób podobny do ludzkiego. Kluczowymi aspektami wizji komputerowej są: 1. Przetwarzanie obrazów. Podstawą wizji komputerowej jest zdolność do przetwarzania i analizy obrazów cyfrowych i wideo, co obejmuje operacje, takie jak detekcja krawędzi, segmentacja obrazu i rozpoznawanie wzorców. 2. Rozpoznawanie obiektów. Jednym z najważniejszych zadań wizji komputerowej jest identyfikacja i klasyfikacja obiektów na obrazach, np. rozpoznawanie twarzy, samochodów, zwierząt. 3. Rekonstrukcja 3D. Wizja komputerowa może być używana do rekonstrukcji trójwymiarowych scen z dwuwymiarowych obrazów, co ma zastosowanie w takich dziedzinach jak rozszerzona rzeczywistość i robotyka. 4. Rozpoznawanie i śledzenie ruchu. Technologia ta umożliwia śledzenie ruchu obiektów lub ludzi w czasie rzeczywistym, co jest przydatne w monitoringu wizyjnym, analizie sportowej i interakcji na linii człowiek–komputer. 5. Zastosowania. Wizja komputerowa znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach, w tym w bezpieczeństwie, medycynie (np. w diagnostyce obrazowej), produkcji przemysłowej, pojazdach autonomicznych, analizie danych z dronów i wielu innych. 6. Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe. Współczesna wizja komputerowa często wykorzystuje techniki AI i ML, w tym DL, aby poprawić dokładność i efektywność przetwarzania obrazów. Technologia ta jest dynamicznie rozwijającym się polem, które odgrywa kluczową rolę w umożliwieniu zaawansowanych interakcji między maszynami a środowiskiem wizualnym, otwierając nowe możliwości w wielu obszarach technologii i nauki.

³² *Reinforced learning* (RV), znane bardziej jako *reinforcement learning* (RL), czyli uczenie ze wzmocnieniem, to jeden z obszarów uczenia maszynowego. Polega ono na trenowaniu algorytmów (często nazywanych agentami) w sposób, który pozwala im na podejmowanie decyzji dla osiągnięcia określonego celu w dynamicznym środowisku. Kluczowymi aspektami RL są: 1. Nagrody i kara. Podstawą RL jest system nagród i kar. Agent uczy się podejmować decyzje, które maksymalizują sumę nagród w czasie, często metodą prób i błędów. 2. Środowisko i interakcje. Agent działa w określonym środowisku, z którym interakuje, podejmując decyzje i obserwując wyniki swoich działań. Środowisko zwraca informacje zwrotne w postaci nagród (pozytywnych lub negatywnych). 3. Uczenie bez nadzoru. W przeciwieństwie do uczenia nadzorowanego, w RL agent nie otrzymuje bezpośrednich wskazówek dotyczących najlepszego działania. Zamiast tego musi samodzielnie odkryć, które działania prowadzą do największych nagród. 4. Zastosowania. RL znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach, takich jak gry (szczególnie strategiczne i planszowe), robotyka, optymalizacja procesów przemysłowych, pojazdy autonomiczne, zarządzanie systemami energetycznymi i inne. 5. Zaawansowane techniki. W RL często wykorzystuje się zaawansowane techniki, takie jak DL, do tworzenia głębokich sieci neuronowych, które potrafią uczyć się złożonych strategii w skomplikowanych środowiskach. 6. Wyzwania. Jednym z głównych

cowania skutecznego planowania w czasie rzeczywistym, a także do stworzenia mechanizmu jednoczesnego planowania współpracy z wieloma obiektami latającymi. Algorytmy DL są również pomocne w unikaniu kolizji. W przeszłości wiele klasycznych systemów unikania kolizji opierało się na bardzo drogich LIDAR-ach lub kamerach RGB-D³³. Obecnie działają one w połączeniu z algorytmami DL.

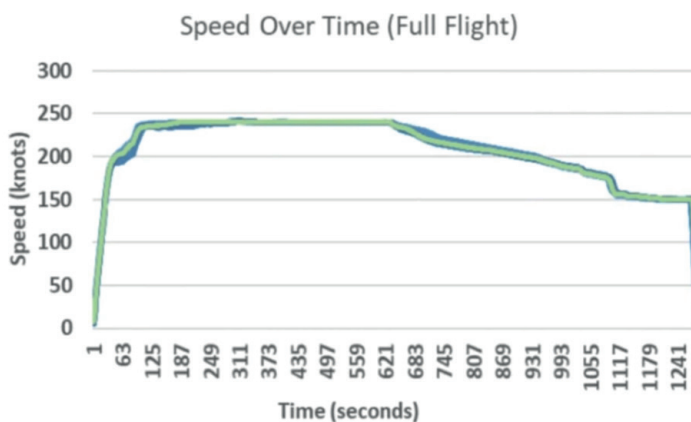
Rezultaty eksperymentalnych zastosowań systemu IAS (inteligentnego autopilota wspieranego przez algorytmy DL) są bardzo obiecujące³⁴. Poniższy wykres

problemów w RL jest trudność w projektowaniu odpowiednich funkcji nagrody oraz wymóg dużej ilości interakcji ze środowiskiem w celu skutecznego nauczenia się. Uczenie ze wzmocnieniem to potężna, ale złożona metoda uczenia maszynowego, która ma szerokie zastosowanie w rozwoju inteligentnych systemów zdolnych do samodzielnego podejmowania optymalnych decyzji w różnych środowiskach.

³³ Kamery RGB-D to urządzenia do obrazowania, które rejestrują zarówno kolorowe informacje wizualne (RGB, *red-green-blue* – czerwony-zielony-niebieski), jak i dane o głębi (D, *depth* – głębia). Są one połączeniem tradycyjnej kamery cyfrowej z technologią pomiaru głębi. Główne cechy i zastosowania kamer RGB-D: 1. Rejestracja kolorów. Część RGB kamery rejestruje obraz w kolorze, podobnie jak standardowe kamery cyfrowe, dostarczając wizualne reprezentacje sceny. 2. Pomiar głębi. Część D kamery wykorzystuje różne technologie, takie jak czujniki światła strukturalnego, Time-of-Flight (ToF) lub LIDAR, do mierzenia odległości od kamery do różnych punktów w scenie. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie informacji o trójwymiarowej strukturze przestrzennej sceny. 3. Zastosowania w robotyce. Kamery RGB-D są szeroko stosowane w robotyce, gdzie informacje o głębi są niezbędne do nawigacji, manipulacji przedmiotami i unikania przeszkód. 4. Rozpoznawanie i śledzenie obiektów. Połączenie danych koloru i głębi umożliwia dokładniejsze rozpoznawanie i śledzenie obiektów w przestrzeni, co ma zastosowanie w rozszerzonej rzeczywistości (AR) i systemach interakcji człowiek–komputer. 5. Mapowanie i lokalizacja. W geodezji, archeologii i planowaniu urbanistycznym kamery RGB-D mogą być wykorzystywane do tworzenia dokładnych map 3D środowisk. 6. Aplikacje interaktywne. W grach komputerowych i interaktywnych instalacjach artystycznych kamery RGB-D pozwalają na zaawansowane interakcje z użytkownikami poprzez wykrywanie ruchów ciała i gestów. 7. Wizja komputerowa i sztuczna inteligencja. W dziedzinie wizji komputerowej i AI, kamery RGB-D ułatwiają przetwarzanie obrazów i rozpoznawanie scen, zapewniając bogatszy zestaw danych do analizy. Kamery te są wszechstronnymi narzędziami, które łączą tradycyjne obrazowanie z zaawansowaną technologią pomiaru głębi, znajdując zastosowanie w wielu dziedzinach, od robotyki po wizję komputerową.

³⁴ Termin „Intelligent Autopilot System” (IAS, inteligentny system autopilota) odnosi się do zaawansowanego systemu autopilota, który wykorzystuje technologie AI do automatyzacji różnych funkcji lotu. Inteligentne systemy autopilota są bardziej zaawansowane niż tradycyjne autopiloty, oferując dodatkowe funkcje i możliwości. Główne cechy i zastosowania IAS: 1. Zaawansowane funkcje decyzyjne. IAS wykorzystuje algorytmy AI do podejmowania bardziej złożonych decyzji niż podejmowane przez tradycyjne autopiloty. Może to obejmować dynamiczne dostosowywanie planu lotu, reagowanie na nieprzewidziane sytuacje lub optymalizację trasy lotu. 2. Integracja z systemami lotniczymi. Inteligentne autopiloty są zintegrowane z różnymi systemami pokładowymi samolotu, w tym nawigacji, zarządzania silnikami i bezpieczeństwa. 3. Zwiększenie bezpieczeństwa. Poprzez zastosowanie AI, IAS może przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa

pokazuje, że IAS był w stanie zarządzać lotem i utrzymywać różne prędkości w różnych fazach lotu od startu do lądowania w identyczny sposób jak człowiek pilot podczas tego samego lotu. Porównanie to dotyczyło IAS podczas 10 lotów reprezentowanych na wykresie przez nakładające się linie w różnych niebieskich odcieniach, a pilota – w trakcie jednego pokazu reprezentowanego przez zieloną linię – przy różnych prędkościach i w czasie lotu od startu w Londynie-Heathrow do lądowania w Birmingham³⁵. Jak widać, zarówno IAS, jak i człowiek pilot gwałtownie przyspieszali, aż do osiągnięcia prędkości przelotowej 240 węzłów, a następnie stopniowo zwalniali, aż do osiągnięcia prędkości lądowania 150 węzłów przed całkowitym zatrzymaniem na pasie startowym.



Rysunek 7. Porównanie IAS z pilotem

Źródło: H. Aomar, P.J. Bentley, *Autonomous flight cycles and extreme landings of airliners beyond the current limits and capabilities using artificial neural networks*, „Applied Intelligence”, 2021, 51, s. 6349–6375, <https://doi.org/10.1007/s10489-021-02202-y> (dostęp: 7.10.2024).

lotów, analizując dane z wielu źródeł i przewidując potencjalne zagrożenia. 4. Autonomia. IAS są krokiem w kierunku pełnej autonomii w lotnictwie, w ramach której samoloty mogą realizować większość, a nawet wszystkie aspekty lotu bez bezpośredniej interwencji człowieka. 5. Redukcja obciążenia załogi. IAS może zmniejszyć obciążenie pracy pilotów, automatyzując rutynowe zadania i umożliwiając im skoncentrowanie się na bardziej krytycznych aspektach lotu. 6. Adaptacja i uczenie się. Niektóre inteligentne systemy autopilota mogą mieć zdolność do uczenia się oraz adaptacji w trakcie ich eksploatacji, co pozwala na ciągłe poprawianie efektywności i bezpieczeństwa. 7. Wyzwania. Rozwój i wdrożenie IAS wiąże się z wieloma wyzwaniami, w tym z kwestiami regulacyjnymi, bezpieczeństwem cybernetycznym i akceptacją społeczną. IAS reprezentuje przyszłość technologii autopilota, łącząc zaawansowaną sztuczną inteligencję z automatyzacją, co ma potencjał zwiększenia efektywności, bezpieczeństwa i niezawodności lotów.

³⁵ H. Aomar, P.J. Bentley, *Autonomous flight cycles and extreme landings of airliners beyond the current limits and capabilities using artificial neural networks*, „Applied Intelligence”, 2023, 51, s. 6349–6375, <https://doi.org/10.1007/s10489-021-02202-y> (dostęp: 7.10.2024).

Warto zwrócić uwagę na fakt, że porównanie to wskazuje raczej na potencjał niż istniejące możliwości.

W kierunku zastosowania AI/DL w nawigacji zmierzają producenci samolotów i awioniki. Airbus postrzega zalety AI między innymi poprzez oszczędność paliwa, niższe koszty eksploatacji oraz wsparcie pilotów podczas ich pracy. Firma ta pracuje obecnie nad czterema kluczowymi zastosowaniami AI:

- ATTOL – autonomiczne taksówki, start i lądowanie³⁶. Celem projektu jest wykorzystanie wizji komputerowej do umożliwienia samolotom komercyjnym nawigowania i wykrywania przeszkód podczas kołowania, startu, podejścia i lądowania. System autonomiczny przeszedł test w warunkach rzeczywistych w 2020 r.
- Fello'fly – projekt koncentrujący się na wykorzystaniu odzyskiwania energii w samolotach komercyjnych. Airbus bada, w jaki sposób wspólny lot samolotów (inspirowany lotem migrujących żurawi) może poprawić ich ekologiczność i pomóc zmniejszyć zużycie paliwa. Firma szacuje, że ta technika może generować 5–10% oszczędności w locie³⁷.

³⁶ Autonomous Taxi, Take-off, and Landing (ATTOL, autonomiczne taksówki, start i lądowanie) to projekt badawczy i technologiczny skupiający się na rozwijaniu i demonstracji zdolności do autonomicznej jazdy po pasie startowym, startu i lądowania samolotów. Jest to inicjatywa związana z badaniami nad pełną autonomią w lotnictwie. Główne cechy i zastosowania ATTOL: 1. Autonomia w lotnictwie. ATTOL eksploruje możliwości wdrażania technologii autonomicznych w lotnictwie komercyjnym, przede wszystkim w zakresie najbardziej krytycznych faz lotu: taksówki (jazda po pasie startowym), startu i lądowania. 2. Technologie wizyjne i AI. Projekt ATTOL wykorzystuje zaawansowane technologie wizyjne, AI i algorytmy przetwarzania danych do nawigacji, wykrywania przeszkód oraz decyzji operacyjnych bez interwencji pilota. 3. Bezpieczeństwo i efektywność. Celem ATTOL jest zwiększenie bezpieczeństwa, niezawodności i efektywności operacji lotniczych poprzez zastosowanie systemów autonomicznych. 4. Testy i demonstracje. ATTOL obejmuje serię testów i demonstracji, w których samoloty wykonują pełne cykle taksówki, startu i lądowania w kontrolowanych warunkach, aby wykazać zdolności technologii autonomicznych. 5. Przyszłość lotnictwa. ATTOL jest częścią szerszego trendu w kierunku wprowadzania większej autonomii w lotnictwie, który może prowadzić do zmian w sposobie, w jakim samoloty są pilotowane i zarządzane. 6. Wyzwania i ograniczenia. Opracowanie i integracja pełnych systemów autonomicznych w lotnictwie wiąże się z wieloma wyzwaniami technicznymi, regulacyjnymi i operacyjnymi, a także wymaga rozważenia aspektów etycznych i społecznych. ATTOL to ambitny projekt badawczy mający na celu przesunięcie granic technologii w lotnictwie poprzez rozwijanie i demonstrację zdolności do autonomicznej jazdy po pasie, startu i lądowania, co jest krokiem w kierunku przyszłości do bardziej zautomatyzowanym i bezpiecznym lotnictwem.

³⁷ Fello'fly to innowacyjny projekt opracowany przez Airbus, który ma na celu zwiększenie efektywności paliwowej w lotnictwie poprzez wykorzystanie techniki znanej jako „formacja lotu ptaków”. Projekt ten bazuje na zjawisku aerodynamicznym zwanym *wake-energy retrieval* (odzyskiwanie energii z turbulencji), co oznacza, że samolot lecący za innym może skorzystać z lepszej aerodynamiki poprzez umiejętnie pozycjonowanie się w stosunku do turbulencji stworzonych

- Disruptive Cockpit (DISCO) – ulepszony kokpit, który został zaprojektowany, aby umożliwić wykonywanie operacji z jednym pilotem na nowych samolotach³⁸.
- Wayfinder – skalowalne systemy autonomiczne, które zasilają aplikacje w samolocie, od małych samolotów miejskich po duże samoloty komercyjne³⁹.

przez samolot poprzedzający. Główne elementy projektu Fello'fly: 1. Inspiracja naturą. Fello'fly czerpie inspirację z lotu ptaków, szczególnie żurawi, które lecąc w formacji V, zmniejszają opór powietrza dla poszczególnych ptaków w grupie. 2. Zwiększenie efektywności paliwowej. Poprzez wykorzystanie turbulencji stworzonych przez poprzedzający samolot, drugi samolot w formacji może osiągnąć mniejsze zużycie paliwa i redukcję emisji dwutlenku węgla. 3. Bezpieczeństwo. Jednym z podstawowych wyzwań projektu jest zapewnienie bezpieczeństwa podczas stosowania tej techniki. Wymaga to precyzyjnego planowania trasy i koordynacji między samolotami. 4. Testy i eksperymenty. Airbus przeprowadza testy i eksperymenty z wykorzystaniem tej techniki, aby ocenić realne korzyści z jej stosowania i możliwość zastosowania w lotnictwie komercyjnym. 5. Innowacja w lotnictwie. Fello'fly jest przykładem innowacyjnego podejścia do kwestii zmniejszenia śladu węglowego w lotnictwie i poprawy efektywności operacyjnej linii lotniczych. 6. Współpraca z władzami lotniczymi. Realizacja projektu wymaga bliskiej współpracy z kontrolą lotów i organami regulacyjnymi, aby opracować odpowiednie procedury i zasady bezpieczeństwa. Fello'fly to obiecujący projekt badawczy, który ma potencjał zmiany podejścia do efektywności paliwowej w lotnictwie poprzez wykorzystanie zjawisk aerodynamicznych i strategii znanych z natury.

³⁸ Disruptive Cockpit (DISCO) to koncepcja lub projekt mający na celu zrewolucjonizowanie tradycyjnego wyglądu i funkcjonalności kokpitu samolotu. Termin *disruptive* w tym kontekście odnosi się do wprowadzenia znaczących innowacji, które mogą zmienić sposób, w jaki kokpity są projektowane, wykorzystywane i postrzegane. Koncepcja disruptywnego kokpitu może obejmować następujące aspekty: 1. Zaawansowane interfejsy użytkownika. Wprowadzenie interaktywnych ekranów dotykowych, wirtualnej rzeczywistości (VR) lub rozszerzonej rzeczywistości (AR) do wyświetlania informacji i sterowania funkcjami lotu. 2. Automatyzacja i AI. Integracja zaawansowanych systemów sztucznej inteligencji do wsparcia lub automatyzacji decyzji pilotów, zarządzania lotem, monitorowania systemów samolotu i diagnostyki. 3. Ergonomia i projektowanie. Przeorganizowanie przestrzeni kokpitu, aby była bardziej ergonomiczna, intuicyjna i wygodna dla załogi, z zastosowaniem nowoczesnych materiałów i technologii. 4. Komunikacja i integracja systemów. Udoskonalenie systemów komunikacji wewnętrznej i zewnętrznej, w tym integracja z nowoczesnymi systemami zarządzania ruchem lotniczym i innymi samolotami. 5. Zwiększenie bezpieczeństwa. Wprowadzenie systemów mających na celu zwiększenie bezpieczeństwa lotu, w tym zaawansowanych systemów monitorowania, wczesnego ostrzegania i reagowania na awarie. 6. Zrównoważony rozwój. Projektowanie kokpitu z uwzględnieniem zrównoważonego rozwoju, np. poprzez wykorzystanie technologii oszczędzających energię i materiałów przyjaznych dla środowiska. 7. Adaptacyjność i personalizacja. Możliwość dostosowywania ustawień i interfejsów kokpitu do indywidualnych potrzeb i preferencji każdego pilota. Disruptive Cockpit może odnosić się do szerokiej gamy innowacji i zmian w projektowaniu kokpitów, mających na celu poprawę funkcjonalności, bezpieczeństwa, komfortu i efektywności operacyjnej.

³⁹ Wayfinder to projekt lub inicjatywa, której głównym celem jest rozwijanie oraz wdrażanie zaawansowanych technologii nawigacji i autonomicznych systemów kierowania. Chociaż termin

Podobne podejście prezentuje Lockheed Martin, spółka o wojskowym rodowodzie, która koncentruje się na wykorzystaniu AI w lotnictwie do wspierania operacji wywiadowczych, obserwacyjnych i rozpoznawczych (ISR)⁴⁰, szczegól-

Wayfinder może być stosowany w różnych kontekstach, w branży lotniczej i technologicznej często odnosi się do projektów związanych z rozwojem autonomicznych systemów lotniczych lub pojazdów. Do głównych elementów tego projektu należą: 1. Autonomiczna nawigacja. Wayfinder może dotyczyć rozwoju systemów nawigacyjnych, które umożliwiają pojazdom lub samolotom autonomiczny lot lub jazdę bez bezpośredniej interwencji człowieka. 2. Zastosowanie AI i ML. Wykorzystanie AI i ML do analizowania danych z sensorów, przetwarzania informacji nawigacyjnych i podejmowania decyzji w czasie rzeczywistym. 3. Bezpieczeństwo i efektywność. Celem projektów typu Wayfinder jest zwiększenie bezpieczeństwa i efektywności operacyjnej poprzez automatyzację procesów nawigacyjnych i zarządzania lotem. 4. Integracja z systemami kontroli ruchu lotniczego. W lotnictwie Wayfinder może obejmować integrację z istniejącymi systemami kontroli ruchu lotniczego oraz współpracę z innymi samolotami i infrastrukturą naziemną. 5. Zastosowania w różnych branżach. Chociaż Wayfinder może być najbardziej znany w lotnictwie, podobne technologie mogą znaleźć zastosowanie w innych obszarach, takich jak autonomiczne pojazdy lądowe, systemy transportu morskiego czy nawet robotyka. 6. Innowacje i badania. Projekty te często znajdują się na czele badań i innowacji w dziedzinie autonomicznych systemów transportowych, przyczyniając się do rozwoju przyszłych technologii mobilności. Wayfinder może być używany do opisanie różnych inicjatyw i projektów skupionych na rozwoju zaawansowanych, autonomicznych systemów nawigacji i kierowania mających zastosowanie w wielu dziedzinach technologii, a także transportu.

⁴⁰ Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (ISR) to kompleksowy termin opisujący szeroki zakres działań i technologii używanych do zbierania informacji, nadzoru i rozpoznania, szczególnie w kontekście wojskowym i bezpieczeństwa narodowego. Systemy ISR są niezbędne do efektywnego planowania i przeprowadzania operacji; oferują wszechstronne możliwości monitorowania, analizy i przekazywania informacji. Główne cechy i zastosowania systemu ISR: 1. Wywiad (*intelligence*). Zbieranie i analiza informacji, które są ważne dla bezpieczeństwa narodowego lub operacji wojskowych. Może to obejmować dane z różnych źródeł, w tym sygnały elektroniczne, obrazy satelitarne czy informacje zwiadowcze. 2. Nadzór (*surveillance*). Długotrwałe monitorowanie określonych obszarów lub obiektów, często za pomocą technologii, takich jak satelity, drony czy kamery, w celu zbierania informacji i utrzymania świadomości sytuacyjnej. 3. Rozpoznanie (*reconnaissance*). Aktywne poszukiwanie informacji o przeciwniku lub środowisku operacyjnym, często przeprowadzane przez specjalistyczne jednostki lub za pomocą zaawansowanych systemów sensorowych. 4. Zaawansowane technologie. Systemy ISR często wykorzystują najnowsze technologie, takie jak AI, ML, zaawansowane systemy sensorowe, komunikacja satelitarna i analiza dużych zbiorów danych. 5. Integracja i zarządzanie danymi. Kluczowa dla skuteczności systemów ISR jest zdolność do integracji danych z różnych źródeł i ich efektywnego zarządzania, co pozwala na szybką analizę i podjęcie decyzji. 6. Zastosowania cywilne i wojskowe. Chociaż systemy ISR są głównie kojarzone z wykorzystaniem w wojsku, znajdują one również zastosowanie w obszarach cywilnych, takich jak kontrola granic, zarządzanie kryzysowe, ochrona środowiska i reagowanie na katastrofy naturalne. Systemy ISR stanowią kluczowy element nowoczesnych strategii bezpieczeństwa i operacji wojskowych, zapewniając niezbędne narzędzia do efektywnego zbierania, przetwarzania i wykorzystywania informacji dla osiągnięcia celów strategicznych.

nie kiedy standardowa komunikacja między systemami nie jest już możliwa z powodu działań przeciwnika. System ISR, będący w fazie eksperymentalnej, wykorzystuje możliwości algorytmów sztucznej inteligencji dla określenia warunków bezpiecznego dostępu do trudnego otoczenia i pozyskiwania krytycznych informacji niezbędnych do podejmowania strategicznych decyzji. System ISR został przetestowany w połowie 2020 r. w Szkole Pilotów Testowych Sił Powietrznych USA, w bazie sił powietrznych Edwards.

Można wyróżnić dwa główne podejścia w odniesieniu do wprowadzenia UAW w lotnictwie komercyjnym: systemy autonomiczne oraz rozproszona załoga. W przypadku systemów autonomicznych w pierwotnym podejściu do rozwoju samolotów z jedną osobą w załodze oparto się głównie na zmodyfikowanej technologii pokładowej. Kluczową rolę odegrała tu adaptacyjna automatyzacja i wsparcie w podejmowaniu decyzji realizowane przez tzw. inteligentnych pilotów lub asystentów w kokpicie. Technologie te wywodzą się z programów wojskowych, w których piloci byli narażeni na różnorodne zagrożenia i wyjątkowo duże obciążenie pracą. Systemy monitorowały działania pilota, porównując je z danymi dotyczącymi pozycji samolotu, stanu systemów pokładowych oraz czynników środowiskowych, a następnie stosowały algorytmy do identyfikacji potencjalnych rozbieżności między stanem oczekiwanym a rzeczywistym. Wczesne systemy tego typu zapewniały wsparcie pilotom; zamiast przypisywać im rzeczywistą inteligencję lub autonomię trafniej byłoby użyć określenia „wysoce zautomatyzowane”. Takie podejście jest również bardziej opłacalne przy opracowywaniu samolotów z jednym pilotem.

Systemy rozproszonej załogi bazują na szeregu istniejących technologii. Zasada ta została zaadaptowana w programach, takich jak Future Flight Deck, Open Flight Deck oraz inicjatywach NASA. W tym przypadku samolot z jednoosobową załogą traktowany jest jako element większego systemu, który obejmuje nie tylko sam statek powietrzny i pilota na pokładzie, ale również wsparcie naziemne, takie jak drugi pilot lub pilot naziemny, oraz systemy wspierające decyzje w czasie rzeczywistym, np. w zakresie nawigacji, inżynierii i planowania. Koncepcja ta jest zgodna z operacyjnymi standardami w głównych liniach lotniczych, w których samoloty są obsługiwane przez wyznaczony personel w centrach operacyjnych, przez całą dobę, siedem dni w tygodniu. W tych centrach zarządza się planowaniem lotów, monitoruje dane inżynierskie w czasie rzeczywistym, wspiera zmiany trasy oraz koordynuje zasoby naziemne. W dużych liniach lotniczych często zatrudnia się inżynierów współpracujących bezpośrednio z producentami samolotów lub silników. Przykładem może być Rolls-Royce, który w 2017 r. stworzył

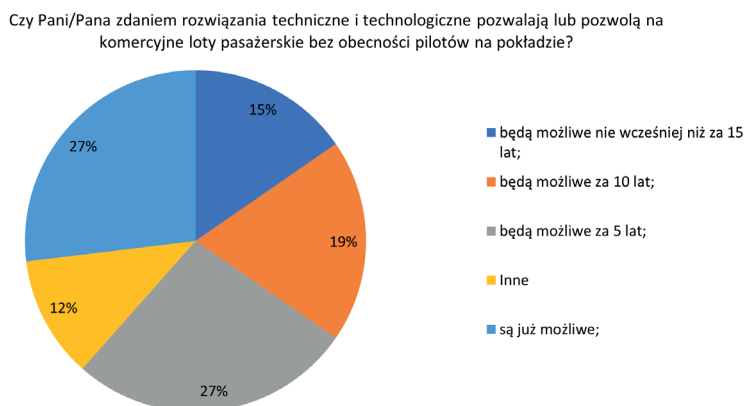
specjalistyczne centrum serwisowe Airline Aircraft Availability Center umożliwiające zdalne monitorowanie samolotów z najnowszymi silnikami, zapewnienie wsparcia pilotom w czasie rzeczywistym oraz koordynację konserwacji i napraw. Dodatkowo serwisanci w takich centrach mają często dostęp do bardziej szczegółowych informacji o stanie technicznym i wydajności silników niż sami piloci.

Warto zadać pytanie o przewagi i niedostatki obu podejść, jednak nie powinno się ich traktować jako alternatywnych. Technologie, nad którymi prowadzone są badania, mają wiele istotnych wspólnych elementów. Możliwe jest także stworzenie hybrydy obu systemów.

2.8.1. Prezentacja wyników badań

W przeprowadzonej ankiecie respondenci uznali, że istnieją możliwości techniczne i technologiczne przeprowadzania lotów bez obecności pilota i z jednym pilotem na pokładzie, a także, że loty te mogą się już odbywać w przypadku przewozów towarowych, a w niedalekiej przyszłości – w perspektywie pięciu lat – w przewozach pasażerskich.

Respondenci zostali zapytani, czy rozwiązania techniczne i technologiczne pozwalają lub pozwolą na komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie (rys. 8).



Rysunek 8. Bezzałogowe rozwiązania techniczne i technologiczne

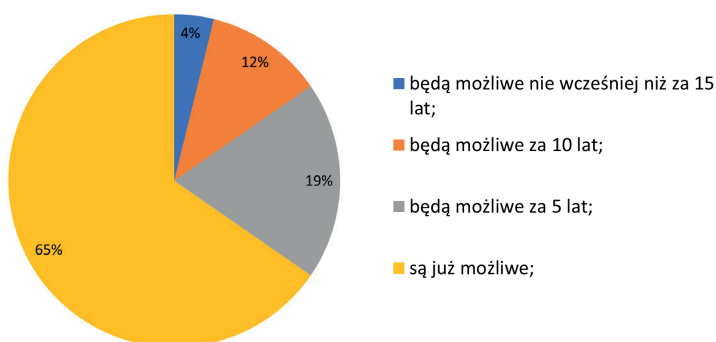
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁴¹.

⁴¹ Raport *Analiza czynników społecznych...*, op. cit.

27% respondentów odpowiedziało, że takie loty są już możliwe lub będą możliwe za 5 lat. 19% ankietowanych uważało, że rozwiązania techniczne i technologiczne pozwolą na komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie dopiero za 10 lat, natomiast 15%, że dopiero za 15 lat lub więcej.

Respondenci zostali zapytani również o to, czy rozwiązania techniczne i technologiczne pozwalają lub pozwolą na komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota (rys. 9).

Czy Pani/Pana zdaniem rozwiązania techniczne i technologiczne pozwalają lub komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota?



Rysunek 9. Jednopilotowe rozwiązania techniczne i technologiczne

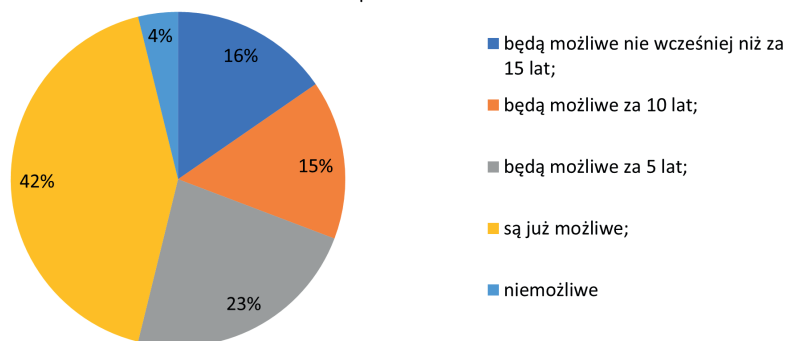
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁴².

W badaniu 57% respondentów wskazało, że obecne rozwiązania techniczne i technologiczne umożliwiają komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota. Według 19% ankietowanych będzie to możliwe za 5 lat, a wg 11% za 10 lat. 4% ankietowanych uznało, że komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota będą możliwe najwcześniej za 15 lat.

⁴² Ibidem.

Te same pytania zadano respondentom w odniesieniu do przewozów towarów cargo (rys. 10, 11).

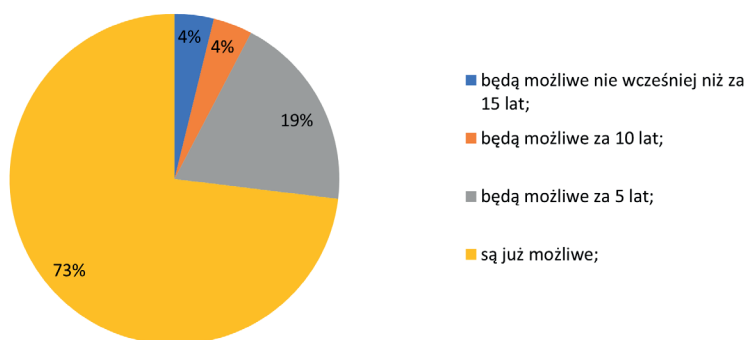
Czy Pani/Pana zdaniem rozwiązania techniczne i technologiczne pozwalają lub pozwolą na lotnicze przewozy towarów (cargo) bez obecności pilotów na pokładzie?



Rysunek 10. Bezpilotowe, techniczne i technologiczne możliwości przewozów towarów
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁴³.

42% badanych odpowiedziało, że lotnicze przewozy towarów (cargo) bez obecności pilotów są już możliwe. 23% respondentów wskazało, że rozwiązania techniczne i technologiczne pozwolą na takie przewozy za 5 lat, a 15%, że za 10 lat. 16% ankietowanych stwierdziło, że będzie to możliwe dopiero za 15 lat lub więcej.

Czy Pani/Pana zdaniem rozwiązania techniczne i technologiczne pozwalają lub pozwolą na lotnicze przewozy towarów (cargo) z udziałem jednego pilota?



Rysunek 11. Jednopilotowe możliwości techniczne i technologiczne przewozów cargo
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁴⁴.

⁴³ Ibidem.

⁴⁴ Ibidem.

Na pytanie, czy rozwiązania techniczne i technologiczne pozwalają na lotnicze przewozy towarów (cargo) z udziałem jednego pilota, 69% respondentów odpowiedziało twierdząco. 19% badanych wskazało natomiast, że będzie to możliwe za 5 lat. 4% respondentów uważało, że rozwiązania techniczne i technologiczne umożliwią lotnicze przewozy towarów (cargo) z udziałem jednego pilota dopiero za 10 lub 15 i więcej lat.

2.8.2. Podsumowanie – aspekty techniczne i technologiczne

Autonomiczna mobilność powietrzna w przyszłości będzie oparta na elektryczności oraz technologiach AI i DL. Wzrost znaczenia AI/DL w różnych sektorach wskazuje, że te technologie znajdą szerokie zastosowanie również w lataniu autonomicznym. Kluczowym warunkiem pełnego rozwoju autonomicznej mobilności powietrznej jest jednak postęp w produkcji wydajnych ogniw bateryjnych. W nadchodzących latach spodziewane są znaczące osiągnięcia w tej dziedzinie, które sprawią, że baterie będą bardziej wydajne i mniejsze. Już od 2025 r. mogą one znaleźć zastosowanie w samolotach przeznaczonych na krótkie dystanse.

Pierwsze elektryczne eVTOL-e (elektryczne pionowzloty) prawdopodobnie pojawią się w ciągu najbliższej dekady, jednak będą to pojazdy pilotowane. Na w pełni autonomiczne eVTOL-e przyjdzie nam poczekać około 15 lat. Ważnym czynnikiem wspierającym rozwój tej technologii będą firmy kurierskie, które planują wykorzystanie autonomicznych dronów do dostarczania przesyłek, co uczyni miasta przyszłości bardziej ekologicznymi – transport ten nie będzie generował emisji CO₂ ani hałasu. Jednakże kwestie regulacji i zarządzania ruchem, zwłaszcza przy wzroście liczby dronów do transportu indywidualnego, towarowego i taksówkowego, pozostają wyzwaniem.

Od 2025 r. można także oczekiwać pojawienia się samolotów elektrycznych i hybrydowych. Biorąc pod uwagę, że samoloty użytkowane są średnio przez 30 lat, minie sporo czasu, zanim te staną się powszechne. W przewidywalnej przyszłości samoloty elektryczne nie będą jednak zdolne do obsługi tras długodystansowych, dopóki baterie nie zostaną na tyle udoskonalone, że staną się lżejsze, bardziej wydajne i niezawodne.



Rysunek 12. Wymagania dotyczące ekosystemu Advanced Air Mobility

Źródło: <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2022/16-02-2022-rr-and-roland-berger-forecast-advanced-air-mobility-market-opportunity.aspx> (dostęp: 9.10.2024).

Równocześnie z rozwiązaniem kwestii technologicznych niezbędne będzie stworzenie całego ekosystemu wspierającego autonomiczną mobilność powietrzną. Literatura wskazuje, że autonomiczne loty mogą znacząco zmniejszyć zużycie paliwa i emisję spalin, choć respondenci nie zawsze zgadzali się z tymi prognozami. Wdrożenie tej technologii może mieć jednak istotne znaczenie zarówno dla ekologii, jak i dla kształtu infrastruktury lotniczej. Nowoczesne rozwiązania paliwowe, takie jak baterie elektryczne, mogą zmniejszyć zapotrzebowanie na stacje paliw, a także ograniczyć hałas. Zmniejszenie rozmiarów samolotów, emisji i zapotrzebowania na infrastrukturę może umożliwić lokalizację takich obiektów bliżej centrów logistycznych czy miejsc przesiadkowych, co przybliży usługi do klientów.

2.9. Bezpieczeństwo lotnicze – aspekty operacyjne

Bezpieczeństwo operacyjne w lotnictwie obejmuje szeroki zakres praktyk, procedur i technologii mających na celu zapobieganie wypadkom i incydentom, które mogą prowadzić do uszkodzenia sprzętu, środowiska lub, co najważniejsze, do utraty ludzkiego życia⁴⁵.

⁴⁵ Bezpieczeństwo lotnicze obejmuje dwa podstawowe aspekty: bezpieczeństwo operacyjne (*safety*) i bezpieczeństwo przed zagrożeniami zewnętrznymi (*security*). Oba są kluczowe dla zapewnienia ochrony zarówno pasażerów, jak i pracowników linii lotniczych, a także infrastruktury lotniczej.

Poniżej przedstawiono kluczowe aspekty bezpieczeństwa operacyjnego w lotnictwie.

1. Zarządzanie ryzykiem operacyjnym:

- Analiza ryzyka. Systematyczne rozpoznawanie i ocena potencjalnych zagrożeń w działaniach lotniczych.
- Mitygacja ryzyka. Wdrażanie środków mających na celu zmniejszenie zidentyfikowanego ryzyka do akceptowalnego poziomu.
- Zarządzanie kryzysowe. Przygotowanie i wdrożenie procedur dla sytuacji awaryjnych i kryzysowych.

2. Procedury operacyjne:

- Standardowe procedury operacyjne (SOP). Wypracowanie i przestrzeganie standardowych procedur dla załóg lotniczych, obsługi naziemnej oraz innych osób zaangażowanych w działania lotnicze.
- Przepisy lotnicze. Przestrzeganie lokalnych i międzynarodowych przepisów lotniczych, które regulują operacje lotnicze.

3. Szkolenia i kompetencje załóg:

- Szkolenie załóg lotniczych. Regularne i zaawansowane szkolenia, w tym symulacje scenariuszy awaryjnych i nieprzewidzianych.
- Certyfikacja i kontynuacja edukacji. Zapewnienie, że personel lotniczy ma odpowiednie kwalifikacje i jest na bieżąco z najnowszymi praktykami oraz technologiami.

4. Technologie bezpieczeństwa:

- Systemy kontroli lotu. Zaawansowane systemy zarządzania lotem i autopiloty, które pomagają w nawigacji i monitorowaniu kluczowych parametrów lotu.

1. *Safety*. a. Definicja. *Safety* w lotnictwie odnosi się do zapobiegania wypadkom i incydentom wynikającym z nieprawidłowości w funkcjonowaniu samolotów, procedurach operacyjnych, zarządzaniu ruchem lotniczym oraz innych aspektach związanych z operacjami lotniczymi. b. Aspekty. *Safety* obejmuje takie kwestie jak niezawodność samolotów, szkolenie załogi, utrzymanie lotnisk i infrastruktury, procedury awaryjne i zarządzanie ryzykiem. c. Regulacje i standardy. Bezpieczeństwo operacyjne obejmuje przestrzeganie przepisów lotniczych, standardów bezpieczeństwa ustalonych przez organizacje, takie jak ICAO czy FAA i EASA. 2. *Security*. a. Definicja. *Security* w lotnictwie odnosi się do ochrony lotnictwa cywilnego przed aktami bezprawnej ingerencji, takimi jak terroryzm, sabotaż, nielegalny przemyt, piractwo lotnicze i inne formy przestępczości. b. Aspekty. Obejmuje kontrolę bezpieczeństwa na lotniskach, monitorowanie cargo, cyberbezpieczeństwo oraz procedury reagowania na sytuacje kryzysowe. c. Regulacje i współpraca międzynarodowa. Wymaga współpracy między różnymi krajami, agencjami bezpieczeństwa, liniami lotniczymi oraz międzynarodowymi organizacjami regulacyjnymi. 3. Wspólny cel. Chociaż *safety* i *security* to różne zagadnienia, ich wspólnym celem jest zapewnienie, by podróże lotnicze były bezpieczne, a pasażerowie oraz załogi mogły latać bez obaw o swoje bezpieczeństwo. Wymaga to ciągłej współpracy, monitorowania, innowacji technologicznych oraz przestrzegania międzynarodowych, a także krajowych przepisów i standardów.

- Systemy ostrzegające. Takie jak TCAS⁴⁶ i GPWS⁴⁷, które pomagają unikać kolizji w powietrzu i na ziemi.

⁴⁶ Traffic Collision Avoidance System (TCAS) to system zapobiegania kolizjom w powietrzu, który jest zainstalowany na wielu samolotach komercyjnych i prywatnych. Jego podstawowym celem jest zapobieganie incydentom związanym z potencjalnymi kolizjami samolotów w powietrzu. Głównymi cechami TCAS są: 1. Wykrywanie i ostrzeganie. TCAS monitoruje przestrzeń powietrzną wokół samolotu, wykrywając inne statki powietrzne wyposażone w transpondery. Gdy system wykryje potencjalne zagrożenie kolizją, ostrzega pilotów poprzez sygnały wizualne i dźwiękowe. 2. Rekomendacje unikania kolizji. Gdy sytuacja staje się krytyczna, TCAS dostarcza rekomendacje dotyczące manewrów dla uniknięcia kolizji, znanych jako Resolution Advisories (RA). Mogą to być polecenia zmiany wysokości lub kursu lotu. 3. Komunikacja między samolotami. W zaawansowanych wersjach TCAS (takich jak TCAS II) systemy na różnych samolotach mogą komunikować się ze sobą, koordynując manewry prowadzące do uniknięcia kolizji, aby zapewnić bezpieczny dystans między statkami powietrznymi. 4. Standardy i regulacje. Instalacja i używanie TCAS jest regulowane przez międzynarodowe organizacje lotnicze, takie jak ICAO i FAA. W wielu krajach instalacja TCAS jest obowiązkowa dla większych samolotów komercyjnych. 5. Zgodność z ATC. TCAS jest zaprojektowany tak, aby działał kompatybilnie z instrukcjami od ATC. W przypadku rozbieżności między instrukcjami ATC a ostrzeżeniami TCAS, załogi samolotów mają określone procedury postępowania. 6. Wspomaganie a nie zastępowanie. TCAS jest systemem wspomagającym i nie zwalnia z koniecznej czujności ze strony załogi samolotu oraz stosowania się do procedur kontroli ruchu lotniczego. Stanowi bardzo ważny system bezpieczeństwa w lotnictwie zapewniający dodatkową warstwę ochrony przed kolizjami w powietrzu i znacząco przyczyniający się do ogólnego bezpieczeństwa lotów.

Transpondery to urządzenia radiowe używane w lotnictwie, które odbierają sygnał zapytania (*interrogation signal*) wysłany przez radar naziemny lub inny samolot (np. TCAS) i automatycznie odpowiadają na niego, wysyłając z powrotem określone informacje. Są one istotnym elementem systemów identyfikacji i śledzenia samolotów. Głównymi funkcjami transponderów są: 1. Komunikacja z radarem. Gdy radar naziemny wysła sygnał do samolotu, transponder odbiera ten sygnał i odpowiada, wysyłając z powrotem informacje o identyfikacji samolotu, wysokości lotu i czasami inne dane. 2. Kody transpondera. Transpondery mogą być ustawione na wysyłanie różnych kodów, które służą do identyfikacji samolotu lub jego stanu. Na przykład, w sytuacjach awaryjnych używane są specjalne kody. 3. Znaczenie dla ATC. Dzięki transponderom kontrolerzy ruchu lotniczego mogą śledzić pozycję i wysokość samolotów na swoich radarach, co jest niezbędne w zarządzaniu ruchem lotniczym i zapobieganiu kolizjom. 4. Współpraca z TCAS. W samolotach wyposażonych w TCAS transpondery komunikują się z transponderami innych samolotów, aby unikać potencjalnych kolizji powietrznych. 5. Mode S Transponders. Nowoczesne transpondery Mode S mogą przekazywać dodatkowe dane, takie jak identyfikator samolotu, jego prędkość i intencje lotu, co pozwala na bardziej zaawansowaną kontrolę ruchu lotniczego. 6. Wymogi regulacyjne. W wielu krajach istnieją przepisy wymagające, aby samoloty wyposażone były w działające transpondery w celu operowania w kontrolowanej przestrzeni powietrznej. Transpondery są kluczowym elementem systemów bezpieczeństwa i nadzoru w lotnictwie, umożliwiając efektywną identyfikację i śledzenie samolotów zarówno przez kontrolerów ruchu lotniczego, jak i przez inne samoloty wyposażone w systemy antykolizyjne.

⁴⁷ Ground Proximity Warning System (GPWS, system ostrzegania o bliskości terenu) to urządzenie bezpieczeństwa w lotnictwie, które ostrzega pilotów o potencjalnie niebezpiecznym zbliżaniu się do ziemi lub innych przeszkód terenowych. Jest to system zapobiegający incydentom znanym

5. Obsługa techniczna – konserwacja i niezawodność sprzętu:
 - Regularna konserwacja. Zapewnienie, że wszystkie samoloty są regularnie inspekcjonowane i konserwowane zgodnie z rygorystycznymi standardami.
 - Zarządzanie kondycją sprzętu. Używanie zaawansowanych technologii do monitorowania stanu i wydajności krytycznych komponentów samolotów.
6. Bezpieczeństwo cybernetyczne:
 - Ochrona systemów pokładowych. Zapewnienie, że systemy pokładowe są zabezpieczone przed zagrożeniami cybernetycznymi.
 - Zabezpieczenia sieci i danych. Ochrona infrastruktury komunikacyjnej i danych lotniczych przed nieuprawnionym dostępem i atakami.
7. Kultura bezpieczeństwa:
 - Promowanie świadomości. Budowanie kultury, w której bezpieczeństwo jest priorytetem dla wszystkich pracowników.
 - Raportowanie i uczciwość. Zachęcanie do raportowania zdarzeń i incydentów bez obawy przed karą, w celu gromadzenia wiedzy oraz poprawy istniejących przepisów i procedur⁴⁸.

jako Controlled Flight Into Terrain (CFIT), czyli kontrolowanemu lotowi w teren. Głównymi elementami systemu GPWS są: 1. Wykrywanie zagrożenia. GPWS stale monitoruje wysokość lotu samolotu względem powierzchni ziemi i innych przeszkód terenowych, wykorzystując do tego między innymi dane z radarów wysokości. 2. Ostrzeżenia dla pilotów. Jeśli system wykryje, że samolot jest zbyt blisko ziemi lub przeszkody terenowej, automatycznie aktywuje alarmy audio i wizualne, informując pilotów o konieczności podjęcia działań, takich jak zmiana kursu lub zwiększenie wysokości. 3. Różne typy ostrzeżeń. GPWS może generować różne typy ostrzeżeń w zależności od rodzaju wykrytego zagrożenia, takiego jak zbliżenie do ziemi bez odpowiedniej konfiguracji do lądowania, gwałtowne zniżanie, zbliżanie się do stromych zboczy terenowych itp. 4. Zaawansowane systemy. Nowocześniejsza wersja GPWS, znana jako Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS), wykorzystuje dodatkowo dane z map terenu i systemów nawigacji GPS, co pozwala na jeszcze dokładniejsze wykrywanie potencjalnych zagrożeń. 5. Wymóg dla samolotów komercyjnych. W wielu krajach zgodnie z przepisami lotniczymi są wymagane systemy GPWS lub EGPWS na pokładach większych samolotów komercyjnych, aby zapewnić dodatkową warstwę bezpieczeństwa. 6. Zapobieganie wypadkom CFIT. GPWS znacząco przyczynił się do zmniejszenia liczby sytuacji CFIT, które były wcześniej jedną z głównych przyczyn wypadków lotniczych. GPWS to ważny system bezpieczeństwa w lotnictwie, który poprzez zapewnienie załodze odpowiednich ostrzeżeń w sytuacjach potencjalnego zagrożenia ma za zadanie zapobiegać wypadkom spowodowanym niezamierzoną kolizją samolotu z ziemią.

⁴⁸ Kultura bezpieczeństwa (*safety culture*) w kontekście lotnictwa (oraz innych branż, takich jak energetyka jądrowa, medycyna, przemysł chemiczny itp.) odnosi się do zestawu wartości, przekonań oraz zachowań organizacji i pracowników, które determinują sposób, w jaki na co dzień zajmują się oni kwestiami bezpieczeństwa. Jest to nie tylko zbiór procedur i zasad, ale również metod

8. Współpraca międzynarodowa i regulacje:

- Standardy ICAO. Wdrożenie międzynarodowych standardów i zaleceń praktycznych (SARP) wydanych przez ICAO.
- Wymiana informacji. Współpraca międzynarodowa w zakresie wymiany danych o zagrożeniach i najlepszych praktykach w zakresie bezpieczeństwa.

wprowadzania ich w życie, a także ogólna świadomość i postawa wobec bezpieczeństwa w danej organizacji. Wśród kluczowych aspektów kultury bezpieczeństwa możemy wymienić: 1. Priorytet dla bezpieczeństwa. W kulturze bezpieczeństwa jest ono traktowane jako najważniejszy priorytet, często o większym znaczeniu niż efektywność operacyjna czy rentowność. 2. Otwartość i komunikacja. Zachęcanie do otwartej komunikacji na temat zagrożeń, incydentów i wypadków bez obawy o karę czy odwet. Jest to istotne dla identyfikacji i rozwiązywania problemów bezpieczeństwa. 3. Uczenie się i poprawa. Ciągła analiza incydentów, wypadków i niemal wypadków oraz uczenie się na ich podstawie w celu poprawy procedur i praktyk bezpieczeństwa. 4. Zaangażowanie wszystkich poziomów organizacji. Kultura bezpieczeństwa wymaga zaangażowania zarówno zarządu, jak i pracowników na wszystkich poziomach organizacji. 5. Proaktywność. Działania proaktywne w celu zapobiegania wypadkom i incydentom zamiast reaktywnego podejścia polegającego na działaniu dopiero po wystąpieniu problemu. 6. Szkolenie i edukacja. Regularne szkolenia i edukacja pracowników w zakresie bezpieczeństwa, aby każdy z nich znał najlepsze praktyki i procedury. 7. Odpowiedzialność i zrozumienie. Rozumienie przez wszystkich pracowników, że każdy jest odpowiedzialny za bezpieczeństwo i ma wpływ na ogólny poziom bezpieczeństwa w organizacji. Kultura bezpieczeństwa pełni znaczącą rolę w zapewnieniu wysokiego poziomu bezpieczeństwa w lotnictwie i innych branżach. Wymaga ona nie tylko odpowiednich procedur i polityk, ale także właściwego nastawienia, świadomości i zaangażowania na wszystkich poziomach organizacji.

Just culture w lotnictwie to koncepcja kultury organizacyjnej, która promuje otwartość i uczciwość w komunikacji na temat błędów, incydentów oraz wypadków. Podstawowym celem *just culture* jest stworzenie środowiska, w którym pracownicy są zachęceni do dzielenia się informacjami o błędach i problemach bez obawy przed nieuzasadnionymi represjami. Głównymi elementami *just culture* w lotnictwie są: 1. Zachęta do zgłaszania błędów. W kulturze opartej na sprawiedliwości pracownicy są zachęceni do zgłaszania błędów i nieprawidłowości. Uważa się, że zrozumienie przyczyn błędów jest niezbędne do poprawy bezpieczeństwa. 2. Różnica między błędem a niewłaściwym zachowaniem. *Just culture* dokonuje rozróżnienia między nieumyślnymi błędami a działaniami wynikającymi z niedbalstwa, świadomego naruszenia procedur czy złych intencji. W przypadku prostych błędów skupia się na nauce i poprawie, natomiast świadome naruszenia mogą pociągać za sobą konsekwencje. 3. Analiza i uczenie się. Po zgłoszeniu błędu następuje analiza sytuacji, aby zrozumieć, jak doszło do błędu i jak można go uniknąć w przyszłości. 4. Zarządzanie ryzykiem. *Just culture* pomaga w identyfikacji potencjalnych zagrożeń i luk w systemach bezpieczeństwa, co ma duże znaczenie dla zarządzania ryzykiem. 5. Zaangażowanie na wszystkich poziomach organizacji. Od kierownictwa po personel operacyjny, wszyscy są zaangażowani w tworzenie i utrzymanie kultury opartej na sprawiedliwości. 6. Poprawa bezpieczeństwa. Poprzez promowanie otwartości i uczciwości *just culture* przyczynia się do ciągłego doskonalenia bezpieczeństwa lotniczego. *Just culture* w lotnictwie to podejście, które promuje otwartość i uczciwość w kwestii błędów i incydentów, koncentrując się na uczeniu się i poprawie, a nie na obwinianiu. Jest to kluczowy element w budowaniu skutecznych systemów bezpieczeństwa w branży lotniczej.

Bezpieczeństwo operacyjne jest fundamentem branży lotniczej, a jego utrzymanie i ciągłe ulepszanie jest niezbędne dla zapewnienia bezpieczeństwa pasażerów i załóg. Wymaga nieustannego zaangażowania, inwestowania w nowe technologie, szkolenia personelu oraz tworzenia i utrzymania kultury, która stawia tę dziedzinę na pierwszym miejscu.

2.10. Analiza ryzyka dla załóg bezpilotowych i jednoosobowych

Analiza ryzyka dla bezpilotowych i jednoosobowych załóg lotniczych obejmuje zidentyfikowanie potencjalnych zagrożeń, a także ocenę prawdopodobieństwa ich wystąpienia oraz wpływu na operacje lotnicze⁴⁹. Poniżej przedstawiono główne aspekty tej analizy:

1. Dla bezpieczeństwa UAS:

a. techniczne

- niezawodność systemów – ryzyko awarii składników krytycznych, takich jak oprogramowanie sterujące, komunikacja, zasilanie;

⁴⁹ Analiza ryzyka i Safety Management System (SMS czyli system zarządzania bezpieczeństwem) mają znaczącą wartość w zapewnianiu bezpieczeństwa w lotnictwie; koncepcja opiera się na następujących czynnikach: 1. Analiza ryzyka. a. Definicja. Analiza ryzyka w lotnictwie to proces identyfikacji potencjalnych zagrożeń i oceny ryzyka związanego z operacjami lotniczymi. Proces ten obejmuje ocenę prawdopodobieństwa wystąpienia danego zdarzenia i jego potencjalnych konsekwencji. b. Etapy procesu. Analiza ryzyka zazwyczaj obejmuje identyfikację zagrożeń, ocenę ryzyka, opracowanie środków zaradczych i monitorowanie skuteczności tych środków. c. Zarządzanie ryzykiem. Jest to część większego procesu zarządzania ryzykiem, który polega nie tylko na analizie, ale także na planowaniu, kontroli i przeglądzie ryzyka w operacjach lotniczych. 2. SMS. a. Definicja. SMS to formalne, zorganizowane podejście do zarządzania bezpieczeństwem przy wykorzystaniu niezbędnych procedur, struktur organizacyjnych i zasad. Jest to zintegrowany system zaprojektowany do ciągłego monitorowania i poprawy bezpieczeństwa operacji lotniczych. b. Cztery kluczowe komponenty: polityka bezpieczeństwa – określenie zasad i zaangażowanie kierownictwa w popieranie kultury bezpieczeństwa; zarządzanie ryzykiem – systematyczna identyfikacja zagrożeń i zarządzanie ryzykiem, które one stanowią; gwarancja bezpieczeństwa – procesy zapewniające efektywne działanie systemu zarządzania bezpieczeństwem, w tym szkolenia i komunikacja; promowanie bezpieczeństwa – utrzymanie kultury bezpieczeństwa poprzez komunikację i szkolenia oraz zachęcanie do zgłaszania zagrożeń. 3. Ciągła poprawa. SMS kładzie nacisk na ciągłą poprawę w zakresie bezpieczeństwa lotniczego, wykorzystując dane i informacje zwrotne do ciągłego doskonalenia praktyk bezpieczeństwa. 4. Zgodność ze standardami międzynarodowymi. Międzynarodowe organizacje lotnicze, takie jak ICAO, promują wdrożenie SMS przez linie lotnicze, lotniska i inne instytucje lotnicze. Analiza ryzyka i SMS są niezbędnymi narzędziami w branży lotniczej do proaktywnego zarządzania bezpieczeństwem. Pozwalają na systematyczne podejście do identyfikacji, oceny i zarządzania ryzykiem, co jest konieczne do zapewnienia bezpiecznych i efektywnych operacji lotniczych.

- cybernetyczne – zagrożenia związane z atakami hakerskimi, które mogą zakłócić funkcjonowanie UAS;
 - interferencje z innymi systemami – ryzyko kolizji lub interferencji z załogowymi statkami powietrznymi oraz innymi UAS;
- b. operacyjne
- błąd ludzki – ryzyko wynikające z błędów w operowaniu systemem przez operatora naziemnego;
 - UTM – wyzwania związane z integracją UAS z istniejącymi systemami zarządzania ruchem lotniczym;
- c. prawne i regulacyjne
- zgodność z przepisami – wyzwania związane z dynamicznie zmieniającymi się przepisami dotyczącymi UAS;
 - prywatność i ochrona danych – zagrożenia dla prywatności osób i bezpieczeństwa danych zbieranych przez UAS;
- d. społeczne i środowiskowe
- akceptacja społeczna – potencjalny opór społeczny wobec UAS z powodu obaw o prywatność i bezpieczeństwo;
 - skutki dla środowiska – wpływ na dziką faunę, szczególnie ptaki, oraz wpływ hałasu.
2. Dla bezpieczeństwa jednoosobowych załóg lotniczych:
- a. techniczne
- przeniesienie obciążenia pracą na pilota – zwiększone ryzyko błędu ludzkiego z powodu większego obciążenia pilota;
 - systemy wsparcia decyzji – niezawodność systemów wspomagających pilota w podejmowaniu decyzji oraz w działaniach w przypadku awarii;
- b. operacyjne
- wydolność pilota – ryzyko przeciążenia pilota, które może wynikać z konieczności obsługi wielu zadań jednocześnie;
 - procedury awaryjne – ograniczenia w realizacji procedur awaryjnych, które normalnie wymagają współpracy załogi;
- c. prawne i regulacyjne
- przepisy dotyczące czasu pracy – zapewnienie, że obciążenie pracą jednego pilota jest w zgodzie z regulacjami dotyczącymi czasu pracy i odpoczynku;
 - odpowiedzialność – wyjaśnienie kwestii odpowiedzialności w przypadku incydentów lub wypadków z udziałem załogi jednoosobowej;
- d. społeczne i psychologiczne
- dobrostan pilota – stres i zmęczenie jako czynniki ryzyka w bezpieczeństwie operacyjnym;

- zaufanie pasażerów – gotowość pasażerów do latania w samolotach z załogami jednoosobowymi lub bez załóg.

Analiza ryzyka dla bezpilotowych i jednoosobowych załóg lotniczych musi uwzględniać zarówno aspekty techniczne oraz operacyjne, jak i zaufanie społeczne, a także przestrzeganie regulacji prawnych. Należy opracować skuteczne strategie zarządzania ryzykiem, aby zminimalizować potencjalne zagrożenia i zwiększyć akceptację tych technologii w przemyśle lotniczym.

2.11. Systemy redundancji i ich znaczenie

Redundancja oznacza stosowanie dodatkowych komponentów, systemów lub działań, które są przeznaczone do przejęcia funkcji roboczych w przypadku awarii elementu pierwotnego. W kontekście bezpieczeństwa lotniczego, zarówno w przypadku załogowych, jak i bezzałogowych statków powietrznych, redundancja jest zintegrowana na wielu poziomach, od projektowania samolotu, poprzez jego operacyjne wykorzystanie, aż po systemy zarządzania ruchem lotniczym.

Znaczenie redundancji:

- Zwiększenie niezawodności. Redundancja pozwala na kontynuację bezpiecznego lotu i lądowania nawet po wystąpieniu jednego lub wielu zdarzeń awaryjnych. Przykładem może być redundancja w systemach napędowych, w których więcej niż jeden silnik umożliwia samolotowi dalszy lot w przypadku awarii jednego z nich.
- Zapobieganie awariom. Zastosowanie wielu niezależnych systemów do wykonywania tej samej funkcji minimalizuje ryzyko całkowitej jej utraty. Na przykład, jeśli jeden system nawigacyjny zawodzi, inne mogą nadal dostarczać niezbędnych informacji do bezpiecznego prowadzenia lotu.
- Rozłożenie ryzyka. Dzięki redundancji ryzyko operacyjne jest rozłożone na większą liczbę komponentów, co zmniejsza prawdopodobieństwo awarii krytycznej. Przykładowo, stosowanie wielu niezależnych źródeł zasilania zapewnia, że awaria jednego nie spowoduje utraty mocy przez systemy krytyczne.
- Zapewnienie ciągłości działania. W systemach ATM redundancja jest niezbędna do zapewnienia, że usługi nawigacyjne, komunikacyjne i nadzoru są ciągle dostępne, nawet podczas awarii.

Przykłady redundancji w lotnictwie zostały przedstawione poniżej.

1. Redundancja sprzętowa:

- podwójne lub potrójne systemy hydrauliczne;
- wielokrotne, niezależne systemy elektryczne;
- podwójne systemy autopilota.

2. Redundancja oprogramowania:

- różnorodność w oprogramowaniu, aby uniknąć wspólnego błędu w projektowaniu (*common-mode failures*)⁵⁰;
- zastosowanie systemów monitorujących, które wykrywają błędy i automatycznie przełączają na system rezerwowy.

3. Redundancja operacyjna:

- załogi lotnicze przeszkolone w procedurach awaryjnych;
- procedury awaryjne, takie jak alternatywne lotniska lądowania.

4. Redundancja w zarządzaniu ruchem lotniczym:

- zapasowe centra kontroli ruchu lotniczego;
- systemy komunikacji, nawigacji i nadzoru (CNS) z wieloma niezależnymi opcjami⁵¹.

⁵⁰ *Common-mode failures* w lotnictwie odnoszą się do sytuacji, w której dwa czy więcej niezależnych systemów lub komponentów ulega awarii z tego samego powodu albo w wyniku tego samego zdarzenia. Jest to koncepcja ważna w kontekście projektowania systemów bezpieczeństwa i niezawodności, ponieważ *common-mode failures* mogą prowadzić do poważnych incydentów lub wypadków lotniczych, nawet jeśli systemy te są zaprojektowane jako niezależne lub redundantne. 1. Kluczowe aspekty *common-mode failures*: a. Redundancja i niezależność. W lotnictwie często stosuje się systemy redundantne (zapasowe) w celu zwiększenia bezpieczeństwa. Jednak *common-mode failures* pokazują, że sama redundancja może nie być wystarczająca, jeśli oba systemy ulegną awarii z tego samego powodu. b. Przyczyny *common-mode failures*: czynniki środowiskowe, takie jak ekstremalne warunki pogodowe, które wpływają jednocześnie na funkcjonowanie wielu systemów; błędy ludzkie – na przykład, jeśli błąd w procedurze obsługi lub konserwacji wpływa jednocześnie na kilka systemów; projektowanie systemów – błędy w projektowaniu, które powodują, że różne systemy są podatne na te same typy awarii; awaria komponentów elektronicznych, na przykład, gdy awaria zasilania wpływa na kilka systemów naraz. c. Zapobieganie i zarządzanie: analiza ryzyka – identyfikacja potencjalnych *common-mode failures* podczas projektowania i testowania systemów; projektowanie zróżnicowane – użycie różnych technologii lub podejść projektowych w systemach redundantnych, aby zminimalizować ryzyko awarii z powodu tego samego problemu; szkolenie i procedury – opracowanie procedur i szkoleń, które uwzględniają możliwość *common-mode failures*. d. Analiza incydentów i wypadków. Badanie przeszłych incydentów i wypadków lotniczych w celu zrozumienia i zapobiegania *common-mode failures* w przyszłości. *Common-mode failures* w lotnictwie to ważne zagadnienie w kontekście bezpieczeństwa lotów. Rozumienie i zapobieganie tego rodzaju awariom ma bardzo duże znaczenie dla projektowania bezpiecznych samolotów i systemów lotniczych.

⁵¹ CNS w lotnictwie to zbiór technologii i procedur, które są kluczowe dla bezpiecznego i efektywnego prowadzenia operacji lotniczych. Każdy z trzech komponentów – komunikacja, nawigacja i nadzór – odgrywa specyficzną rolę i jest niezbędny w zarządzaniu ruchem lotniczym oraz w operacjach lotniczych. Krótki opis każdego z nich: 1. Komunikacja. a. Znaczenie. Komunikacja w lotnictwie obejmuje wymianę informacji między samolotem a ATC, jak również komunikację między samolotami. b. Technologie. Używa się do tego celu różnorodnych systemów radiowych, satelitarnych i cyfrowych, zapewniających ciągłą i klarowną wymianę informacji. 2. Nawigacja.

W systemach bezzałogowych redundancja staje się jeszcze bardziej niezbędna, ponieważ na pokładzie nie ma załogi mogącej interweniować w przypadku awarii. Dlatego stosuje się zaawansowane algorytmy do zarządzania awariami i autonomiczne systemy bezpieczeństwa. W samolotach z załogą jednoosobową redundancja w systemach wspierających pilota może pomóc w zniwelowaniu ryzyka związanego z faktem, że monitorowanie i reagowanie na awarie jest w zakresie odpowiedzialności tylko jednego człowieka.

Redundancja jest zatem metodą o fundamentalnym znaczeniu w zapewnianiu bezpieczeństwa lotniczego. Rozwój technologii lotniczych, szczególnie w obszarze lotów autonomicznych i półautonomicznych, ciągle zwiększa ich zależność od skutecznych systemów redundancji, które muszą ewoluować, aby sprostać nowym wyzwaniom i zapewnić równie wysoki poziom bezpieczeństwa jak w konwencjonalnym lotnictwie załogowym.

2.12. Zarządzanie kryzysowe i awaryjne procedury lotnicze

Zarządzanie kryzysowe i awaryjne procedury lotnicze obejmują szeroki zakres działań, od wstępnego planowania i szkolenia załóg, po konkretne procedury reagowania w przypadku awarii, sytuacji kryzysowych czy katastrof lotniczych.

Działania podejmowane w ramach zarządzania kryzysowego w lotnictwie przedstawiono poniżej.

1. Planowanie kryzysowe:

- Plan awaryjny. Każde lotnisko i linia lotnicza mają szczegółowe plany awaryjne, które określają procedury postępowania w przypadku różnego rodzaju sytuacji kryzysowych.

a. Znaczenie. Nawigacja w lotnictwie to proces określania aktualnej pozycji samolotu i planowania trasy do celu. b. Technologie. To tradycyjne metody nawigacji, takie jak VHF Omnidirectional Range (VOR) i Non-Directional Beacon (NDB), jak również nowoczesne systemy oparte na GPS i innych systemach nawigacji satelitarnej. 3. Nadzór. a. Znaczenie. Nadzór w lotnictwie to monitorowanie pozycji i ruchu samolotów. b. Technologie. Wykorzystuje się do tego radar, transpondery, systemy ADS-B oraz inne systemy śledzenia, które pozwalają kontrolerom ruchu lotniczego na bieżąco monitorować i zarządzać ruchem samolotów w przestrzeni powietrznej. c. Wspólne znaczenie. a. Bezpieczeństwo i efektywność. CNS są niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa i efektywności w lotnictwie; pozwalają na precyzyjne kierowanie ruchem lotniczym, unikanie kolizji i zapewnienie płynnej komunikacji między wszystkimi zainteresowanymi stronami. b. Integracja z ATM. CNS są ściśle zintegrowane z ATM, tworzą kompleksową infrastrukturę niezbędną do zarządzania operacjami lotniczymi na całym świecie. Systemy CNS są kluczowymi składowymi infrastruktury lotniczej, umożliwiając bezpieczne, efektywne i skoordynowane prowadzenie operacji lotniczych na całym świecie.

- Analiza ryzyka. Regularne analizy ryzyka pozwalają identyfikować potencjalne zagrożenia i planować odpowiednie środki zaradcze.
 - Szkolenia i symulacje. Przygotowanie personelu i załóg do reagowania na awarie poprzez regularne szkolenia i ćwiczenia symulacyjne.
3. Reagowanie na kryzys:
- Procedury natychmiastowego reagowania. Zarówno załoga na pokładzie, jak i personel naziemny, są przeszkoleni do szybkiego i skutecznego reagowania w momencie wystąpienia awarii.
 - Koordynacja międzyinstytucjonalna. Współpraca pomiędzy lotniskami, liniami lotniczymi, służbami ratunkowymi i kontroli ruchu lotniczego jest niezbędna w celu skutecznej odpowiedzi na sytuację kryzysową.
4. Odzyskiwanie – regeneracja po kryzysie:
- Wsparcie dla ofiar i rodzin. W przypadku wypadków lotniczych linie lotnicze mają za zadanie zapewnienie wsparcia poszkodowanym i ich rodzinom.
 - Analiza przyczyn i skutków. Po każdym incydencie przeprowadza się szczegółowe dochodzenie, aby zrozumieć przyczyny i zapobiec podobnym zdarzeniom w przyszłości.

Pierwszą kategorią awaryjnych procedur lotniczych są procedury dla załóg, które stanowią:

1. Lista kontrolna na wypadek awarii (checklista)⁵². Załogi korzystają z list kontrolnych, aby krok po kroku przeprowadzić niezbędne procedury awaryjne.

⁵² Checklisty (*checklists* – listy kontrolne) w lotnictwie to zestawy uporządkowanych instrukcji lub punktów kontrolnych, których załogi samolotów (piloci i w przypadku większych samolotów również inni członkowie załogi) używają w celu uzyskania zapewnienia, że wszystkie kluczowe procedury i kontrole zostały wykonane przed, w trakcie i po każdym locie. Wśród kluczowych aspektów checklist w lotnictwie należy wymienić: 1. Cel i znaczenie. a. Zapewnienie bezpieczeństwa. Checklisty są ważnym narzędziem do zapewnienia bezpieczeństwa lotu. Pomagają w upewnieniu się, że wszystkie niezbędne systemy i procedury zostały sprawdzone i są gotowe do użycia. b. Minimalizacja błędów ludzkich. Umożliwiają pilotom i załogom uniknięcie błędów spowodowanych zapomnieniem, przeoczeniem lub niezrozumieniem procedur. 2. Różnorodność checklist. a. Różne etapy lotu. Istnieją różne checklisty dla kolejnych etapów lotu – przedstartowe, przedlotowe, po starcie, przed lądowaniem i po lądowaniu. b. Specyfika samolotu. Każdy typ samolotu ma własne, specyficzne checklisty, dostosowane do jego unikalnych systemów i wymagań. c. Procedury standardowe oraz awaryjne. 3. Przykłady punktów kontrolnych. a. Przedstartowe. Kontrola systemów nawigacyjnych, sprawdzenie paliwa, działania silników, kontrolerów lotu itd. b. Przedlotowe. Finalne sprawdzenie pogody, trasy lotu, komunikacji z wieżą kontrolną. c. Po starcie. Kontrola parametrów lotu, ustawienie odpowiednich systemów dla fazy lotu. d. Przed lądowaniem. Sprawdzenie układu podwozia, kłap, systemów hamujących. e. Po lądowaniu. Wyłączenie silników, zabezpieczenie samolotu, sprawdzenie dokumentacji lotu. 4. Standardy i praktyki. a. Procedury standardowe. W lotnictwie cywilnym i wojskowym istnieją ustalone

2. Szkolenie w symulatorach. Piloci są regularnie szkoleni w symulatorach lotów, aby praktykować procedury awaryjne w kontrolowanym środowisku.

2.12.1. Procedury operacyjne

Zbiór zasad, instrukcji i procedur wytyczających przeprowadzanie różnych czynności związanych z operacjami lotniczymi to procedury operacyjne. Są one niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa, regularności i efektywności lotów. Obejmują szereg działań od przygotowania lotu, poprzez operacje w powietrzu, aż po obsługę po lądowaniu. Poniżej zaprezentowano rodzaje procedur operacyjnych w lotnictwie.

1. Procedury przedlotowe:

- Planowanie lotu. Opracowanie planu lotu, w tym wybór trasy, obliczenie ilości potrzebnego paliwa i sprawdzenie warunków pogodowych.
- Checklisty przedstartowe. Weryfikacja checklisty, aby upewnić się, że wszystkie systemy samolotu działają poprawnie i są właściwie skonfigurowane.

2. Procedury startowe:

- Koordynacja z ATC. Komunikacja z ATC dla uzyskania zezwolenia na start i koordynacji z innymi samolotami.
- Wykonanie startu. Realizacja procedur startowych, w tym ustawienia mocy silników, układów sterowania i innych systemów kontroli lotu.

3. Procedury w powietrzu:

- Zarządzanie lotem – procedury standardowe. Prowadzenie samolotu zgodnie z planem lotu, w tym nawigacja, monitorowanie systemów samolotu i reagowanie na zmiany warunków.
- Procedury awaryjne. Zestaw działań do podjęcia w przypadku awarii lub innych nieprzewidzianych sytuacji.

4. Procedury lądowania:

standardy i najlepsze praktyki dotyczące tworzenia i używania checklist. b. Szkolenie i przestrzeganie. Załogi są szkolone w zakresie używania checklist i są zobowiązane do przestrzegania ich podczas każdego lotu. 5. Technologia i innowacje. a. Elektroniczne checklisty. W nowoczesnych kokpitach checklisty są często integrowane z elektronicznymi systemami zarządzania lotem, co pozwala na automatyczne przypomnienia i lepszą kontrolę procedur. Checklisty w lotnictwie są niezbędnym narzędziem do zapewnienia bezpieczeństwa lotu, pozwalającym załogom na systematyczne sprawdzanie i potwierdzanie, że wszystkie kluczowe aspekty operacji lotniczych zostały odpowiednio zrealizowane.

- Podejście do lądowania. Przygotowanie do lądowania, w tym komunikacja z wieżą kontrolną i ustawienie samolotu na odpowiedniej ścieżce podejścia.
 - Wykonanie lądowania. Kontrolowanie samolotu podczas lądowania i przestrzeganie procedur dotyczących różnych typów lądowań.
5. Procedury po lądowaniu:
- Kołowanie. Manewrowanie samolotem na lotnisku do wyznaczonego miejsca postojowego.
 - Odprawa po lądowaniu. Wyłączenie systemów samolotu, przekazanie samolotu personelowi naziemnemu i raportowanie o locie.
6. Procedury obsługi naziemnej i obsługi technicznej:
- Obsługa techniczna samolotu. Tankowanie, załadunek i rozładunek, konserwacja i kontrole techniczne.
 - Przygotowanie do kolejnego lotu. Przeprowadzenie niezbędnych sprawdzeń i przygotowanie samolotu do kolejnego lotu.

Procedury operacyjne w lotnictwie są opracowane z myślą o zapewnieniu maksymalnego bezpieczeństwa i efektywności. Są kluczowe zarówno dla załóg lotniczych, jak i personelu naziemnego, a także wymagają stałego przestrzegania i aktualizacji w odpowiedzi na zmieniające się technologie, przepisy i warunki operacyjne.

Efektywne zarządzanie kryzysowe i awaryjne procedury lotnicze są niezbędne do utrzymania wysokiego poziomu bezpieczeństwa w lotnictwie. Stale rozwijają się wskutek nowych wyzwań, technologii i zagrożeń. Zrozumienie i ciągłe doskonalenie tych aspektów są niezmiernie istotne dla przyszłości bezpiecznych oraz skutecznych podróży lotniczych.

2.13. Bezpieczeństwo komercyjnych przewozów cargo i pasażerskich

Bezpieczeństwo przewozów lotniczych cargo oraz pasażerskich jest złożonym zagadnieniem, które obejmuje różne aspekty, od technicznych i operacyjnych po regulacyjne oraz społeczne. Zapewnienie bezpieczeństwa w tej dziedzinie wymaga ścisłej współpracy pomiędzy liniami lotniczymi, producentami samolotów, załogami lotniczymi, instytucjami zarządzającymi ruchem lotniczym, regulatorami oraz pasażerami. Kluczowe aspekty bezpieczeństwa w lotnictwie obejmują kwestie techniczne i operacyjne, takie jak standaryzacja procedur, wysokiej jakości szkolenie załóg, regularne przeglądy i konserwacja samolotów, a także skuteczne zarządzanie ruchem lotniczym. W obszarze bezpieczeństwa cargo istotne są dokładne inspekcje i skanowanie przesyłek oraz zabezpieczenie łańcucha dostaw poprzez dostęp do wszystkich danych i śledzenie przesyłek. Aspekty socjalne i prawne obejmują

zaufanie publiczne, przepisy dotyczące prywatności oraz odpowiedzialność prawną operatorów lotniczych w razie wypadków i incydentów, a regulacyjne – międzynarodowe przepisy lotnicze, takie jak konwencja chicagowska, standaryzacja globalna ustanawiana przez ICAO oraz narodowe regulacje lotnicze zgodne z międzynarodowymi standardami. Wyzwania i perspektywy dla bezpieczeństwa lotniczego obejmują zmiany klimatyczne, które mogą wpłynąć na bezpieczeństwo operacji lotniczych, zagrożenia cyfrowe wymagające skutecznych systemów ochrony danych oraz innowacje technologiczne, które implikują konieczność ciągłego przeglądu oraz aktualizacji przepisów i praktyk. Zapewnienie bezpieczeństwa lotniczych przewozów cargo i pasażerskich jest procesem ciągłym, który wymaga nieustannej uwagi i współpracy wszystkich podmiotów branży lotniczej.

2.14. Porównanie wymagań bezpieczeństwa dla przewozów lotniczych cargo i pasażerskich

Bezpieczeństwo przewozów lotniczych, zarówno cargo jak i pasażerskich, jest nadrzędnym priorytetem dla branży lotniczej, ale wymagania dotyczące każdego z nich różnią się w zależności od specyfiki operacji.

W przypadku przewozów pasażerskich bezpieczeństwo osobiste jest głównym celem, uwzględniającym takie środki, jak kontrole bezpieczeństwa na lotniskach, procedury pokładowe oraz szkolenia załóg w zakresie reagowania na sytuacje awaryjne. Komfort i zdrowie pasażerów to kolejne istotne zagadnienie, w ramach którego linie lotnicze muszą zapewnić odpowiednie warunki podróży, w tym jakość powietrza, komfort siedzeń i dostęp do pierwszej pomocy. Załoga pokładowa musi być przeszkolona w zakresie obsługi pasażerów, zarządzania sytuacjami awaryjnymi i podstawowej opieki medycznej. Powinny być przestrzegane surowe przepisy dotyczące bagażu, aby zapobiegać wniesieniu na pokład przedmiotów niebezpiecznych.

W przewozach cargo kluczowa jest kontrola ładunków, która obejmuje szczegółowe sprawdzenie przesyłek w celu upewnienia, że nie zawierają one materiałów niebezpiecznych lub zabronionych, co często wymaga stosowania zaawansowanych technologii skanowania. Bezpieczeństwo łańcucha dostaw, od momentu przyjęcia ładunku po jego dostarczenie, musi być zapewnione poprzez przestrzeganie procedur, które zapobiegają kradzieży lub manipulacji ładunkiem. Personel zaangażowany w przewóz cargo musi być odpowiednio przeszkolony w zakresie obsługi różnych typów towarów, w tym materiałów niebezpiecznych, a ładunki – odpowiednio zapakowane i zabezpieczone, aby nie przemieszczały się w czasie lotu, co mogłoby negatywnie wpłynąć na stabilność samolotu.

Porównując wymagania w odniesieniu do obu powyższych kategorii należy stwierdzić, że przewozy pasażerskie podlegają bardziej rygorystycznym regulacjom dotyczącym bezpośredniego bezpieczeństwa osób, podczas gdy w cargo priorytetem jest bezpieczeństwo ładunku i samolotu. Załogi przewozów pasażerskich są szkolone w zakresie interakcji z pasażerami, podczas gdy załogi cargo koncentrują się na aspektach logistycznych i obsłudze ładunku. Odpowiedzialność w przypadku przewozów pasażerskich spoczywa na zapewnieniu zarówno bezpieczeństwa, jak i dobra pasażerów, zaś w przypadku cargo głównym celem jest bezpieczeństwo i integralność ładunku. Procedury awaryjne w przewozach pasażerskich wymagają kompleksowego planowania ewakuacji i procedur ratunkowych, natomiast w przewozach cargo priorytetem jest ochrona ładunku i zapobieganie jego uszkodzeniu. Na lotnisku pasażerowie podlegają indywidualnym kontrolom bezpieczeństwa, a cargo wymaga bardziej złożonych systemów kontroli i monitorowania.

W obu przypadkach wspólnym mianownikiem jest zapewnienie, by operacje odbywały się w sposób bezpieczny dla ludzi, ładunku i sprzętu. Zarówno przewozy pasażerskie, jak i cargo muszą przestrzegać międzynarodowych i narodowych regulacji lotniczych oraz stosować najlepsze praktyki branżowe, aby zmniejszyć ryzyko i zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa.

2.15. Studia przypadków i analiza zdarzeń

Rozwój praktyk bezpieczeństwa w lotnictwie w wysokim stopniu determinują studia przypadków i analiza zdarzeń lotniczych. Przez lata dochodzenia po wypadkach lotniczych dostarczyły nieocenionych danych, które pomogły branży lotniczej wdrażać nowe technologie, zmieniać procedury, poprawiać szkolenia załóg i tworzyć lepsze systemy zarządzania bezpieczeństwem.

Wybór studiów przypadków może być podyktowany różnymi czynnikami, takimi jak:

- znaczenie incydentu dla przemysłu lotniczego;
- stopień szkód lub liczba ofiar;
- potencjał wykrywania nowych zagrożeń i ryzyk;
- możliwość zastosowania wniosków w celu poprawy obecnych standardów bezpieczeństwa.

Poniżej, na przykładach zdarzeń lotniczych, przedstawiono sposoby, w jaki studia przypadków mogą być użyte do analizy i poprawy bezpieczeństwa lotniczego.

- Katastrofa lotu Air France 447 (2009). Airbus A330 zaginął nad Atlantykiem. Dochodzenie ujawniło problemy z czujnikami prędkości (rurki

Pitota) i sposób reagowania załogi na nieprawidłowe odczyty prędkości. To doprowadziło do rewizji protokołów treningowych i wymagań dotyczących sprzętu.

- Katastrofa lotu Malaysia Airlines 17 (2014). Boeing 777 został zestrzelony przez pocisk ziemia-powietrze nad Ukrainą. Analiza tej tragedii podkreśliła potrzebę lepszego zarządzania informacjami dotyczącymi zagrożeń dla konfliktowej przestrzeni powietrznej.
- Zdarzenie z lotem US Airways 1549 (2009). A320 wodował na rzece Hudson po starcie z LaGuardia Airport. Udane wodowanie bez ofiar śmiertelnych ukazało znaczenie procedur awaryjnych i treningów załogi.

Tego typu zdarzenia są często szczegółowo analizowane w monografiach i literaturze branżowej, ponieważ stanowią źródło cennych lekcji na temat bezpieczeństwa lotniczego i prowadzą do ciągłego rozwoju procedur, technologii oraz szkolenia załóg lotniczych. W tym celu stosowane są następujące metody analizy:

- analiza przyczynowa (Root Cause Analysis, RCA) – metoda używana do identyfikacji podstawowych przyczyn wypadku lub incydentu;
- analiza ryzyka i zarządzanie ryzykiem – pozwala na ocenę potencjalnych zagrożeń i opracowanie planów ich minimalizacji;
- symulacje i rekonstrukcje – wirtualna rekonstrukcja zdarzeń, która może pomóc w lepszym zrozumieniu przebiegu wypadku.

Na podstawie wyników analiz organizacje lotnicze mogą wdrażać zmiany, takie jak:

- poprawa szkolenia – lepsze przygotowanie załóg do radzenia sobie z sytuacjami awaryjnymi;
- aktualizacje technologiczne – wprowadzenie lepszego wyposażenia i systemów pokładowych;
- zmiany w regulacjach – modyfikacje przepisów lotniczych, by lepiej adresować wykryte ryzyka;
- komunikacja i procedury zarządzania kryzysowego – ulepszenie protokołów komunikacyjnych w przypadku kryzysów.

Każde zdarzenie lotnicze dostarcza cennych informacji, które mogą przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa w lotnictwie. Jest to ciągły proces, który wymaga stałego monitorowania, analizy i adaptacji. Sektor lotniczy ma za zadanie nie tylko reagować na wypadki, ale również antycypować potencjalne problemy i zapobiegać im poprzez proaktywne zarządzanie bezpieczeństwem.

Analiza studiów przypadków jest tematem poruszonym w każdej monografii traktującej o bezpieczeństwie lotniczym, gdyż stanowi podstawę do zrozumienia przeszłych błędów i zapobiegania przyszłym zagrożeniom.

2.16. Prognozy i scenariusze rozwoju komercyjnych przewozów lotniczych

Prognozy i scenariusze rozwoju przewozów lotniczych obejmują szerokie spektrum możliwości, które ewoluują wraz z postępowaniem technologicznym, zmieniającymi się przepisami, rosnącą świadomością ekologiczną oraz coraz większymi oczekiwaniami pasażerów. Kluczowymi obszarami, które mogą kształtować przyszłość przewozów lotniczych, są: zwiększenie autonomiczności, postęp technologii UAV; rozwój zrównoważonych paliw lotniczych (SAF) i technologii ich produkcji; wpływ zmian klimatycznych oraz regulacji środowiskowych; wzrost znaczenia bezpieczeństwa cybernetycznego; zmiany w projektowaniu kabiny pasażerskiej i ulepszenie jej komfortu; dalszy rozwój digitalizacji i usług dla pasażerów oraz zmiany w strukturze rynku lotniczego.

Zwiększenie autonomiczności obejmuje możliwość pełnej autonomii samolotów, co oznaczałoby przeprowadzanie lotów bez bezpośredniego udziału pilota, oraz rozważenie wprowadzenia jednoosobowych załóg do określonych rodzajów operacji, zwłaszcza w transporcie cargo. Postęp w technologii bezałogowych statków powietrznych to rozwój i komercjalizacja bezałogowych systemów dostarczania towarów, szczególnie na ostatnim etapie (*last mile delivery*), oraz rozwój miejskich UAM, takich jak taksówki latające i małe samoloty elektryczne.

Natomiast rozwój SAF i technologii ich produkcji obejmuje integrację oraz komercjalizację zrównoważonych paliw lotniczych, które mogą spowodować znaczące zmniejszenie śladu węglowego w lotnictwie, oraz rozwój samolotów elektrycznych i hybrydowych, które mogą zmienić oblicze krótkich i średnich tras. Wpływ zmian klimatycznych i regulacji środowiskowych odnosi się do oczekiwanego wprowadzenia bardziej rygorystycznych przepisów, które będą wymagać zmniejszenia emisji CO₂ przez linie lotnicze, oraz do konieczności dostosowania samolotów i infrastruktury lotniskowej do ekstremalnych warunków pogodowych spowodowanych zmianami klimatycznymi.

Wzrost znaczenia bezpieczeństwa cybernetycznego jest wynikiem rosnącej zależności od systemów informatycznych, co sprawia, że ochrona przed cyberatakami stanie się jednym z priorytetów bezpieczeństwa lotniczego. Zmiany w projektowaniu kabiny pasażerskiej i poprawa jej komfortu powinny uwzględniać m.in. nowy układ miejsc dla zwiększenia prywatności i wygody pasażerów oraz zaawansowane systemy filtracji powietrza, a także rozwiązania mające na celu poprawę higieny wewnątrz samolotów.

Dalszy rozwój digitalizacji i usług dla pasażerów obejmuje postęp w zakresie personalizowanych doświadczeń pasażerów, za pomocą aplikacji mobilnych,

biometrii i automatyzacji, oraz rozwój technologii bezdotykowych w obszarach takich jak odprawa i kontrola bezpieczeństwa. Zmiany w strukturze rynku lotniczego mogą oznaczać dalszą konsolidację branży z mniejszą liczbą, ale potężniejszych, graczy na rynku oraz pojawienie się nowych linii lotniczych skoncentrowanych na innowacyjnych modelach biznesowych i technologiach.

Tworzenie przyszłych scenariuszy wymaga uważnej analizy aktualnych trendów, danych statystycznych, zmian w prawodawstwie, a także przewidywań ekonomicznych i społecznych. Kluczem jest adaptacja do zmieniających się warunków i gotowość na wprowadzenie innowacji w celu sprostania nadchodzącym wyzwaniom.

2.17. Badania aspektów bezpieczeństwa redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich oraz cargo przy wykonywaniu lotów bezałogowych i statków powietrznych z jednym pilotem

Rozwój techniki sprawił, iż z biegiem lat drony zaczęły pojawiać się w przestrzeni powietrznej coraz częściej, w związku z tym liczba incydentów z ich udziałem wzrastała. Zaczęto więc szukać możliwości poprawy tej sytuacji. Stwierdzono, że samo inwestowanie w poprawę infrastruktury powietrznej jest niewystarczające. Urząd Lotnictwa Cywilnego (ULC) opracował podstawy bezpieczeństwa w obsłudze dronów skupiające się na określeniu zakresu odpowiedzialności, jaką ponoszą użytkownicy tych pojazdów oraz wydzieleniu obszarów przestrzeni powietrznej przeznaczonych dla użytkownika⁵³. Dodatkowo ULC wprowadził obowiązek licencjonowania w przypadku wykorzystywania dronów do celów komercyjnych⁵⁴. Planując ich używanie w celach prywatnych, użytkownik powinien zapoznać się z zasadami bezpieczeństwa korzystania z bezałogowego statku powietrznego.

Jednym z narzędzi służących do propagowania bezpieczeństwa w obsłudze drona była kampania przeprowadzona przez ULC. Celem jej było uświadomienie wszystkim użytkownikom dronów, że latanie nimi to ogromna przyjemność, ale też duża odpowiedzialność, a brak wiedzy na temat przepisów lotniczych może stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa użytkowników przestrzeni powietrznej. W kampanii ULC zwrócił uwagę na różnice między lataniem rekreacyjnym

⁵³ Są miejsca i strefy, w których bez odpowiedniej zgody loty dronami są zakazane. Należą do nich między innymi tereny wojskowe, parki narodowe, miejsca imprez na wolnym powietrzu, lotniska aeroklubowe, wojskowe, sportowe i komunikacyjne.

⁵⁴ W przypadku lotów komercyjnych wymagane jest posiadanie świadectwa kwalifikacji, ubezpieczenia OC, jak również odpowiednie oznaczenie drona, a także jego operatora (np. kamizelka odbłaskowa).

a zarobkowym. Operator drona ponosi odpowiedzialność za ewentualne szkody powstałe w wyniku jego lotu i odpowiada za bezpieczeństwo innych uczestników ruchu lotniczego oraz osób znajdujących się na ziemi.

„Obecność dronów w przestrzeni publicznej podnosi również dyskusję społeczną na temat przewozu ludzi przez drony lub wyposażenia dużych samolotów cargo w bezzałogową awionikę. Społeczeństwo zdążyło się już przyzwyczaić do małych dronów. Kwestie lotu bezpilotowym statkiem powietrznym stanowią odrębną dyskusję. Transport lotniczy uznawany jest obecnie za najbezpieczniejszy środek transportu. Linie lotnicze bardzo dbają o ten wizerunek. Bezpieczeństwo w lotnictwie jest najważniejszą kwestią dla organizacji lotniczych i wprowadzenie bezpilotowych statków powietrznych wiązałoby się z wieloma kwestiami natury materialnej i niematerialnej. Wprowadzenie bezzałogowych samolotów będzie wzorowane na wprowadzaniu nowych modeli statków powietrznych. Plusem usunięcia czynnika ludzkiego z kokpitu będzie ograniczenie występowania błędów ludzkiego, ale zwiększy inne ryzyka. Bezpieczeństwo, określa się jako stan ryzyka akceptowalnego, jest właściwością systemu i jako takie nie podlega planowaniu. Ryzyko jest tym czynnikiem, który można mierzyć oraz wpływać na jego wielkość. Te cechy sprawiają, że bezpieczeństwem można zarządzać, mając na uwadze, iż odnosi się nie tylko do statku powietrznego, ale również do całego systemu lotniczego, na który składają się: statki powietrzne, personel lotniczy i naziemny, cała naziemna i powietrzna infrastruktura oraz wiele innych elementów”⁵⁵. W przypadku bezpilotowych statków powietrznych ryzyko nadal będzie istniało; może jedynie zniknąć z pewnych obszarów, by pojawić się w innych. Zadaniem zespołów wprowadzających bezzałogowe samoloty na rynek lotniczy będzie badanie możliwie największej ilości ryzyk z tym związanych.

Rok 2017 został ogłoszony jako najbezpieczniejszy dla lotnictwa cywilnego⁵⁶, jednak odnosząc się do samej definicji bezpieczeństwa, należy zauważyć, iż nie istnieje stan ryzyka zerowego⁵⁷. To oznacza, że bezpieczeństwo, aby było zachowane na wysokim poziomie, musi być wciąż kontrolowane. Procedury dotyczące bezzałogowych statków powietrznych nie będą doskonałe i będą wymagały ciągłej optymalizacji oraz dostosowywania do zmieniających się warunków w powietrzu. Chodzi tu zarówno o nieprzewidziany ruch w pobliżu dronów, jak i zmienne warunki atmosferyczne. Na pokładach samolotów i lotniskach nadal

⁵⁵ J. Lewitowicz, *Podstawy eksploatacji statków powietrznych*, Warszawa 2006, s. 263.

⁵⁶ Rok 2017 najbezpieczniejszym rokiem w historii lotnictwa, <https://www.gazetaprawna.pl/wiadomosci/artykuly/1095075,rok-2017-najbardziej-bezpiecznym-rokiem-w-dziejach-lotnictwa.html> (dostęp: 9.10.2024).

⁵⁷ A. Bernstein, *Risk in Perspective: Zero Risk is an Impossible Dream*, <https://scimoms.com/zero-risk-impossible/> (dostęp: 9.05.2020).

mogą pojawiać się niespodziewane zagrożenia wynikające z niedopełnienia procedur, pozostawienia narzędzi w niewłaściwych miejscach czy przekroczeń w zakresie eksploatacji. Szczególnie groźne są jednak te niewidoczne gołym okiem, często wynikające z błędów ludzkich.

Trudno przewidzieć, kiedy bezzałogowe samoloty zdobędą pełne zaufanie pasażerów, co będzie możliwe jedynie przy zapewnieniu najwyższego poziomu bezpieczeństwa. W dzisiejszym lotnictwie cywilnym bezpieczeństwo jest ściśle powiązane z kulturą bezpieczeństwa. Osiągnięcie pożądanego poziomu bezpieczeństwa wymaga wprowadzenia jej zasad w odniesieniu do całego systemu bezzałogowych statków powietrznych oraz do świadomości pasażerów. Kultura bezpieczeństwa, która od dekad funkcjonuje w lotnictwie cywilnym i gwarantuje bezpieczne użytkowanie samolotów, musi zostać implementowana także w dziedzinie dronów, które stają się integralną częścią systemu lotniczego.

Według *Słownika języka polskiego* kultura jest to „materialna i umysłowa działalność społeczeństw oraz jej wytwory. Kultura również określa społeczeństwo rozpatrywane ze względu na jego dorobek materialny i umysłowy”⁵⁸. „Kultura w lotnictwie definiowana jest jako normy społeczne i systemy wartości stymulujące uczestników ruchu lotniczego, właściwy klimat organizacyjny, sposób zarządzania, podzielane znaczenia i symbole, schematy poznawcze, wymogi, zachowania”⁵⁹. Polega ona na niepisanych, często podświadomych zasadach, które wypełniają przestrzeń między procedurami a rzeczywistością⁶⁰. Określa się ją jako system wzorów myślenia i działania, które są utrwalone w środowisku społecznym organizacji lotniczej i mają znaczenie dla realizacji jej formalnych celów⁶¹. Najtrafniej definiuje ją sformułowanie IAEA: „Kultura bezpieczeństwa jest to poziom bezpieczeństwa, jaki każdy z nas utrzymuje, myśląc, że nikt na niego nie patrzy”⁶².

Powyższa identyfikacja kultury bezpieczeństwa powstała w następstwie badań przyczyn katastrofy atomowej w Czarnobylu⁶³. Raport IAEA wskazuje, iż musi być postrzegana jednocześnie indywidualnie i grupowo. Agencja sugeruje pożądaną kierunek podejścia organizacji do kultury bezpieczeństwa, którą rozważa się w dwóch obszarach: ogólnego nastawienia zarządzających oraz zachowań i postaw każdego pracownika. Kultura bezpieczeństwa funkcjonuje w dwóch

⁵⁸ <https://sjp.pwn.pl/sjp/kultura;2565197.html> (dostęp: 1.10.2019).

⁵⁹ B. Nogalski, *Kultura organizacyjna, duch organizacji*, Bydgoszcz 1998, s. 105.

⁶⁰ L. Zbiegień-Maciąg, *Kultura w organizacji*, Warszawa 1999, s. 15.

⁶¹ C. Sikorski, *Kultura organizacyjna*, Warszawa 2012, s. 4.

⁶² https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1329_web.pdf (dostęp: 9.10.2024).

⁶³ IAEA, *Safety culture in nuclear installations. Guidance for use in the enhancement of safety culture*, Vienna 2002, s. 5, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1329_web.pdf (dostęp: 20.02.2020).

warstwach: zarządczej i behawioralnej⁶⁴. Identyfikując ją, należy mieć na uwadze, iż obejmuje ona zagadnienia bezpieczeństwa, dodatkowo jednak wpływa na inne obszary związane z ekonomią czy też zarządzaniem zasobami ludzkimi. Innymi słowy, kultura bezpieczeństwa charakteryzuje się wielowymiarowością.

Pojęcie kultury bezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym zyskało formalne uznanie wraz z wprowadzeniem w 2013 r. załącznika 19. do konwencji chicagowskiej. Chociaż towarzyszyła ona lotnictwu od jego początków w sposób nieformalny, sama jej koncepcja jest stosunkowo nowa i ściśle powiązana z zarządzaniem bezpieczeństwem, także w kontekście obsługi dronów.

W zarządzaniu bezpieczeństwem bezałogowych statków powietrznych priorytetowe znaczenie ma właśnie kultura bezpieczeństwa. Jest to zjawisko niematerialne, ale mające realny wpływ na funkcjonowanie dronów. Mogą one działać w przestrzeni publicznej tylko wtedy, gdy bezpieczeństwo ich użytkowania stanie się normą społeczną i zrębem systemu wartości dla ich operatorów. Kultura bezpieczeństwa w obsłudze dronów opiera się na niepisanych, często podświadomych zasadach, które wypełniają lukę między formalnymi regulacjami a praktyką. Można ją określić jako zbiór wzorców myślenia i działania, które są zakorzenione w danej społeczności. Jest to zestaw podstawowych założeń dotyczących bezpieczeństwa, które dana grupa odkryła, stworzyła lub rozwinęła w odpowiedzi na wyzwania wewnętrzne i zewnętrzne. Założenia te sprawdziły się, uznano je za obowiązujące i są przekazywane nowym członkom grupy jako odpowiedni sposób percepcji⁶⁵. Kultura dotyczy wspólnych poglądów, ideologii, wartości, przekonań, oczekiwań i norm.

„Zdefiniowanie pojęcia kultury bezpieczeństwa w lotnictwie nie jest proste, ponieważ zawiera ono wiele aspektów i występuje pod wieloma postaciami. Brytyjska Komisja Zdrowia określiła kulturę bezpieczeństwa jako produkt indywidualnych i grupowych wartości, postaw, postrzegania, kompetencji i wzorów zachowań określających zaangażowanie oraz sposób zarządzania bezpieczeństwem organizacji. Kultura bezpieczeństwa w obsłudze i korzystaniu z dronów powinna być postrzegana personalnie oraz grupowo”⁶⁶. Organizacja w tym znaczeniu to cały system lotnictwa cywilnego, w którym drony funkcjonują.

„W literaturze obcojęzycznej kulturę bezpieczeństwa określa się jako «safety culture». Jest to sposób, w jaki bezpieczeństwo jest postrzegane i traktowane w organizacji, odzwierciedla nastawienie pracowników do bezpieczeństwa na wszystkich

⁶⁴ *Safety Culture. A Report by the International Nuclear Safety Advisory Group*, Safety Series No. 75-INSAG-4, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub882_web.pdf (dostęp: 20.10.2024).

⁶⁵ *Encyklopedia zarządzania*, https://mfiles.pl/pl/index.php/Kultura_organizacyjna (dostęp: 14.12.2018).

⁶⁶ P. Kowalski, *Kultura bezpieczeństwa*, <http://kulturabezpieczenstwa.pl/bezpieczenstwo/835-kultura-bezpieczenstwa> (dostęp: 12.12.2018).

jej poziomach”⁶⁷. Kreuje ona zachowania pracowników w organizacji, a pracownicy kreują kulturę. Nieodłączną jej częścią jest tzw. świadomość bezpieczeństwa.

Jednym z aspektów bezpieczeństwa w użytkowaniu bezzałogowych statków powietrznych jest także zarządzanie nim, które obejmuje identyfikację zagrożeń oraz likwidację wszelkich luk w strukturze obronnej systemu. Potrzeba wprowadzenia w działalności lotniczej zarządzania bezpieczeństwem była poparta faktami związanymi z rozwojem branży lotniczej. W odniesieniu do systemów bezzałogowych zidentyfikowanie nowych rodzajów zagrożeń jest zadaniem podstawowym.

Zarządzanie bezpieczeństwem jest obecnie podstawą osiągnięcia lepszych wyników finansowych przez organizacje lotnicze. Jest ono realizowane poprzez określony system – SMS, którego wdrożenia wymaga od zarządzających organizacjami lotniczymi Rada ICAO. Jest on definiowany jako systemowe podejście do zarządzania bezpieczeństwem uwzględniające niezbędną strukturę organizacyjną, przypisanie odpowiedzialności, politykę oraz procedury. System ten oparty jest na formule proaktywnej, zorientowanej na zapobieganie wypadkom lotniczym poprzez gromadzenie pochodzących z różnych źródeł danych i informacji o potencjalnych zagrożeniach, a następnie ich analizowanie i podejmowanie działań zapobiegawczych (korygujących) adekwatnych do otrzymanych wyników badań. Dokładnie te same narzędzia są stosowane w przypadku bezzałogowych statków powietrznych.

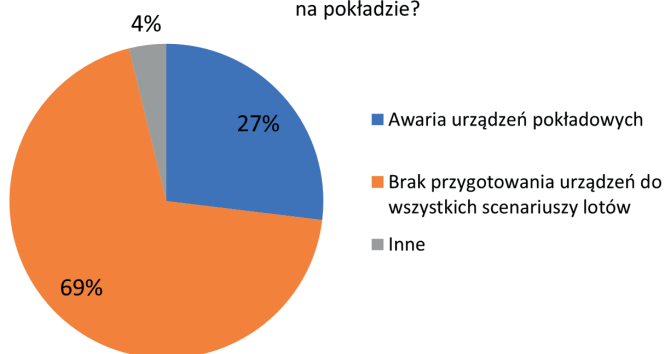
Podsumowując, osoby odpowiedzialne za organizację lotów bezzałogowych muszą reprezentować określone wzorce myślenia i działania oraz ściśle przestrzegać procedur, których pasażerowie powinni być w pełni świadomi. Aby skutecznie wprowadzić samoloty bezzałogowe na rynek, warto zaangażować przyszłych użytkowników, czyli pasażerów, w proces tworzenia procedur bezpieczeństwa. Należy wsłuchać się w ich potrzeby i zrozumieć, jakie czynniki wpływają na ich poczucie bezpieczeństwa. Tego rodzaju informacje powinny być następnie zestawione z obowiązującymi procedurami, co pozwoli na stworzenie grupy świadomych użytkowników, którzy z zaufaniem i satysfakcją skorzystają z transportu bezzałogowymi statkami powietrznymi. Kultura bezpieczeństwa w użytkowaniu dronów jest więc bardzo ważna. Bez niej współczesne standardy bezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym nie mogłyby istnieć.

2.17.1. Prezentacja wyników badań

Analizie poddano czynniki bezpieczeństwa. Zapytano respondentów, jakie sytuacje awaryjne będą miały wpływ na bezpieczeństwo podczas komercyjnych lotów pasażerskich bez obecności pilota na pokładzie (rys. 13).

⁶⁷ J. Reason, *Managing the risks of organizational accidents*, [b.m.w.] 1997, s. 191.

Jakie sytuacje awaryjne Pani/Pana zdaniem będą miały wpływ na bezpieczeństwo podczas komercyjnych lotów pasażerskich bez obecności pilota na pokładzie?



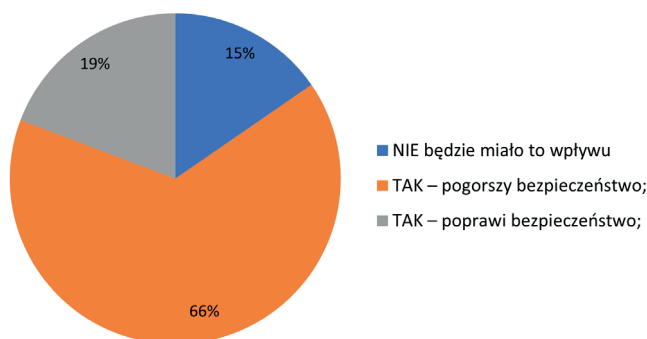
Rysunek 13. Sytuacje awaryjne mogące wpływać na bezpieczeństwo lotów bezpilotowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁶⁸.

69% badanych wskazało, że na bezpieczeństwo podczas komercyjnych lotów pasażerskich bez obecności pilota na pokładzie będzie miał wpływ brak przygotowania urządzeń do wszystkich scenariuszy lotów. 27% respondentów wskazało awarię urządzeń pokładowych. 4% badanych podało inne czynniki.

Następnie zapytano o to, czy komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilota na pokładzie będą miały wpływ na bezpieczeństwo takich lotów (rys. 14).

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilota na pokładzie będą miały wpływ na bezpieczeństwo takich lotów?



Rysunek 14. Wpływ bezpilotowej obsługi na stan bezpieczeństwa lotów

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁶⁹.

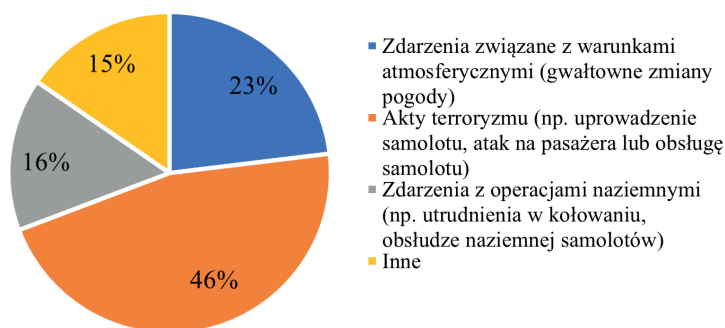
⁶⁸ Raport *Analiza czynników społecznych...*, op. cit.

⁶⁹ Ibidem.

66% respondentów uważało, że fakt, iż loty komercyjne odbywać się będą bez obecności pilota, pogorszy ich bezpieczeństwo. Odmiennego zdania było 19% badanych. 15% respondentów uznało, że brak pilota w lotach komercyjnych nie będzie miał wpływu na ich bezpieczeństwo.

Zadano ankietowanym również pytanie o to, jakie sytuacje kryzysowe podczas komercyjnych lotów pasażerskich bez obecności pilota na pokładzie będą miały wpływ na bezpieczeństwo (rys. 15).

Jakie sytuacje kryzysowe Pani/Pana zdaniem będą miały wpływ na bezpieczeństwo podczas komercyjnych lotów pasażerskich bez obecności pilota na pokładzie?



Rysunek 15. Sytuacje kryzysowe wpływające na bezpieczeństwo lotów bezpilotowych

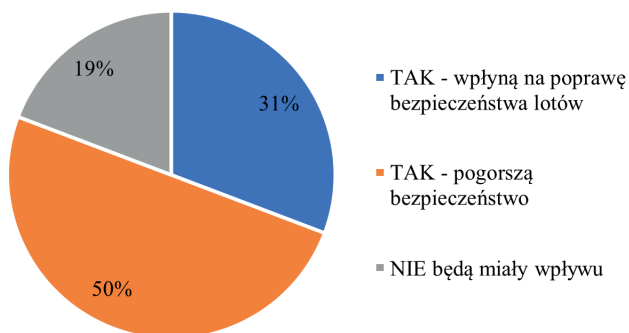
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁷⁰.

Prawie połowa respondentów (46%) uważała, że sytuacjami kryzysowymi, które będą miały największy wpływ na bezpieczeństwo podczas komercyjnych lotów pasażerskich bez obecności pilota na pokładzie, będą akty terroryzmu. 23% badanych w odpowiedzi podało zdarzenia związane z warunkami atmosferycznymi, 16% wskazało zdarzenia związane z operacjami naziemnymi, natomiast 15% – inne zagrożenia.

W dalszej kolejności o tę samą kwestię zapytano respondentów w odniesieniu do komercyjnych lotów pasażerskich z udziałem jednego pilota (rys. 16, 17).

⁷⁰ Ibidem.

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota będą miały wpływ na bezpieczeństwo takich lotów?



Rysunek 16. Wpływ obecności tylko jednego pilota na bezpieczeństwo lotów

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁷¹.

Połowa ankietowanych odpowiedziała, że fakt, iż loty komercyjne odbywać się będą z jednym pilotem, pogorszy ich bezpieczeństwo. Odmiennego zdania było 31% badanych. 19% respondentów uważało z kolei, że nie będzie miał wpływu.

Jakie sytuacje awaryjne Pani/Pana zdaniem będą miały wpływ na bezpieczeństwo podczas komercyjnych lotów pasażerskich z udziałem jednego pilota?



Rysunek 17. Sytuacje awaryjne mogące mieć wpływ na bezpieczeństwo lotów z jednym pilotem

Źródło: opracowanie własne.

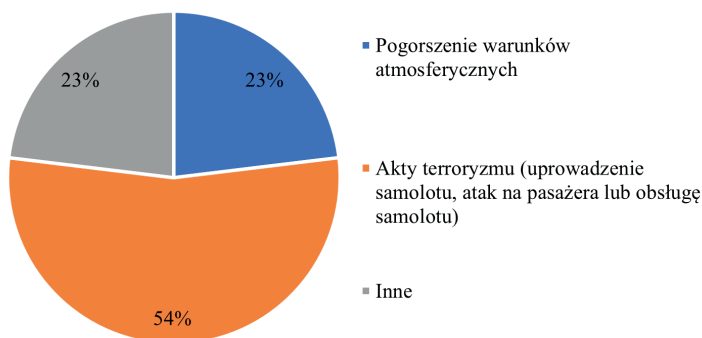
42% respondentów jako sytuację awaryjną w największym stopniu oddziałującą na bezpieczeństwo lotów z udziałem jednego pilota wskazało brak

⁷¹ Ibidem.

przygotowania urządzeń do wszystkich scenariuszy lotów. 35% ankietowanych podało awarię urządzeń pokładowych. 23% zaś wskazało inne odpowiedzi, w tym m.in. nagłe pogorszenie stanu zdrowia pilota, jego utratę przytomności czy brak crosscheck-u.

Rozkład odpowiedzi na pytanie, jakie sytuacje kryzysowe będą miały wpływ na pogorszenie bezpieczeństwa podczas komercyjnych lotów pasażerskich z udziałem jednego pilota, został zaprezentowany na rys. 18.

Jakie sytuacje kryzysowe Pani/Pana zdaniem będą miały wpływ na pogorszenie bezpieczeństwa podczas komercyjnych lotów pasażerskich z udziałem jednego pilota?



Rysunek 18. Sytuacje kryzysowe wpływające na bezpieczeństwo lotu z jednym pilotem

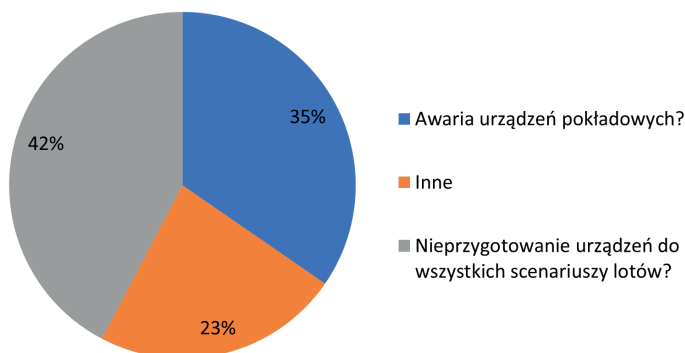
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁷².

Ponad połowa respondentów (54%) uznała, że to akty terroryzmu będą w największym stopniu oddziaływać na pogorszenie bezpieczeństwa podczas komercyjnych lotów pasażerskich z udziałem jednego pilota. 23% wskazało pogorszenie warunków atmosferycznych. Taki sam odsetek badanych podał inne odpowiedzi, m.in. awarie, błąd czy niedyspozycję pilota.

Kolejne pytania dotyczyły czynników oddziałujących na bezpieczeństwo lotniczych przewozów towarowych (cargo) z udziałem jednego pilota (rys. 19, 20).

⁷² Ibidem.

Jakie sytuacje awaryjne Pani/Pana zdaniem będą miały wpływ na bezpieczeństwo podczas lotniczych przewozów towarowych (cargo) z udziałem jednego pilota?

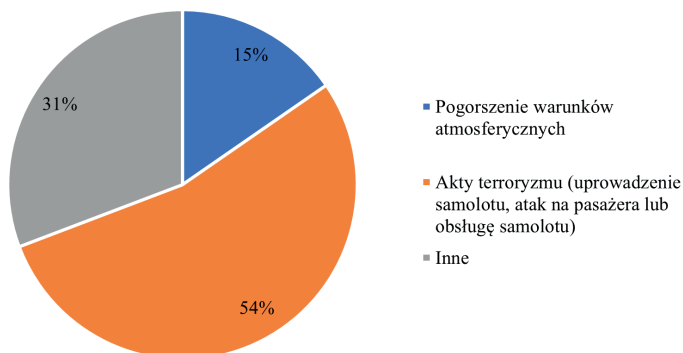


Rysunek 19. Sytuacje awaryjne wpływające na bezpieczeństwo przewozów towarowych z jednym pilotem

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁷³.

Na pytanie, jakie sytuacje awaryjne będą miały wpływ na bezpieczeństwo podczas lotniczych przewozów towarowych (cargo) z udziałem jednego pilota, 42% badanych odpowiedziało, podając nieprzygotowanie urządzeń do wszystkich scenariuszy lotów. 35% wskazało awarię urządzeń pokładowych. 23% respondentów udzieliło innej odpowiedzi, m.in. związanej z czynnikiem ludzkim czy brakiem crosscheck-u.

Jakie sytuacje kryzysowe Pani/Pana zdaniem będą miały wpływ na bezpieczeństwo podczas lotniczych przewozów towarowych (cargo) z udziałem jednego pilota?



Rysunek 20. Sytuacje kryzysowe wpływające na bezpieczeństwo przewozów towarowych z jednym pilotem

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁷⁴.

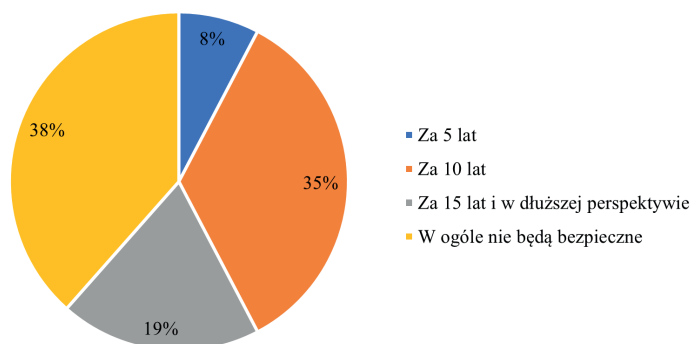
⁷³ Ibidem.

⁷⁴ Ibidem.

Jako sytuację kryzysową w największym stopniu oddziałującą na bezpieczeństwo lotniczych przewozów towarowych (cargo) z udziałem jednego pilota 54% respondentów wskazało akty terroryzmu. 15% badanych podało pogorszenie warunków atmosferycznych. 31% z kolei udzieliło innej odpowiedzi, m.in. związanej z czynnikiem ludzkim czy awariami.

Tytułem podsumowania części poświęconej czynnikom oddziałującym na bezpieczeństwo lotów bez obecności pilota na pokładzie lub z udziałem jednego pilota zapytano o to, kiedy – według respondentów – takie loty będą bezpieczne (rys. 21, 22).

Kiedy Pani/Pana zdaniem loty bez obecności pilota na pokładzie będą bezpieczne?



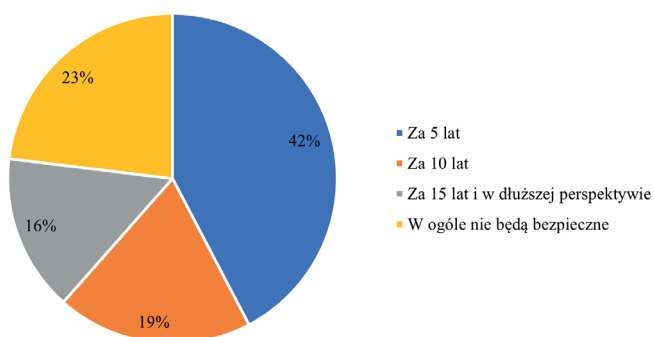
Rysunek 21. Ramy czasowe wdrożenia bezpiecznych lotów bezałogowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu⁷⁵.

Jedynie 5% respondentów uznało, że loty bez pilota na pokładzie będą bezpieczne za 5 lat. 35% badanych wskazało, że stanie się to za 10 lat, a 19%, że za 15 lat lub więcej. 38% ankietowanych uważało, że takie loty w ogóle nie będą bezpieczne.

⁷⁵ Ibidem.

Kiedy Pani/Pana zdaniem loty z udziałem jednego pilota na pokładzie będą bezpieczne?



Rysunek 22. Ramy czasowe wdrożenia bezpiecznych lotów z jednym pilotem

Źródło: opracowanie własne.

Z kolei 42% badanych stwierdziło, że loty z udziałem jednego pilota będą bezpieczne za 5 lat. 19% było zdania, że stanie się to za 10 lat, a 16%, że za 15 lat lub później. 23% respondentów uznało, że takie loty w ogóle nie będą bezpieczne.

ROZDZIAŁ 3

ASPEKTY PRAWNE I REGULACYJNE

Wprowadzenie pasażerskich i cargo przewozów lotniczych z systemami bezzałogowymi oraz załogami jednoosobowymi wiąże się z wieloma wyzwaniem prawnymi i regulacyjnymi. Kluczowe kwestie, które trzeba wziąć pod uwagę, obejmują zmiany w przepisach lotniczych, kwestie odpowiedzialności prawnej, bezpieczeństwo i cyberbezpieczeństwo, międzynarodowe standardy, akceptację społeczną, etykę, standardy operacyjne, a także szkolenie, certyfikację i integrację z obecnym systemem przestrzeni powietrznej

Zmiany w przepisach lotniczych obejmują certyfikację sprzętu i systemów, która wymaga zatwierdzenia przez odpowiednie agencje regulacyjne, takie jak FAA w USA⁷⁶ czy EASA w Europie⁷⁷, aby zapewnić niezawodność i bezpieczeństwo. Prawa i obowiązki pilotów muszą zostać przeddefiniowane w kontekście załogi jednoosobowej, a przepisy powinny uwzględniać nowe scenariusze awaryjne związane z systemami bezzałogowymi.

Odpowiedzialność prawna dotyczy jasnego określenia, kto ponosi odpowiedzialność za wypadki lub incydenty z udziałem samolotów bezzałogowych – operatorzy, producenci czy oprogramowanie AI – oraz dostosowania nowych typów polis ubezpieczeniowych.

⁷⁶ Federal Aviation Administration (FAA) to agencja rządowa Stanów Zjednoczonych odpowiedzialna za regulacje i nadzór nad lotnictwem cywilnym w USA. Jest częścią Departamentu Transportu Stanów Zjednoczonych i zajmuje się szerokim zakresem kwestii związanych z lotnictwem, w tym certyfikacją statków powietrznych i personelu, kontrolą ruchu lotniczego, bezpieczeństwem lotniczym, a także rozwojem i zarządzaniem infrastrukturą lotniczą. FAA odgrywa kluczową rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa i efektywności w amerykańskiej przestrzeni powietrznej oraz jest ważnym organem w globalnym sektorze lotniczym.

⁷⁷ European Union Aviation Safety Agency (EASA, Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego) to agencja Unii Europejskiej odpowiedzialna za regulacje i nadzór nad bezpieczeństwem lotniczym w Europie. Jej głównym zadaniem jest promowanie najwyższych standardów tego bezpieczeństwa oraz ochrona środowiska w sektorze lotnictwa cywilnego. EASA zajmuje się certyfikacją samolotów i komponentów lotniczych, opracowywaniem przepisów technicznych, inspekcjami, a także zapewnieniem współpracy międzynarodowej w zakresie standardów bezpieczeństwa lotniczego. Agencja ta odgrywa kluczową rolę w harmonizacji przepisów lotniczych w krajach członkowskich UE.

Bezpieczeństwo i cyberbezpieczeństwo wymagają ochrony systemów przed atakami cybernetycznymi, które mogłyby przejąć kontrolę nad samolotem lub zakłócić jego systemy nawigacyjne. Przepisy muszą chronić prywatność pasażerów w kontekście gromadzenia i przetwarzania danych przez systemy autonomiczne.

W odniesieniu do standardów międzynarodowych niezbędne jest zharmonizowanie przepisów, aby umożliwić loty bezzałogowe i jednoosobowe w różnych przestrzeniach powietrznych bez konieczności zmian regulacji przy każdym przekroczeniu granicy.

Przyjęcie przez społeczeństwo tych technologii wymaga dostosowania regulacji w celu budowania zaufania społecznego do nowych metod przewozu.

Etyka i standardy operacyjne obejmują ustalenie, jak systemy autonomiczne podejmują decyzje w sytuacjach krytycznych typu nieuniknione zderzenie. Etyka w kontekście tych systemów odnosi się do zasad kierujących decyzjami podejmowanymi przez nie, zwłaszcza w sytuacjach, w których trzeba dokonać wyboru między różnymi opcjami mogącymi mieć moralne konsekwencje. Na przykład, w sytuacji nieuniknionego zderzenia system autonomiczny, jak autonomiczny samochód, musi zdecydować, jakie działania podjąć, aby zminimalizować szkody. W takich przypadkach kwestie etyczne obejmują decyzje, kogo chronić (np. pasażera czy pieszego), jakie ryzyko zaakceptować i jak hierarchizowane są różne zasady moralne.

Standardy operacyjne z kolei odnoszą się do technicznych i regulacyjnych wytycznych, które określają, jak systemy autonomiczne mają działać, bazując na tych etycznych zasadach. Na przykład, mogą istnieć zasady mówiące, że system autonomiczny powinien zawsze minimalizować liczbę ofiar, niezależnie od tego, kto znajduje się w niebezpieczeństwie.

Zatem etyka i standardy operacyjne odgrywają kluczową rolę w ustaleniu, jak systemy autonomiczne podejmują decyzje w sytuacjach krytycznych. Etyczne ramy określają, jakie wartości mają być priorytetowe, np. ochrona życia, redukcja szkód czy ochrona własności, natomiast standardy operacyjne definiują, jak te wartości są technicznie wdrażane w działanie systemu. W sytuacjach takich jak nieuniknione zderzenie, system musi podejmować decyzje oparte na zestawie zasad etycznych, które wpływają na wybór między różnymi scenariuszami działania.

To pokazuje, jak etyka wpływa na podejmowanie decyzji przez systemy, a standardy operacyjne pomagają w realizacji tych decyzji w praktyce.

Szkolenie i certyfikacja wymagają opracowania dla operatorów systemów bezzałogowych oraz jednoosobowych załóg lotniczych nowych programów szkoleniowych, które obejmują zarządzanie systemami autonomicznymi.

Integracja z istniejącym systemem przestrzeni powietrznej obejmuje ATM, w którym samoloty bezzałogowe i jednoosobowe muszą współpracować z tradycyjnymi samolotami oraz systemem zarządzania ruchem lotniczym, a także

dostosowanie przepisów dotyczących lotów Visual Flight Rules (VFR) i Instrument Flight Rules (IFR) do operacji bezzałogowych⁷⁸.

Podsumowując, rozwój regulacji prawnych dotyczących bezzałogowych i jednoosobowych przewozów lotniczych wymaga przemyślanej, holistycznej strategii uwzględniającej postęp technologiczny, bezpieczeństwo, prywatność oraz etykę. Współpraca międzynarodowa, przejrzyste procesy legislacyjne i zaangażowanie wszystkich zainteresowanych stron mają bardzo duże znaczenie dla stworzenia trwałego, bezpiecznego systemu przewozów lotniczych przyszłości.

3.1. Przegląd istniejących ram prawnych

Przegląd istniejących ram prawnych w kontekście możliwości wprowadzenia przewozów lotniczych pasażerskich i cargo obsługiwanych przez systemy bezzałogowe oraz jednoosobowe załogi lotnicze obejmuje analizę przepisów krajowych i międzynarodowych, a także trendów w regulacjach branżowych. Wiele z tych przepisów jest wciąż w fazie rozwoju, ponieważ technologia bezzałogowa i jednoosobowa jest stosunkowo nowa w komercyjnych operacjach lotniczych. Kluczowymi obszarami istniejących ram prawnych są międzynarodowe konwencje lotnicze, przepisy krajowe, standardy branżowe, kwestie odpowiedzialności i ubezpieczeń, bezpieczeństwo i cyberbezpieczeństwo oraz przyszłe wyzwania.

Międzynarodowe konwencje lotnicze, takie jak konwencja chicagowska z 1944 r.⁷⁹, która reguluje międzynarodowe lotnictwo cywilne, nie przewidują

⁷⁸ Visual Flight Rules (VFR) i Instrument Flight Rules (IFR) to dwa podstawowe zbiory przepisów dotyczących sposobu prowadzenia lotów. 1. VFR. a. Definicja. VFR to przepisy umożliwiające pilotom prowadzenie lotów przy wykorzystaniu widoczności do nawigacji. b. Warunki. VFR wymagają odpowiednich warunków widoczności i zachowania określonej odległości od chmur. c. Zastosowanie. Zazwyczaj stosowane przez samoloty lekkie, mniejsze samoloty komercyjne lub prywatne, w dobrych warunkach pogodowych. 2. IFR. a. Definicja. IFR to przepisy pozwalające na prowadzenie lotów wyłącznie na podstawie odczytów instrumentów pokładowych. b. Warunki. Umożliwiają loty w niemal każdym warunkach pogodowych, w tym w trudnej widoczności i chmurach. c. Zastosowanie. Stosowane głównie przez większe samoloty komercyjne, zwłaszcza na długich trasach i w zróżnicowanych warunkach pogodowych. Wybór między VFR a IFR zależy od warunków pogodowych, rodzaju samolotu, kwalifikacji pilota oraz planowanej trasy lotu.

⁷⁹ Konwencja chicagowska z 1944 r. – pospolita nazwa „Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym”, która jest jednym z najważniejszych dokumentów regulujących lotnictwo międzynarodowe. Ustanowiła ona zasady i standardy dla lotów międzynarodowych oraz przyczyniła się do powstania ICAO nadzorującej jej implementację. Konwencja reguluje między innymi kwestie

obecnie bezzałogowych przewozów lotniczych w przestrzeni międzynarodowej. ICAO⁸⁰ zaczyna rozważać, jak mogłaby przebiegać w przestrzeni międzynarodowej integracja UAS i załóg jednoosobowych.

W kontekście przepisów krajowych w USA FAA stopniowo wprowadza przepisy dotyczące bezzałogowych statków powietrznych, głównie w zakresie bezpieczeństwa, certyfikacji i operacji. EASA w Europie również rozwija przepisy dla operacji UAS i rozważa kwestie związane z załogami jednoosobowymi w przewozach komercyjnych. Różne kraje mają odmienne podejścia do bezzałogowych systemów lotniczych, a wiele z nich prowadzi badania pilotażowe lub opracowuje specyficzne dla siebie przepisy.

Standardy branżowe, tworzone przez organizacje takie jak RTCA i EUROCAE⁸¹, dotyczą m.in. sprzętu lotniczego; mogą zostać zaadoptowane lub zalecone przez agencje regulacyjne. ASTM International tworzy standardy, które mogą mieć zastosowanie w odniesieniu do bezzałogowych statków powietrznych i ich komponentów⁸².

Kwestie odpowiedzialności i ubezpieczeń rozstrzyga konwencja montrealaska z 1999 r., która reguluje odpowiedzialność międzynarodowych przewoźników

suwerenności przestrzeni powietrznej, bezpieczeństwa lotów, praw lotniczych i współpracy międzynarodowej w dziedzinie lotnictwa. Jest to kluczowy dokument dla rozwoju bezpiecznego i skutecznego transportu lotniczego na całym świecie.

⁸⁰ International Civil Aviation Organization (ICAO, Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego) to agencja specjalistyczna Organizacji Narodów Zjednoczonych zajmująca się koordynacją i regulacją lotnictwa międzynarodowego. ICAO opracowuje międzynarodowe standardy i zalecenia dotyczące bezpieczeństwa lotniczego, ochrony, efektywności i ochrony środowiska w lotnictwie cywilnym. Organizacja ta ma bardzo ważne znaczenie w promowaniu bezpiecznego i zorganizowanego rozwoju międzynarodowego lotnictwa cywilnego na całym świecie.

⁸¹ Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA) to organizacja non-profit w Stanach Zjednoczonych, która opracowuje standardy w dziedzinie lotnictwa, szczególnie w zakresie systemów komunikacyjnych, nawigacyjnych i nadzorczych w lotnictwie. Jej głównym celem jest zapewnienie wspólnych standardów, które pomagają w integracji i ułatwiają interoperacyjność systemów lotniczych. European Organisation for Civil Aviation Equipment (EUROCAE) to europejski odpowiednik RTCA zajmujący się opracowywaniem standardów technicznych dla lotnictwa cywilnego w Europie. Standardy EUROCAE są często harmonizowane z normami RTCA, co wspiera globalną spójność w technologii lotniczej. EUROCAE skupia się na zapewnieniu, by opracowywane standardy były odpowiednie i skuteczne dla europejskiego sektora lotnictwa cywilnego.

⁸² ASTM International, dawniej znane jako American Society for Testing and Materials, to organizacja międzynarodowa, która opracowuje i publikuje dobrowolne standardy konsensusu technicznego. Jest jedną z największych organizacji tego typu na świecie i ma ważne znaczenie w tworzeniu norm dla wielu branż, w tym materiałów budowlanych, produktów metalowych, systemów paliwowych, lotnictwa i wielu innych. Standardy ASTM są powszechnie uznawane za istotne w zapewnianiu jakości, bezpieczeństwa, efektywności, interoperacyjności produktów i usług na globalnym rynku.

lotniczych za szkody wobec pasażerów i bagażu⁸³. W kontekście UAS i załóg jednoosobowych zasady te mogą wymagać aktualizacji lub reinterpretacji. Istniejące polisy ubezpieczeniowe⁸⁴ mogą nie pokrywać operacji bezzałogowych lub realizowanych przez załogi jednoosobowe, co wymaga stworzenia nowych produktów ubezpieczeniowych⁸⁵.

Przepisy dotyczące ochrony bezzałogowych i jednoosobowych systemów lotniczych przed zagrożeniami cyfrowymi muszą być dostosowane do specyficznych wyzwań, jakie niesie za sobą cyberbezpieczeństwo. Oznacza to, że regulacje muszą uwzględniać dynamicznie rozwijające się metody ataków hakerskich i innych zagrożeń w cyberprzestrzeni, aby skutecznie chronić te systemy przed przejęciem, manipulacją lub zakłóceniem ich działania.

Konieczna jest integracja załóg bezzałogowych i jednoosobowych z kontrolą ruchu lotniczego, ponieważ muszą one współdziałać z załogowymi operacjami lotniczymi oraz z systemami kontroli ruchu lotniczego. Przepisy dotyczące prywatności powinny również uwzględniać zbiór i przetwarzanie danych przez UAS, aby uniknąć naruszenia prywatności.

⁸³ Konwencja montrealaska z 1999 r. („Konwencja o ujednoczeniu niektórych prawideł dotyczących międzynarodowego przewozu lotniczego. Montreal.1999.05.28”) to międzynarodowy traktat, który zmodernizował i zastąpił wcześniejsze przepisy dotyczące odpowiedzialności przewoźników lotniczych w międzynarodowym transporcie powietrznym, zwłaszcza w zakresie szkód wyrządzonych pasażerom, bagażowi i ładunkom. Ustanawia ona zasady odszkodowań i standardy odpowiedzialności, a także procedury dotyczące roszczeń i limitów odpowiedzialności przewoźników. Jest to ważny dokument mający na celu ujednoczenie i uproszczenie zasad odpowiedzialności w międzynarodowym transporcie lotniczym.

⁸⁴ Ubezpieczenia lotnicze są istotnym elementem zarządzania ryzykiem w branży lotniczej. Obejmują one różne rodzaje polis, które zabezpieczają przed potencjalnymi stratami finansowymi wynikającymi z operacji lotniczych. Do głównych rodzajów ubezpieczeń lotniczych należą: 1. Ubezpieczenie kadłuba statku powietrznego – ochrona samolotu przed uszkodzeniami i stratą. 2. Ubezpieczenie od odpowiedzialności cywilnej – ochrona przed roszczeniami związanymi ze szkodami wyrządzonymi osobom trzecim, w tym pasażerom, bagażowi i ładunkom. 3. Ubezpieczenie od odpowiedzialności za produkty – dla producentów sprzętu lotniczego, chroniące przed roszczeniami związanymi z wadami produktów. 4. Ubezpieczenie od wypadków lotniczych – oferuje odszkodowania dla załogi i pasażerów wskutek wypadku.

⁸⁵ W branży lotniczej obowiązuje kilka ważnych konwencji międzynarodowych regulujących kwestie odpowiedzialności i ubezpieczeń, w tym: 1. Konwencja warszawska (1929). Pierwotna konwencja regulująca odpowiedzialność międzynarodowych przewoźników lotniczych za pasażerów, bagaż i ładunek. 2. Konwencja montrealaska (1999). Zaktualizowana wersja konwencji warszawskiej, która zwiększa limity odpowiedzialności i ułatwia proces roszczeń. 3. Konwencja o międzynarodowym ubezpieczeniu lotniczym (1963). Dotyczy kwestii międzynarodowego ubezpieczenia lotniczego. Te konwencje mają kluczowe znaczenie w ujednoczeniu i regulowaniu odpowiedzialności oraz ubezpieczeń w lotnictwie międzynarodowym.

W kontekście przygotowywania regulacji dla nowych technologii lotniczych prawodawcy stają przed wyzwaniem równoważenia innowacji i rozwoju gospodarczego z koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa i ochrony publicznej. Z tego względu istniejące ramy prawne są w stałym procesie oceny i aktualizacji, aby nadążyć za szybko rozwijającymi się technologiami w dziedzinie lotnictwa.

3.2. Obecne możliwości wykonywania przewozów pasażerskich i towarowych cargo z załogą jednoosobową – jednym pilotem

Możliwości wykonywania przewozów pasażerskich i cargo z załogą jednoosobową, tzn. jednym pilotem, mają już obecnie tzw. małe samoloty⁸⁶. Są regulowane konkretnymi przepisami zarówno na poziomie międzynarodowym, jak i krajowym. ICAO w załączniku 6. do „Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym” reguluje eksploatację statków powietrznych; zawiera w nim przepisy dotyczące minimalnych załóg lotniczych. Dokument ten dopuszcza operacje jednoosobowe pod warunkiem spełnienia określonych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i wyposażenia samolotu.

⁸⁶ Małe samoloty są formalnie zdefiniowane w przepisach lotniczych na podstawie różnych kryteriów, takich jak masa, liczba miejsc, przeznaczenie oraz złożoność konstrukcji. Definicje mogą się różnić w zależności od kraju i organizacji regulującej, ale ogólne kategorie są podobne. Przykłady definicji małych samolotów w przepisach lotniczych: 1. FAA – Federal Aviation Regulations (FAR), „Part 1.1: Small Airplane” (mały samolot): Samolot o maksymalnej certyfikowanej masie startowej (MTOW) nieprzekraczającej 12 500 funtów (5670 kg). 2. EASA – regulacje EASA, „Part-NCO (Non-Commercial Operations): Light Aircraft” (lekki samolot): Samolot o maksymalnej certyfikowanej masie startowej (MTOW) nieprzekraczającej 5700 kg (12 566 funtów). 3. Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 1178/2011: Complex Motor-Powered Aircraft (złożony statek powietrzny): Samolot o maksymalnej certyfikowanej masie startowej (MTOW) przekraczającej 5700 kg (12 566 funtów) lub certyfikowany do przewozu więcej niż 19 pasażerów, lub certyfikowany do operacji z załogą więcej niż jednego pilota, lub wyposażony w silnik odrzutowy, bądź więcej niż jeden silnik turbiny. Małe samoloty to te, które nie spełniają tych kryteriów. 4. ULC – Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie klasyfikacji statków powietrznych, samolot lekki: Samolot o maksymalnej certyfikowanej masie startowej (MTOW) nieprzekraczającej 5700 kg (12 566 funtów). 5. ICAO – nie definiuje bezpośrednio małych samolotów, ale kategorie te są odzwierciedlone w różnych załącznikach do konwencji chicałowskiej, które określają wymagania techniczne i operacyjne dla różnych klas statków powietrznych. W przepisach lotniczych małe samoloty są zazwyczaj definiowane jako te o MTOW nieprzekraczającej 5700 kg (12 566 funtów) w Europie i 12 500 funtów (5670 kg) w Stanach Zjednoczonych. Definicje te pomagają określić wymagania operacyjne, certyfikacyjne i szkoleniowe, które są mniej rygorystyczne niż dla większych, bardziej złożonych statków powietrznych.

EASA w ramach przepisów Part-NCC (Non-Commercial Complex) oraz Part-CAT (Commercial Air Transport) pozwala na operacje jednoosobowe. Part-NCC dotyczy operacji niekomercyjnych złożonych statków powietrznych, natomiast Part-CAT odnosi się do przewozów komercyjnych. W obu przypadkach wymagane jest spełnienie odpowiednich wymogów technicznych, operacyjnych, szkoleniowych i sprzętowych.

W Stanach Zjednoczonych FAA reguluje operacje jednoosobowe w ramach przepisów 14 CFR Part 91 oraz 14 CFR Part 135. Część 91. dotyczy operacji ogólnych lotnictwa cywilnego, a 135. odnosi się do przewozów komercyjnych – umożliwia obecność jednoosobowej załogi w małych samolotach, w określonych warunkach. W Polsce ULC implementuje regulacje EASA dotyczące operacji jednoosobowych określonych typów samolotów, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury.

Przykłady małych samolotów obsługiwanych przez jednego pilota to: Cessna 208 Caravan używana do przewozów cargo i pasażerskich, Pilatus PC-12 popularny w lotnictwie biznesowym i regionalnym oraz Beechcraft King Air wykorzystywany zarówno do przewozów pasażerskich, jak i cargo. Wszystkie te samoloty są certyfikowane do operacji jednoosobowych.

Aby zapewnić bezpieczeństwo operacji jednoosobowych, samoloty muszą być wyposażone w zaawansowane systemy autopilota, nawigacji i komunikacji. Piloci mają obowiązek odbyć specjalistyczne szkolenie obejmujące zarządzanie sytuacjami awaryjnymi i obsługę zaawansowanych systemów pokładowych. Ponadto muszą spełniać rygorystyczne normy medyczne, aby zapewnić swą zdolność do samodzielnego zarządzania lotem.

Podstawy prawne i regulacje umożliwiające jednoosobowe operacje lotnicze są dobrze ugruntowane i stosowane, zwłaszcza w przypadku mniejszych samolotów, zarówno w przewozach pasażerskich, jak i cargo. Te przepisy są kluczowe dla zapewnienia, że operacje jednoosobowe są przeprowadzane bezpiecznie i efektywnie, spełniając najwyższe standardy bezpieczeństwa lotniczego⁸⁷.

⁸⁷ Latanie samolotem w załodze jednoosobowej, zwłaszcza w operacjach komercyjnych i cargo, wiąże się z przestrzeganiem określonych przepisów oraz ze spełnieniem szeregu wymagań dotyczących kwalifikacji pilota, wyposażenia samolotu i procedur operacyjnych. Szczegółowe warunki, które musi spełnić pilot, aby latać samolotem w załodze jednoosobowej: 1. Warunki dotyczące pilota. a. Licencje i uprawnienia: licencja pilota zawodowego (CPL) lub licencja pilota linii lotniczych (ATPL) – w zależności od rodzaju operacji i samolotu pilot musi posiadać odpowiednią licencję; uprawnienie do lotów IFR (Instrument Flight Rules) – w przypadku operacji w warunkach IFR pilot musi mieć ważne uprawnienie do lotów według przyrządów; specjalne uprawnienia do latania w załodze jednoosobowej (Single-Pilot Operations) – w niektórych przypadkach może być wymagane dodatkowe uprawnienie do latania jednoosobowego na określonym typie

3.3. Regulacje prawne w zakresie bezzałogowych statków powietrznych

W Polsce szacuje się, że liczba bezzałogowych statków powietrznych (dronów) o masie od 0,25 kg do 600 kg przekracza 100 000. Popularność tych urządzeń stale rośnie, co przekłada się na dynamiczny rozwój sektora gospodarki opartego na dronach. Tendencję tę najlepiej obrazuje zwiększająca się liczba świadectw kwalifikacji niezbędnych do komercyjnego wykorzystywania dronów. W 2013 r. wydano jedynie 9 takich dokumentów, w 2014 r. liczba ta wzrosła do 376, a w 2017 r. osiągnęła wartość 2649. Na początku 2016 r. w Polsce już ponad 6000 osób miało uprawnienia do lotów komercyjnych, a na koniec lipca 2019 r. liczba wydanych świadectw zbliżyła się do 13 000. Według najnowszych danych w 2023 r. liczba certyfikowanych operatorów dronów przekroczyła 25 000.

Rosnąca popularność dronów może znacząco wpłynąć na sposób transportu towarów, generując zmiany porównywalne do tych, które kiedyś przyniosła

samolotu. b. Doświadczenie: minimalna liczba godzin lotu – piloci muszą spełniać minimalne wymagania dotyczące nalotu, które mogą się różnić w zależności od przepisów krajowych i typu operacji; zazwyczaj wymagane jest znaczące doświadczenie, szczególnie w lotach samodzielnych i w warunkach IFR; doświadczenie w lotach na danym typie samolotu – pilot musi mieć odpowiednie doświadczenie w lotach na konkretnym typie samolotu, na którym zamierza latać jako załoga jednoosobowa. c. Szkolenie. Szkolenie typowe (*type rating*) – pilot musi przejść szkolenie dotyczące typu samolotu, które obejmuje operacje jednoosobowe; szkolenie w zakresie zarządzania zasobami w kokpicie (CRM) – szkolenie z CRM dostosowane do operacji jednoosobowych, w celu skutecznego zarządzania zasobami i podejmowania decyzji; szkolenie w zakresie sytuacji awaryjnych – szkolenie w zakresie zarządzania i reagowania na sytuacje awaryjne, w tym procedur awaryjnych specyficznych dla operacji jednoosobowych. d. Kontrole medyczne. Aktualne badania medyczne – pilot musi posiadać aktualne badania medyczne klasy pierwszej (dla operacji komercyjnych) lub klasy drugiej (dla niekomercyjnych), które potwierdzają jego zdolność do wykonywania obowiązków pilota w operacjach jednoosobowych. 2. Warunki dotyczące samolotu. a. Wyposażenie: autopilot – samolot musi być wyposażony w funkcjonalny autopilot, który może przejąć część obowiązków pilota, szczególnie podczas długich lotów i w warunkach IFR; systemy nawigacyjne i komunikacyjne – zaawansowane systemy nawigacyjne i komunikacyjne muszą być na pokładzie, aby zapewnić bezpieczeństwo i efektywność operacji; wyposażenie awaryjne – samolot musi być wyposażony w odpowiednie wyposażenie awaryjne, w tym systemy alarmowe i procedury ratunkowe. b. Procedury operacyjne: dokumentacja operacyjna – samolot i operator muszą posiadać kompletną dokumentację operacyjną, która obejmuje procedury jednoosobowe; manuały i procedury – wszystkie procedury operacyjne muszą być dostosowane do operacji jednoosobowych, w tym checklisty i manuały operacyjne. Spełnienie powyższych warunków jest kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa i efektywności operacji lotniczych z załogą jednoosobową. Pilot musi być dobrze przygotowany i wyposażony, aby poradzić sobie z różnorodnymi sytuacjami, które mogą wystąpić podczas lotu.

motoryzacja. Zwolennicy tej technologii przewidują, że jej rozwój wpłynie na życie społeczeństw w podobny sposób, jak wcześniej upowszechnienie samochodów, telefonów komórkowych czy Internetu.

Istnieją również analogie między początkowym etapem rozwoju transportu kolejowego i samochodowego a współczesnym rozwojem pasażerskiego lotnictwa cywilnego oraz bezzałogowych statków powietrznych. Transport kolejowy i lotniczy opiera się na przewozach masowych do punktów docelowych, co wymaga rozbudowanej infrastruktury i systemów dowozowych, a to wiąże się z dużymi nakładami inwestycyjnymi. Z kolei motoryzacja dotyczy transportu indywidualnego, umożliwiającego przemieszczanie się bez konieczności korzystania z kosztownej infrastruktury przeładunkowej. W tym kontekście rozwój transportu dronowego wykazuje podobieństwa do motoryzacji – może oferować elastyczność i wygodę, przy jednoczesnym braku potrzeby inwestowania w kosztowne systemy dowozowe.

W przeszłości rozwój nowych technologii transportowych, takich jak mechaniczne pojazdy drogowe, budził wiele obaw, co prowadziło do restrykcyjnych regulacji. Przykładem może być Anglia, gdzie takie działania opóźniły rozwój motoryzacji. Podobnie przyszłość transportu dronowego będzie w dużej mierze zależna od reakcji organów publicznych – odpowiednich regulacji prawnych i ich egzekwowania, które mogą wpłynąć na tempo i skalę jego rozwoju.

Nie ulega wątpliwości, że przepisy prawa często nie nadążają za dynamicznie zmieniającą się rzeczywistością społeczną oraz szybkim rozwojem technologicznym. Dobrym przykładem tego zjawiska jest obszar bezzałogowych statków powietrznych. Krajowe regulacje, takie jak rozporządzenie dotyczące wyłączenia stosowania Prawa lotniczego, po kilku latach funkcjonowania przestawały odpowiadać na potrzeby społeczne i wymagania rynku. Choć początkowo sprzyjały rozwojowi branży, umożliwiając powstanie znaczącego rynku dronów, w obecnym kształcie mogłyby wręcz hamować jego dalszy rozwój.

Świadomość tej sytuacji skłoniła państwa Unii Europejskiej do podjęcia prac nad wspólnymi regulacjami. Ujednoczenie zasad użytkowania dronów oraz wprowadzania ich do obrotu, które jest przedmiotem analizy w tej publikacji, należy ocenić zasadniczo pozytywnie. Harmonizacja otoczenia prawnego dla przedsiębiorców i użytkowników prywatnych otwiera możliwość swobodnego operowania na wspólnym rynku, realizując jedną z podstawowych idei integracji europejskiej.

Niemniej jednak proces ten nie był pozbawiony niedociągnięć. Pośpiech w opracowywaniu regulacji przyczynił się do powstania licznych niespójności, braków oraz niekonsekwencji, które można zauważyć zarówno w aktach unijnych, jak i w przepisach krajowych. Badania wskazują również, że nowe

regulacje w zakresie prawa dronów, tworzone z myślą o zapewnieniu bezpieczeństwa, mogą jednocześnie ograniczać potencjał innowacyjny gospodarki. Taki kierunek legislacyjny, choć istotny z punktu widzenia ochrony społecznej, budzi pytania o równowagę między bezpieczeństwem a wspieraniem rozwoju technologicznego.

W kontekście istotnych zmian legislacyjnych w obszarze regulacji dotyczących bezzałogowych statków powietrznych istnieje konieczność opisu nowych rozwiązań prawnych, które wejdą w życie w przewidywalnej przyszłości. Poniżej przedstawiono kluczowe informacje na temat aktualnych regulacji:

- rozporządzenie bazowe 2018/1139⁸⁸; to rozporządzenie unijne weszło w życie 11 września 2018 r. i zastąpiło poprzednio obowiązujące rozporządzenie bazowe 216/2008 (art. 141 w związku z art. 139 ust. 1);
- rozporządzenie wykonawcze 2019/947⁸⁹; to rozporządzenie unijne weszło w życie 1 lipca 2019 r., ale zgodnie z art. 23 ust. 1 akapit 2 stosuje się je od 1 lipca 2020 r.;
- rozporządzenie delegowane 2019/945⁹⁰; to rozporządzenie unijne weszło w życie 1 lipca 2019 r.;
- ustawa Prawo lotnicze⁹¹; to krajowy akt prawny, który zachowuje aktualność;
- rozporządzenie dotyczące wyłączenia zastosowania Prawa lotniczego pozostaje w mocy, jednak od 1 lipca 2020 r., wraz z rozpoczęciem stosowania rozporządzenia wykonawczego 2019/947, zasadniczo przestało obejmować kwestie związane z eksploatacją bezzałogowych statków powietrznych, z wyjątkiem lotnictwa państwowego, w którym nadal obowiązuje; w zakresie konwersji świadectw kwalifikacji rozporządzenie to było stosowane do 1 lipca 2021 r., kiedy przepisy dotyczące wydawania certyfikatów kompetencji dla pilotów bezzałogowych statków powietrznych, określone w rozporządzeniu wykonawczym 2019/947, w pełni weszły w życie⁹².

Przed przejściem do szczegółowego omówienia rozporządzeń wydawanych przez instytucje Unii Europejskiej oraz przepisów prawa krajowego, warto

⁸⁸ Rozporządzenie (UE) 2018/1139, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32018R1139> (dostęp: 9.10.2024).

⁸⁹ Rozporządzenie wykonawcze (UE) 2019/947, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0947> (dostęp: 10.10.2024).

⁹⁰ Rozporządzenie delegowane (UE) 2019/945, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0945> (dostęp: 10.10.2024).

⁹¹ Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. – Prawo lotnicze, <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/prawo-lotnicze-16975592/dz-1> (dostęp: 10.10.2024).

⁹² M. Ostrihansky, M. Szmigiero, *Prawo dronów. Bezzałogowe statki powietrzne w prawie Unii Europejskiej oraz krajowym*, Warszawa 2020.

najpierw krótko przedstawić ich miejsce w hierarchii aktów prawnych obowiązujących w Polsce. Należy również omówić konsekwencje wynikające z tego stanu rzeczy zarówno dla prywatnych operatorów bezzałogowych statków powietrznych, operatorów realizujących loty operacyjne, jak i dla polskiego ustawodawcy.

Od 1 maja 2004 r., czyli od momentu przystąpienia Polski do Unii Europejskiej, w kraju zaczęło obowiązywać, oprócz prawa krajowego i międzynarodowego, także prawo unijne. Miało to szczególne znaczenie dla sektora lotniczego, ponieważ stworzyło nowe perspektywy rozwoju tej branży. Jednocześnie należy zauważyć, że wprowadziło również pewien element dezorientacji. Już przed akcesją Polski do UE w tym obszarze istniał swoisty dualizm prawny, wynikający z faktu, że podmioty działające na rynku były zobowiązane do przestrzegania nie tylko przepisów krajowych, lecz także regulacji wynikających z podpisania przez Polskę 7 grudnia 1944 r. do „Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym”. Zostało wydanych 19 załączników do tej konwencji (niektóre z nich liczą kilka tomów), w których zawarte są tzw. SAPRS⁹³.

Mimo pewnych kontrowersji związanych z implementacją załączników ICAO (np. w Polsce nie są one publikowane w Dzienniku Ustaw, lecz jedynie w Dzienniku Urzędowym ULC), państwa na ogół dążą do dostosowania swojej legislacji do standardów wyznaczonych przez ICAO. Po przystąpieniu Polski do UE dualizm prawny w obszarze lotnictwa przekształcił się w pluralizm systemów prawnych. Ułatwia to fakt, że wszystkie państwa członkowskie UE są stronami konwencji chicagowskiej, co pozwala na harmonizację przepisów unijnych z zaleceniami ICAO.

Jednakże w związku z akcesją Polski do UE, przepisy ustawy Prawo lotnicze, które dotychczas stanowiły podstawę prawną w tym obszarze, w wielu przypadkach zostały zastąpione regulacjami o charakterze ponadnarodowym. Ponieważ w prawie lotniczym dominującą formą aktów prawnych są rozporządzenia, kluczowe staje się zrozumienie hierarchii tych aktów i jej skutków.

Hierarchia aktów prawnych w prawie krajowym jest następująca: Konstytucja RP, ustawy (obowiązujące powszechnie), rozporządzenia (wydawane na podstawie delegacji zawartych w ustawach), akty prawa miejscowego (obowiązujące na terytorium jednostek samorządu terytorialnego – gmin, powiatów

⁹³ Standards and Recommended Practices (SARPS, normy i zalecane praktyki). Jest to termin używany przez ICAO w kontekście bezpieczeństwa i efektywności międzynarodowego transportu lotniczego. SARPS obejmują dwie kategorie: 1. Standardy – specyfikacje, które uznaje się za niezbędne dla bezpieczeństwa i regularności międzynarodowej nawigacji lotniczej; państwa członkowskie są zobowiązane do ich przestrzegania. 2. Zalecane praktyki – specyfikacje, których stosowanie uznaje się za pożądane w celu zapewnienia bezpieczeństwa i efektywności; państwa powinny dążyć do ich wdrożenia.

i województw), akty wewnętrzne. Wszystkie akty inne niż Konstytucja RP muszą być z nią zgodne.

Europejski system prawny w odmienny sposób określa rodzaje i hierarchię aktów prawnych. W ujęciu ogólnym prawo Unii Europejskiej (zwane w tej monografii także prawem europejskim) obejmuje akty prawne wydawane przez instytucje Unii w zgodzie z postanowieniami traktatów. Źródła prawa UE można podzielić na prawo pierwotne, które tworzone jest przez państwa członkowskie, oraz prawo wtórne, ustanawiane przez organy i instytucje Unii.

Do prawa pierwotnego zalicza się traktaty założycielskie, w tym obecnie obowiązujące „Traktat o Unii Europejskiej” oraz „Traktat o funkcjonowaniu Unii Europejskiej”, a także wcześniejsze traktaty z lat 50. i 1992 r., ich zmiany historyczne oraz traktaty akcesyjne umożliwiające państwom przystąpienie do UE. Z kolei prawo wtórne obejmuje wiążące akty, takie jak rozporządzenia, dyrektywy i decyzje, oraz niewiążące, choć mające znaczenie prawne, zalecenia i opinie.

Ponadto pomiędzy prawem pierwotnym a wtórnym w hierarchii lokują się umowy międzynarodowe, które UE zawiera samodzielnie lub jako tzw. umowy mieszane podpisywane wspólnie z państwami członkowskimi.

W ramach prawa Unii Europejskiej, w szczególności w dziedzinie prawa lotniczego, kluczową rolę odgrywają rozporządzenia. Zgodnie z art. 288 Traktatu o Funkcjonowaniu Unii Europejskiej (TFUE), rozporządzenia są aktami prawnymi o charakterze ogólnym, które mają moc wiążącą w całości i są bezpośrednio stosowane we wszystkich państwach członkowskich. Istotne jest podkreślenie, że tę samą moc prawną mają wszystkie rozporządzenia unijne, niezależnie od instytucji, która je przyjęła.

Bezpośrednie stosowanie rozporządzeń UE oznacza, że w hierarchii aktów prawnych znajdują się one powyżej ustaw krajowych oraz aktów wykonawczych. W kontekście prawa lotniczego skutkuje to tym, że w przypadku sprzeczności między regulacjami krajowymi, takimi jak ustawa Prawo lotnicze czy rozporządzenia wydane na jej podstawie, a przepisami unijnymi pierwszeństwo mają rozporządzenia UE. Akty prawne państw członkowskich muszą być dostosowane do prawa unijnego i nie mogą go zmieniać ani precyzować, chyba że samo rozporządzenie wyraźnie dopuszcza takie działanie.

Jak to zostało szerzej określone poniżej, od momentu wejścia w życie rozporządzenia bazowego 2018/1139 Unia Europejska po raz pierwszy objęła swoim prawodawstwem bezzałogowe statki powietrzne o maksymalnej masie startowej MTOM⁹⁴ do 150 kg. Na podstawie upoważnień zawartych w tym rozpo-

⁹⁴ Maximum Take-Off Mass (MTOM, maksymalna masa startowa), odnosi się do maksymalnej masy, z jaką statek powietrzny jest certyfikowany do startu. MTOM obejmuje masę samolotu,

rządzeniu Komisja UE wydała dotychczas dwa akty prawne, które szczegółowo określają zasady certyfikacji, wprowadzania na rynek oraz wykonywania operacji z użyciem bezzałogowych statków powietrznych. Do tej pory obszar ten był regulowany wyłącznie przez prawo krajowe, które teraz będzie wymagało modyfikacji i dostosowania do nowych unijnych przepisów.

W zakresie regulacji prawnych dotyczących stosowania dronów można wyróżnić trzy obszary:

- wynikający z reguł użytkowania bezzałogowych statków powietrznych zgodnie z prawem lotniczym;
- związany z ochroną danych osobowych i szerzej – prywatności;
- związany z ochroną prawa własności (np. posesji).

3.3.1. Regulacja użytkowania bezpilotowych statków powietrznych (BSP) w prawie lotniczym

Obecne regulacje dotyczące użytkowania dronów, określanych w Ustawie z dnia 3 lipca 2002 r. – Prawo lotnicze (Dz.U. 2017.959) są stosunkowo złożone i nieco nieprzejrzyste.

Zgodnie z artykułem 126 ustępami 1 i 2 Prawa lotniczego, wykonywanie lotów bezzałogowymi statkami powietrznymi w polskiej przestrzeni powietrznej jest dozwolone, o ile są one wyposażone w urządzenia umożliwiające lot, nawigację oraz łączność podobne do używanych w załogowych statkach powietrznych wykonujących loty w warunkach widoczności (VFR) lub według wskazań przyrządów (IFR). W ustępie 4 tego artykułu przewidziano, że loty bezzałogowych statków powietrznych, które nie są wyposażone w takie urządzenia, mogą odbywać się jedynie w wyznaczonych strefach przestrzeni powietrznej.

Ustęp 5 tego przepisu przewiduje możliwość wydania rozporządzenia, które miałyby określić szczegółowe zasady dotyczące operacji lotniczych bezzałogowych statków powietrznych. Jednakże takie rozporządzenie dotychczas nie zostało przyjęte, a według obecnych informacji w najbliższym czasie nie planuje się jego wprowadzenia. Wynika to z faktu, że w praktyce nie produkuje się dronów wyposażonych w urządzenia umożliwiające lot zgodnie z zasadami VFR lub IFR, jak jest to w przypadku załogowych statków powietrznych. Przyczyny tego stanu rzeczy są głównie techniczne i ekonomiczne, jednak ich szczegółowa

pasażerów, załogi, bagażu, paliwa i innych ładunków. Jest to kluczowy parametr techniczny każdego statku powietrznego określający jego maksymalne możliwości operacyjne i mający znaczenie dla bezpieczeństwa lotu, wydajności oraz zgodności z przepisami lotniczymi.

analiza nie jest tutaj konieczna. Obecne kierunki rozwoju technologii bezzałogowych, zwłaszcza dążenie do szerokiego stosowania platform autonomicznych, sugerują, że sytuacja ta nie ulegnie istotnej zmianie w najbliższych latach.

W konsekwencji w obecnym stanie prawnym i technologii art. 126 Prawa lotniczego nie stanowi podstawy do korzystania z bezzałogowych statków powietrznych, poza wyznaczaniem wydzielonej strefy powietrznej na podstawie ust. 4, co rzeczywiście znajduje zastosowanie, choć w ograniczonym zakresie (głównie dla lotów poza zasięgiem wzroku operatora BVLOS)⁹⁵.

Podstawę taką daje natomiast Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dn. 26 marca 2013 r. w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków (dalej: rozporządzenie wyłączające) wydane na podstawie delegacji art. 33 ust. 2 Prawa lotniczego. W par. 2 ust. 5 rozporządzenie to wyłącza zastosowanie ww. art. 126 ust. 2–5 Prawa lotniczego wobec bezzałogowych statków powietrznych o masie startowej nieprzekraczającej 150 kg, używanych wyłącznie w operacjach w zasięgu widoczności wzrokowej VLOS⁹⁶. Równocześnie załącznik 6a do rozporządzenia wyznacza „zasady zastępcze”, według których można używać bezzałogowych statków powietrznych w polskiej przestrzeni powietrznej w celach innych niż rekreacyjne i sportowe.

Limit masy do 150 kilogramów wynika z przepisów ustanowionych przez Unię Europejską, w szczególności z rozporządzenia 216/2008 z 20 lutego 2008 r., które ujednoliciła zasady użytkowania statków powietrznych w całej UE. Rozporządzenie to pozostawia państwom członkowskim możliwość regulowania jedynie typów określonych w załączniku II, w tym bezzałogowych statków powietrznych o masie startowej do 150 kg. Warto podkreślić, że zgodnie z jednolitymi przepisami unijnymi nie dopuszcza się wykorzystywania dronów o masie startowej przekraczającej 150 kg. Oznacza to, że obecnie istnieje ścisły

⁹⁵ Beyond Visual Line of Sight (BVLOS) oznacza lot poza zasięgiem wzroku. W kontekście dronów i innych bezzałogowych statków powietrznych, BVLOS odnosi się do operacji, w których dron jest pilotowany poza bezpośrednią widoczność pilota lub operatora. Loty BVLOS wymagają specjalnych zezwoleń i technologii, ponieważ stwarzają dodatkowe wyzwania związane z bezpieczeństwem, komunikacją i nawigacją. Są one kluczowe dla rozwoju wielu zaawansowanych zastosowań dronów, takich jak długodystansowy transport ładunków czy inspekcje.

⁹⁶ Visual Line of Sight (VLOS) oznacza lot w zasięgu wzroku. W kontekście dronów i innych bezzałogowych statków powietrznych, VLOS odnosi się do operacji, w których dron jest pilotowany w obrębie bezpośredniej widoczności pilota lub operatora. Oznacza to, że pilot musi widzieć dron gołym okiem (bez użycia dodatkowych urządzeń, takich jak lornetki czy kamery) w celu utrzymania bezpiecznego sterowania i uniknięcia przeszkód. Loty VLOS są standardową praktyką w wielu zastosowaniach rekreacyjnych i komercyjnych dronów.

limit prawny, który wyklucza cywilne zastosowanie dronów przeznaczonych do przewożenia cięższych ładunków.

Poza kryterium wagowym najważniejsze chyba ograniczenie, wynikające z obecnego brzmienia prawa lotniczego, to zezwolenie wyłącznie na operacje VLOS. Jak już wspomniano, w aktualnym stanie prawnym operacje BVLOS mogą być wykonywane tylko w specjalnie wydzielanych strefach przestrzeni powietrznej. Są one określane na podstawie indywidualnych zamówień przez państwową agencję żeglugi powietrznej⁹⁷ jako instytucję zapewniającą zarządzanie przestrzenią powietrzną. Taki stan rzeczy w praktyce znacząco ogranicza możliwość wykonywania przez drony zadań monitoringowych oraz lotów zautomatyzowanych.

Od 31 grudnia 2020 r. w krajach Unii Europejskiej, a także w Lichtensteinie i Norwegii, obowiązują jednolite przepisy dotyczące dronów, ustanowione na podstawie rozporządzenia delegowanego Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r., dotyczącego bezzałogowych systemów powietrznych i operatorów tych systemów z państw trzecich, oraz rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r., dotyczącego przepisów i procedur eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych.

EASA stworzyła jednolite zasady europejskie, które mają na celu umożliwienie swobodnego ruchu dronów oraz zapewnienie równych warunków dla wszystkich operatorów BSP w Unii Europejskiej. Nowe regulacje umożliwiają operatorom dronów płynne wykonywanie operacji w całej UE oraz rozwijanie działalności związanej z dronami na tym obszarze. Wprowadzone zasady bazują na ocenie ryzyka związanej z eksploatacją dronów i mają na celu zrównoważenie obowiązków producentów oraz operatorów w zakresie bezpieczeństwa, prywatności, ochrony środowiska, redukcji hałasu i bezpieczeństwa.

Operacje BSP podzielono na trzy główne kategorie.

1. Kategoria otwarta – o niskim ryzyku, co oznacza, że nie trzeba składać oświadczeń lub uzyskiwać zezwoleń od ULC. W tej kategorii można wykonywać operacje w zasięgu wzroku pilota lub przy pomocy obserwatora (VLOS) dronami o masie poniżej 25 kg w odległości nie większej niż 120 m od najbliższego punktu powierzchni ziemi. Wymagana jest rejestracja w systemie

⁹⁷ Państwowa agencja żeglugi powietrznej to instytucja rządowa lub organ zarządzający odpowiedzialny za nadzór nad przestrzenią powietrzną danego kraju. Jej głównym zadaniem jest zarządzanie ruchem lotniczym, w tym kontrolowanie i koordynowanie ruchu statków powietrznych, zarządzanie systemami nawigacyjnymi, a także zapewnienie bezpieczeństwa lotów. Agencja ta może również być odpowiedzialna za nadzorowanie lotnisk, certyfikację operatorów lotniczych i personelu, a także przestrzeganie międzynarodowych standardów i regulacji w zakresie lotnictwa. Nazwa i zakres działania takiej agencji mogą się różnić w zależności od kraju.

ULC operatorów BSP, którzy posiadają drony o masie powyżej 250 g lub wyposażone w czujnik do zbierania danych (np. kamerę).

2. Kategoria szczególna – przeznaczona dla operacji o średnim ryzyku, których parametry lotu wychodzą poza kategorię otwartą. Wykonanie operacji wymaga weryfikacji oraz w niektórych przypadkach zgody ULC⁹⁸. Przed wykonaniem operacji w kategorii szczególnej należy dokonać rejestracji operatorów BSP w systemie ULC. W tej kategorii można wykonywać operacje SBSP po spełnieniu wybranego wariantu:
 - złożenia oświadczenia o operacji zgodnej ze scenariuszem standardowym (STS)⁹⁹ lub krajowym scenariuszem standardowym (NSTS)¹⁰⁰;
 - otrzymania zezwolenia na operacje w kategorii szczególnej;
 - uzyskania certyfikatu LUC.
3. Kategoria certyfikowana – obejmuje operacje o wysokim poziomie ryzyka, które wymagają certyfikacji BSP zgodnie z rozporządzeniem 2019/945. W określonych przypadkach, na podstawie oceny ryzyka, właściwy organ może dodatkowo wymagać certyfikacji operatora oraz uzyskania licencji przez pilota BSP. Operacje są klasyfikowane w kategorii certyfikowanej wyłącznie wtedy, gdy spełniają jeden z następujących warunków:
 - odbywają się nad zgromadzeniami osób;
 - dotyczą przewozu osób;
 - obejmują transport materiałów niebezpiecznych, które w razie wypadku mogą stanowić znaczne zagrożenie dla osób trzecich.

⁹⁸ Urząd lotnictwa cywilnego to państwowy organ administracji, który w wielu krajach odpowiada za regulacje i nadzór nad lotnictwem cywilnym. Jego główne zadania to: zapewnienie bezpieczeństwa i efektywności lotów, certyfikacja operatorów lotniczych i personelu, nadzór nad infrastrukturą lotniczą, a także wdrażanie i egzekwowanie krajowych oraz międzynarodowych przepisów lotniczych. Urząd ten może również zajmować się śledzeniem i badaniem incydentów lotniczych oraz promowaniem bezpieczeństwa lotniczego wśród społeczności lotniczej i ogółu społeczeństwa.

⁹⁹ Standard Scenario (STS, scenariusz standardowy) w kontekście lotnictwa, a szczególnie w zakresie operacji dronów, odnosi się do zestawu uprzednio zdefiniowanych warunków operacyjnych, które są uważane za typowe lub standardowe dla określonego rodzaju lotu lub misji. STS często zawiera szczegółowe procedury, wymagania dotyczące sprzętu, kwalifikacji operatorów oraz protokoły bezpieczeństwa. W kontekście regulacji lotów dronów STS-y mogą być wykorzystywane do uproszczenia procesu zatwierdzania lotów przez odpowiednie organy regulacyjne, zapewniając, że operacje te są przeprowadzane w sposób bezpieczny i zgodny z obowiązującymi przepisami.

¹⁰⁰ National Standard Scenario (NSTS) w kontekście operacji dronów jest częścią kategorii szczególnej i dotyczy operacji o średnim ryzyku, których parametry lotu wykraczają poza kategorię otwartą. Wykonanie operacji w ramach NSTS może wymagać weryfikacji, a w niektórych przypadkach zatwierdzenia przez ULC. Operatorzy UAS muszą być zarejestrowani w systemie ULC, aby przeprowadzać operacje w ramach konkretnego NSTS.

3.3.2. Rejestracja operatorów systemów bezzałogowych statków powietrznych

Rejestracji podlegają:

1. Operatorzy BSP wykonujący operacje w kategorii otwartej dronami:
 - które mają MTOM od 250 g lub w przypadku uderzenia mogą przekazać człowiekowi energię kinetyczną o wartości powyżej 80 J;
 - które wyposażono w czujnik zdolny do zbierania danych osobowych (np. kamerę), chyba że dany statek powietrzny spełnia wymogi dyrektywy 2009/48/WE (zabawki).
2. Operatorzy SBSP, jeżeli wykonują operację w kategorii szczególnej bez względu na masę drona.

Warunki rejestracji w systemie drone.ulc.gov.pl:

- pilot musi mieć ukończonych 16 lat;
- operator rejestruje się w systemie, jeżeli jego miejsce zamieszkania to Polska lub jest to jego główne miejsce prowadzenia działalności;
- operatorzy SBSP, którzy są zarejestrowani w innym kraju UE lub EFTA¹⁰¹ i chcą przejść w Polsce szkolenie mogą założyć konto w systemie rejestracji operatorów, podając swój numer operatora z innego kraju UE lub EFTA;
- operatorzy SBSP spoza UE i krajów EFTA mogą dokonać rejestracji w systemie ULC (dotyczy to również Islandii i Szwajcarii), jeżeli zamierzają wykonać pierwszą operację w Polsce;
- operator nie może być zarejestrowany w więcej niż jednym państwie członkowskim.

3.3.3. Szkolenia i egzaminy

Każda osoba chcąca użytkować drona o masie 250 g lub większej przed lotem musi przejść szkolenie online oraz zaliczyć w tym trybie test potwierdzający zdobycie wymaganej wiedzy. Testy są bezpłatne i dostępne w systemie ULC. Kwalifikacje pilota są ważne przez pięć lat. Wyjątkiem są osoby posiadające ważne świadectwa kwalifikacji UAVO; nie muszą one przechodzić szkolenia, ale do 31 grudnia 2021 r. miały obowiązek dokonać konwersji świadectwa kwalifikacji UAVO.

¹⁰¹ European Free Trade Association (EFTA, Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu) to organizacja handlowa utworzona w celu promowania wolnego handlu i integracji gospodarczej między jej członkami. W 2024 r. kraje członkowskie EFTA to: Norwegia, Szwajcaria, Islandia, Liechtenstein. Kraje EFTA nie są członkami Unii Europejskiej, ale współpracują z UE w wielu aspektach, w tym poprzez udział w Europejskim Obszarze Gospodarczym (EOG), który umożliwia im dostęp do jednolitego rynku UE.

Egzamin online składa się z 40 pytań wielokrotnego wyboru, a warunkiem jego zaliczenia jest uzyskanie 75% poprawnych odpowiedzi.

Wymagane są następujące kompetencje dla kategorii otwartej:

- A1 i A3 – szkolenie i test online;
- A2 – szkolenie i test online, ukończenie szkolenia praktycznego w trybie samokształcenia, zaliczenie dodatkowego egzaminu teoretycznego prowadzonego przez wyznaczony podmiot.

Natomiast piloci, którzy chcą latać w kategorii szczególnej, muszą przejść szkolenie oraz zdać egzamin przeprowadzony przez wyznaczony podmiot.

3.3.4. Strefy geograficzne i aplikacje do zgłaszania lotów

Institucją uprawnioną do wyznaczania stref geograficznych w Polsce jest Polska Agencja Żeglugi Powietrznej (PAŻP).

Każdy lot BSP – drona w polskiej przestrzeni powietrznej powinien się odbyć po poinformowaniu PAŻP o zamiarze jego wykonania, za pośrednictwem systemu teleinformatycznego określonego przez Agencję. W praktyce oznacza to, że każdy lot BSP należy poprzedzić zrobieniem zgłoszenia – *check-in* w aplikacji DroneRadar¹⁰².

Operator BSP – drona jest w pełni odpowiedzialny za wykonywaną operację; przed jej wykonaniem musi sprawdzić za pomocą aplikacji DroneRadar lub strony PAŻP dostępność przestrzeni powietrznej (podając parametry planowanego lotu). W niektórych przypadkach może być wymagana zgoda zarządzającego daną przestrzenią powietrzną (lub miejscem).

3.3.5. Ubezpieczenie

Obecnie ubezpieczenie OC operatorów BSP posiadających drony o masie poniżej 20 kg jest dobrowolne. ULC zaleca, aby każdy operator był ubezpieczony.

¹⁰² DroneRadar to aplikacja lub system, który może być używany do monitorowania i zarządzania ruchem dronów, szczególnie w przestrzeni powietrznej, w której konieczne jest koordynowanie lotów dronów z innym ruchem powietrznym. Zależnie od kontekstu DroneRadar może dostarczać informacje o lokalnych regulacjach lotniczych, pomagać w uzyskiwaniu zezwoleń na loty, a także śledzić drony i zarządzać ich lotami w celu zapewnienia bezpieczeństwa i zgodności z przepisami. Jest to przydatne narzędzie zarówno dla hobbystów, jak i profesjonalistów wykorzystujących drony w różnych celach, od fotografii po inspekcje przemysłowe. Z tym że, zgodnie z aktualnymi danymi, działalność tego systemu została zawieszona.

„W zakresie treści rozporządzenia wyłączającego, można wskazać jeszcze trzy znaczące rygory, jakie wprowadza”¹⁰³:

1. Wymóg zapewnienia w każdej fazie lotu bezpiecznej odległości poziomej od osób, mienia, pojazdów, obiektów budowlanych lub innych użytkowników przestrzeni powietrznej niebędących w dyspozycji lub pod kontrolą operatora (pkt 4.1.3 rozporządzenia). Oznacza to teoretycznie, że nie wolno przelatywać dronem bezpośrednio ponad osobami, mieniem, pojazdami lub obiektami budowlanymi, co może w szczególności ograniczać funkcje inspekcyjne dronów.
2. Ograniczenia wykonywania lotów w szczególnych strefach przestrzeni powietrznej, zwłaszcza w strefie kontrolowanej lotniska cywilnego (CTR)¹⁰⁴ i wojskowego (MCTR)¹⁰⁵ oraz strefie ruchu lotniskowego lotniska cywilnego (ATZ)¹⁰⁶ i wojsko-

¹⁰³ P. Rutkowski, M. Zych, S. Kosieleński, T. Drozdowski, *Zastosowanie usług świadczonych z wykorzystaniem bezałogowych statków powietrznych (usługi BSP) dla wzrostu skuteczności i efektywności oraz jakości świadczenia usług publicznych przez samorząd terytorialny, Opracowanie wykonane na zlecenie Ministerstwa Przedsiębiorczości i Technologii w ramach umowy nr DIN/BDG-VIII-POIR-4/18*, Warszawa 2018.

¹⁰⁴ Controlled Traffic Region (CTR, kontrolowany region ruchu) to wydzielona przestrzeń powietrzna wokół niektórych lotnisk, na których ruch lotniczy jest ściśle kontrolowany przez służby kontroli ruchu lotniczego. CTR zazwyczaj obejmuje przestrzeń powietrzną w obrębie kilku mil wokół lotniska, a jej wysokość jest ograniczona. Celem CTR jest zapewnienie bezpiecznego zarządzania ruchem lotniczym w rejonie lotniska, unikanie kolizji i zapewnienie skutecznej koordynacji pomiędzy różnymi statkami powietrznymi. Samoloty operujące w CTR muszą przestrzegać określonych procedur i są zwykle zobowiązane do utrzymywania stałego kontaktu z kontrolerem ruchu lotniczego.

¹⁰⁵ Military Controlled Traffic Region (MCTR) to kontrolowany region ruchu lotniczego wyznaczony wokół obszaru lotniska wojskowego. Tak jak w przypadku cywilnego CTR, MCTR jest wydzieloną przestrzenią powietrzną, w której ruch lotniczy jest ściśle kontrolowany przez służby kontroli ruchu lotniczego, ale w tym przypadku przez służby wojskowe. MCTR ma na celu zapewnienie bezpieczeństwa i efektywnego zarządzania ruchem lotniczym wokół lotnisk wojskowych, a także koordynację pomiędzy ruchem wojskowym a cywilnym. Samoloty wchodzące do MCTR muszą zwykle uzyskać odpowiednie zezwolenie i są zobowiązane do przestrzegania szczególnych procedur oraz utrzymywania kontaktu z kontrolą ruchu lotniczego. Obszary te są często szczegółowo monitorowane i mogą być objęte dodatkowymi obostrzeniami ze względu na specyfikę działań wojskowych.

¹⁰⁶ Aerodrome Traffic Zone (ATZ) to strefa ruchu lotniczego wokół lotniska cywilnego lub wojskowego. Stanowi ją wyznaczony obszar przestrzeni powietrznej, który zapewnia bezpieczne środowisko dla statków powietrznych startujących, lądujących i operujących w bliskim sąsiedztwie lotniska. ATZ ma na celu zapewnienie bezpieczeństwa zarówno w powietrzu, jak i na ziemi, poprzez koordynację ruchu statków powietrznych w rejonie lotniska. W ATZ obowiązują określone procedury lotnicze i komunikacja radiowa, które mają zapobiegać kolizjom oraz innym niebezpiecznym sytuacjom. Rozmiar i kształt ATZ mogą się różnić w zależności od wielkości lotniska, a także rodzaju prowadzonych operacji lotniczych. Samoloty wchodzące do ATZ muszą przestrzegać zasad i procedur obowiązujących w danej strefie, a ich piloci są zobowiązani do utrzymywania kontaktu radiowego z odpowiednią wieżą kontroli lotów lub służbą informacyjną lotniska.

wego (MATZ)¹⁰⁷. W wypadku lotów w strefie CTR loty mogą się odbywać wyłącznie na warunkach określonych przez instytucję zapewniającą służby ruchu lotniczego, natomiast w wypadku stref ATZ, MCTR oraz MATZ wymagają zgody zarządzających daną strefą i mogą się odbywać tylko na ustalonych przez nie warunkach.

Ograniczenia te mają szczególne znaczenie w przypadku stref CTR o charakterze stałym (w przeciwieństwie do stref ATZ i MATZ, które są aktywowane na wniosek i zazwyczaj pozostają nieaktywne przez większość czasu). Strefy CTR obejmują znaczne obszary wokół lotnisk publicznych w Polsce, rozszerzając się na duże polskie miasta, a w niektórych przypadkach niemal całkowicie je obejmując, z wyjątkiem ich peryferii. Dotyczy to takich miast, jak Warszawa, Kraków, Łódź, Wrocław, Gdańsk (Gdynia znajduje się w strefie MCTR), Poznań, Lublin, Bydgoszcz i Radom.

W strefach CTR możliwe jest przeprowadzanie lotów dronami o maksymalnej masie do 25 kg bez potrzeby uzyskiwania dodatkowych zezwoleń pod warunkiem, że operacje odbywają się w odległości większej niż 6 km od granicy lotniska i na wysokości nieprzekraczającej 100 m nad ziemią. Dla mniejszych dronów, o masie startowej do 0,6 kg, możliwe są loty bez konieczności wydawania specjalnych zezwoleń pod warunkiem, że odbywają się one w promieniu do 1 km od lotniska, w odległości 100 m od operatora i na wysokości nie większej niż 30 m ponad najwyższą przeszkodą.

3. Ograniczenia dotyczące lotów dronami nad terenami zamkniętymi, określonymi w art. 2 pkt 9 Prawa geodezyjnego i kartograficznego, oraz nad obszarami i obiektami wymienionymi w art. 5 ust. 1 i 2 Ustawy z 22 sierpnia 1997 r. o ochronie osób i mienia są istotne, dlatego loty w tych strefach mogą być realizowane jedynie za zgodą zarządzających danym obszarem lub w celu spełnienia ich wymagań.

Powyższe ograniczenia są znaczące, ponieważ obejmują szeroki i zróżnicowany katalog miejsc zarządzanych przez różne podmioty. Dotyczą one między

¹⁰⁷ Military Aerodrome Traffic Zone (MATZ) to strefa ruchu lotniczego wyznaczona wokół lotniska wojskowego. Jest to specjalnie określony obszar przestrzeni powietrznej, którego celem jest zwiększenie bezpieczeństwa lotów w rejonie lotniska wojskowego poprzez kontrolę i koordynację ruchu powietrznego. Podobnie jak ATZ w lotnictwie cywilnym, MATZ określa ramy zarządzania ruchem lotniczym wokół lotniska wojskowego, ale bierze pod uwagę specyficzne potrzeby i wymogi operacji wojskowych. W MATZ obowiązują określone procedury dotyczące komunikacji, wejścia, opuszczania oraz lotu w obrębie strefy. Piloci cywilni i wojskowi działający w obrębie MATZ muszą przestrzegać specjalnych instrukcji dotyczących lotów w tej strefie i utrzymywać kontakt z odpowiednimi służbami kontroli ruchu lotniczego. MATZ jest zaprojektowana tak, aby zapewnić bezpieczne współistnienie ruchu cywilnego i wojskowego w przestrzeni powietrznej wokół lotnisk wojskowych.

innymi infrastruktury krytycznej, portów morskich, banków, elektrowni, ciepłowni, ujęć wody, wodociągów, oczyszczalni ścieków, rurociągów, linii energetycznych i telekomunikacyjnych, a także obiektów telekomunikacyjnych, pocztowych, telewizyjnych i radiowych, a nawet muzeów i archiwów narodowych. W związku z tym koordynacja działań w tych obszarach może być skomplikowana, zwłaszcza że niektóre listy obiektów oraz powody ich ochrony mogą być informacjami niejawnymi.

3.3.6. Ochrona danych osobowych i prywatności

Ochrona danych osobowych i prywatności w kontekście użycia dronów to zagadnienie szerokie i skomplikowane. Pomimo tego stanowi ono istotny temat w dyskusjach prowadzonych zarówno w unijnych, jak i polskich instytucjach zajmujących się tym obszarem prawa.

Związek dronów z tematyką ochrony danych osobowych nie wynika bezpośrednio z faktu, że są to obiekty latające, ani z tego, że są bezzałogowe. Jak wspomniano powyżej, BSP są *de facto* tylko platformami dla innych urządzeń i to one mają znaczenie z perspektywy ochrony prywatności, ponieważ pozwalają na rejestrację danych, zwłaszcza zapis dźwięku i obrazu. W tym sensie ocena użycia dronów z perspektywy zasad ochrony danych osobowych ma wiele wspólnego z oceną w tych kategoriach CCTV¹⁰⁸.

Co wyróżnia drony, to przede wszystkim ich wszechstronność i prostota obsługi, które umożliwiają gromadzenie danych w różnych miejscach według własnego wyboru operatora. Dzięki nowoczesnym algorytmom, które automatycznie filtrują, analizują i przetwarzają zebrane informacje, możliwe jest szybkie tworzenie rozbudowanych zbiorów danych. Dodatkowo mobilność dronów w przeciwieństwie do statycznych kamer monitoringu umożliwia ich użycie do obserwacji w sytuacjach prywatnych, także w takich, w których osoby obserwowane nie będą tego świadome.

¹⁰⁸ Closed Circuit Television (CCTV) to system monitoringu wideo, który jest używany do obserwacji oraz nagrywania obszarów w celach bezpieczeństwa i nadzoru. System CCTV składa się z kamer wideo, które transmitują obraz do określonego miejsca, umożliwiając obserwację i rejestrację wizualną aktywności w monitorowanym obszarze. Są one szeroko stosowane w różnych miejscach, takich jak sklepy, biura, budynki publiczne, parkingi, stacje kolejowe i wiele innych. Odgrywają ważną rolę w zapobieganiu przestępczości, zwiększaniu bezpieczeństwa i gromadzeniu dowodów. Nowoczesne systemy CCTV mogą mieć takie funkcje jak rozpoznawanie twarzy, analiza ruchu, zdalny dostęp i wysoka rozdzielczość obrazu.

Obecne zasady ochrony danych osobowych na poziomie unijnym ujęte są w dyrektywie 95/46/WE z 24 października 1995 r. w sprawie ochrony osób fizycznych w zakresie przetwarzania danych osobowych i swobodnego przepływu tych danych, a w prawie polskim implementuje je Ustawa z dnia 29 sierpnia 1997 r. o ochronie danych osobowych (Dz.U. 2016.922 t.j.; dalej UODO). Stan ten ulega właśnie istotnej zmianie od wejścia w życie jednolitego rozporządzenia unijnego nr 2016/679 z 26 kwietnia 2016 r. (dalej RODO)¹⁰⁹ w dniu 25 maja 2018 r. Mimo głębokiego znaczenia tej zmiany, podstawowe założenia oraz instytucje systemu ochrony danych osobowych pozostaną bardzo podobne.

Pomimo pewnych różnic w definicjach zawartych w obowiązującej ustawie (art. 6) oraz RODO (art. 4 pkt 1), dane osobowe odnoszą się zasadniczo do wszelkich informacji dotyczących osoby zidentyfikowanej lub możliwej do zidentyfikowania, w tym takich identyfikatorów jak imię i nazwisko czy numer identyfikacyjny, również danych lokalizacyjnych (co jest bezpośrednio ujęte w RODO). W kontekście użycia dronów, kluczowe jest zrozumienie pojęcia „osoba możliwa do zidentyfikowania”. Interpretacja tego terminu budziła kontrowersje zarówno w kontekście dyrektywy z 1995 r. oraz jej polskiego odpowiednika, jak i w przypadku RODO.

Nie wchodząc w szczegóły, warto zauważyć, że zarówno według obecnych przepisów (art. 4 ust. 3 UODO), jak i RODO (motyw 26 preambuły), możliwość identyfikacji osoby uzależniona jest od czynników, takich jak czas, koszty

¹⁰⁹ Rozporządzenie RODO (ogólne rozporządzenie o ochronie danych), znane również jako General Data Protection Regulation (GDPR), to przepis prawny Unii Europejskiej, który wszedł w życie 25 maja 2018 r. Jego celem jest zwiększenie poziomu ochrony danych osobowych obywateli UE i regulacja sposobu ich przetwarzania przez przedsiębiorstwa i instytucje. Kluczowe aspekty RODO: 1. Prawo do informacji. Osoby, których dane dotyczą, mają prawo być informowane o zbieraniu i wykorzystaniu ich danych osobowych. 2. Prawo do dostępu. Osoby te mają również prawo do uzyskania dostępu do swoich danych i informacji o tym, jak są one wykorzystywane. 3. Prawo do sprostowania. Umożliwia osobom żądanie korygowania błędnych lub niekompletnych danych osobowych. 4. Prawo do usunięcia (prawo do bycia zapomnianym). Osoby mogą żądać usunięcia swoich danych osobowych w określonych sytuacjach. 5. Prawo do ograniczenia przetwarzania. Obejmuje możliwość żądania ograniczenia przetwarzania danych osobowych. 6. Prawo do przenoszenia danych. Umożliwia osobom przenoszenie swoich danych między różnymi usługodawcami. 7. Prawo do sprzeciwu. Osoby mają prawo sprzeciwić się przetwarzaniu ich danych osobowych. 8. Ochrona danych od projektowania i wdrażania systemów i procesów. RODO wymaga, aby ochrona danych była integralną częścią projektowania i wdrażania systemów i procesów. 9. Obowiązek zgłaszania naruszeń ochrony danych. Instytucje i firmy muszą zgłaszać naruszenia ochrony danych do odpowiednich organów nadzorczych. 10. Kary za naruszenie RODO. Organizacje naruszające przepisy RODO mogą być obciążone znacznymi karami finansowymi. RODO ma zastosowanie do wszystkich firm i organizacji działających w UE, jak również do firm spoza UE, które przetwarzają dane osobowe obywateli UE.

i wysiłek potrzebny do ustalenia tożsamości, a także od dostępnych technologii. W przeciwnym razie, biorąc pod uwagę obecny poziom technologii i dostępność różnych baz danych, większość informacji dotyczących osób fizycznych mogłaby być traktowana jako dane osobowe.

W praktyce jednak ocena, czy konkretne informacje kwalifikują się jako dane osobowe w określonym kontekście, może być skomplikowana. W przypadku wątpliwości, zwłaszcza jeśli chodzi o zgromadzone przez drony dane dotyczące prywatnych nieruchomości i osób przebywających na ich terenie, z ostrożności lepiej przyjąć, że mogą one mieć charakter danych osobowych. Każda decyzja o uznaniu informacji za niebędące danymi osobowymi powinna być poprzedzona dokładną analizą prawną konkretnego przypadku.

Podstawową zasadą jest to, że przetwarzanie danych osobowych może odbywać się tylko wtedy, gdy spełniona jest jedna z określonych w przepisach przesłanek, które stanowią podstawy prawne do przetwarzania takich danych.

Podstawowym warunkiem przetwarzania danych osobowych jest uzyskanie zgody osoby, której dane dotyczą. Jednak w przypadku korzystania z dronów, zgoda ta ma ograniczone znaczenie. Zgodnie z art. 6 ust. 1 RODO przetwarzanie danych przez podmioty publiczne jest dozwolone, jeśli jest niezbędne do:

- wykonania umowy, której stroną jest osoba, której dane dotyczą, lub do podjęcia działań przed zawarciem umowy na jej żądanie (art. 6 ust. 1 lit. b);
- wypełnienia obowiązku prawnego nałożonego na administratora (art. 6 ust. 1 lit. c);
- ochrony żywotnych interesów osoby, której dane dotyczą, lub innej osoby fizycznej (art. 6 ust. 1 lit. d);
- realizacji zadania wykonywanego w interesie publicznym lub w ramach sprawowania władzy publicznej powierzonej administratorowi (art. 6 ust. 1 lit. e).

UODO w art. 23 zawiera podobny katalog, chociaż różni się sformułowaniem niektórych przesłanek. Jednak te różnice są marginalne w kontekście omawianych scenariuszy. Istotna różnica polega na dodatkowej przesłance „prawnie usprawiedliwionych celów realizowanych przez administratorów” (art. 23 ust. 1 pkt 5 UODO), która również znajduje się w RODO, lecz w tej wersji jej zastosowanie jest wyłączone dla organów publicznych wykonujących swoje zadania – co różni się od zapisów ustawy.

W kontekście wykorzystania dronów przez samorządy kluczowe znaczenie ma przesłanka niezbędności przetwarzania danych w celu realizacji zadań publicznych lub w ramach sprawowania władzy publicznej (art. 6 ust. 1 lit. e RODO oraz art. 23 ust. 1 pkt 4 UODO). Ta przesłanka jest nieco szersza niż przesłanka wypełnienia obowiązku prawnego (art. 6 ust. 1 lit. c RODO i art. 23

ust. 1 pkt UODO), ponieważ nie wymaga powiązania z konkretnym obowiązkiem i jest zgodna z szerokim zakresem zadań samorządu.

Z perspektywy prawnej kluczowe jest spełnienie przesłanki „niezbędności” przetwarzania danych dla realizacji określonych zadań. Należy pamiętać, że ta zasada wynika z art. 51 Konstytucji RP, który stanowi, że władze publiczne mogą gromadzić, przetwarzać i udostępniać informacje o obywatelach tylko wtedy, gdy jest to absolutnie konieczne w demokratycznym państwie prawnym.

Dodatkowo ochrona danych osobowych jest jednym z aspektów szerokiego prawa do prywatności jednostki, które jest gwarantowane przez Konstytucję RP oraz różne przepisy prawne. Poza systemem ochrony danych osobowych, prywatność podlega także ochronie cywilnoprawnej jako dobro osobiste (art. 23 Kodeksu cywilnego) oraz karnej przez penalizację działań takich jak *stalking* (art. 190a § 1 Kodeksu karnego), zakłócanie miru domowego (art. 193 k.k.) czy nieuprawnione uzyskiwanie informacji (art. 267 § 3 k.k.).

Wykorzystanie technologii bezzałogowych do zbierania informacji i monitoringu wiąże się z ryzykiem naruszenia prawa do prywatności wykraczającym poza ochronę danych osobowych. Z uwagi na różnorodność form ochrony prywatności i ograniczenia tego opracowania, nie można omówić wszystkich aspektów szczegółowo. Ogólnie rzecz biorąc, każda ingerencja władz publicznych (w tym samorządów) w sferę prywatności jednostki musi mieć wyraźną podstawę ustawową i być ograniczona do celów określonych przez przepisy, jak również zgodna z kryteriami ustawowymi.

3.3.7. Ochrona prawa własności

Kolejnym istotnym zagadnieniem w omawianym aspekcie są kwestie związane z ochroną prawa własności nieruchomości.

Choć art. 46 § 1 Kodeksu cywilnego definiuje nieruchomości jako części powierzchni ziemskiej, a więc sam grunt, powszechnie uznaje się, że własność nieruchomości obejmuje również przestrzeń powietrzną nad gruntem oraz przestrzeń pod jego powierzchnią. W praktyce oznacza to, że właściciel gruntu ma m.in. prawa do „słupa powietrza” nad swoją nieruchomością.

Sąd Najwyższy podkreślił, że nieruchomości gruntowa jest kategorią trójwymiarową. Zgodnie z art. 143 Kodeksu cywilnego, własność gruntu rozciąga się na przestrzeń nad i pod jego powierzchnią, w granicach określonych przez przeznaczenie społeczno-gospodarcze.

Granice przestrzenne własności nad gruntem są określane przez przeznaczenie gruntu. Oznacza to, że nieruchomości gruntową można traktować jako

graniastosłup z poziomą powierzchnią gruntu stanowiącą jego przekrój, a granice górną i dolną wyznaczają teoretyczne powierzchnie.

Pomimo skomplikowanej kwestii wyznaczania „górną granicę” własności, logicznie wynika, że przelot dronem nad nieruchomością stanowi ingerencję w prawa właściciela.

To zagadnienie dotyczące użycia dronów nie jest jeszcze w pełni doceniane, ale może zyskać na znaczeniu w miarę wzrostu liczby lotów bezzałogowców. Może także stać się przedmiotem sporów, gdy obywatele będą kwestionować używanie dronów przez władze publiczne, zwłaszcza w kontekście kontroli przestrzegania różnych obowiązków (np. podatkowych czy związanych z przeznaczeniem gruntu). Dlatego temat ten zasługuje na odrębne omówienie.

Rozwiązanie dotyczące legalności przelotów dronami nad przestrzenią powietrzną należącą do nieruchomości w pewnym stopniu reguluje art. 119 ust. 1 Prawa lotniczego. Zgodnie z tym przepisem, przestrzeń powietrzna Polski jest dostępna dla wszystkich użytkowników na równych prawach, a ograniczenia w swobodzie lotów cywilnych mogą być wprowadzone tylko na podstawie wyraźnego upoważnienia Prawa lotniczego, z uwzględnieniem innych przepisów i umów międzynarodowych.

Prawo lotnicze traktuje przestrzeń powietrzną jako dobro publiczne dla lotnictwa cywilnego, co oznacza, że każdy może z niej korzystać. Status prawny przestrzeni powietrznej jest w pewnym sensie podobny do statusu publicznych wód śródlądowych, wód morskich wewnętrznych oraz wód morza terytorialnego (art. 32 ust. 1 Ustawy z 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne) czy dróg publicznych (art. 1 ust. 1 Ustawy z 21 marca 1985 r. o drogach publicznych), ale różni się tym, że dotyczy przestrzeni nad wszystkimi nieruchomościami, nie tylko należącymi do państwa.

Taki mechanizm prawny jest niezbędny, aby zapewnić niezakłócone funkcjonowanie lotnictwa cywilnego. W przeciwnym razie właściciele nieruchomości mogliby domagać się zakazu lotów nad ich gruntami, co mogłoby prowadzić do sporów sądowych.

Ponieważ drony są traktowane jako statki powietrzne i mają podobny status prawny jak inne statki powietrzne, podlegają przepisom prawa lotniczego. Art. 119 ust. 1 Prawa lotniczego stanowi zatem podstawę prawną dla lotów dronów nad prywatnymi posesjami. Niemniej jednak lądowanie, upadek lub zrzut przedmiotów na nieruchomość przekracza to uprawnienie i stanowi naruszenie prawa własności.

Należy jednak pamiętać, że mimo braku ograniczeń co do wysokości czy form lotów cywilnych w art. 119 ust. 1 Prawa lotniczego, możliwe jest, że nie pozwala ono na dowolne korzystanie z przestrzeni powietrznej nad

prywatnymi nieruchomościami, zwłaszcza gdy dron pozostaje na bardzo niskiej wysokości przez dłuższy czas. Takie działanie może być traktowane jako naruszenie prawa własności lub zakłócenie miru domowego (art. 193 k.k.), zwłaszcza jeśli właściciel nieruchomości wyraźnie oznaczył wolę zamknięcia dostępu do swojej posesji. Dlatego zaleca się, aby loty nad prywatnymi posesjami były dopuszczalne jedynie jako krótki przelot w ramach trasy drona, zwłaszcza na większej wysokości, co jest istotne w kontekście zadań samorządowych, takich jak mapowanie czy monitoring. W sytuacjach, gdy dron musi przebywać nad posesją przez dłuższy czas lub zbliżyć się do poziomu ziemi, rekomenduje się, aby wykonywać takie zadania tylko wtedy, gdy przepisy ustawy przyznają organom (np. policji, straży miejskiej) prawo wstępu na nieruchomość.

Na przykład, metoda stosowana w branży dronowej do egzekwowania zakazów spalania określonych paliw poprzez badanie składu dymu wymaga, aby dron na chwilę zawisł blisko dachu budynku. Takie działanie może stwarzać ryzyko naruszenia prawa własności. Jednak art. 379 ust. 3 pkt 1 Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska przyznaje organom samorządowym prawo wstępu na nieruchomość w ramach kontroli, co minimalizuje ryzyko z tym związane.

3.4. Przepisy w zakresie bezzałogowych statków powietrznych obowiązujące od 31 grudnia 2020 r.

Jak wyżej wspomniano, od 31 grudnia 2020 r. obowiązują wspólne „przepisy dronowe” na terenie krajów Unii Europejskiej oraz w Lichtensteinie i Norwegii, które zostały określone na podstawie:

- Rozporządzenia delegowanego Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r. w sprawie bezzałogowych systemów powietrznych oraz operatorów bezzałogowych systemów powietrznych z państw trzecich;
- Rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych.

Jak wyżej wspomniano, operacje bezzałogowymi statkami powietrznymi sklasyfikowane są na podstawie ich stopnia ryzyka. Wyróżnia się trzy kategorie lotów:

- otwarta (najniższy stopień);
- szczególna (średnie ryzyko);
- certyfikowana (stopień ryzyka porównywalny do występującego w lotnictwie załogowym).



Rysunek 23. EASA, rozporządzenie wykonawcze (EU) 2019/947

Źródło: <https://flystore.pl/Przepisy-dotyczace-latania-dronem-i-wagi-bezzałogowcow-2022> (dostęp: 25.01.2024).

3.4.1. Kategoria otwarta

Kategoria otwarta dzieli się na trzy podkategorie: A1, A2 i A3, w zależności od ograniczeń operacyjnych i wymogów, jakim podlegają piloci bezzałogowych statków powietrznych i drony:

- A1 – dopuszcza się przelot nad osobami postronnymi (z pewnymi ograniczeniami), ale nie wolno wlatywać nad zgromadzenia (grupy, w których zagęszczenie osób uniemożliwia im przemieszczanie się);
- A2 – nie wolno wlatywać nad osoby i zgromadzenia; minimalna odległość pozioma od osób to 30 m lub 5 m, jeżeli dron posiada funkcję ograniczającą prędkość lotu;
- A3 – nie wolno wlatywać nad osoby i zgromadzenia; operacje SBSP mogą odbywać się w bezpiecznej odległości co najmniej 150 m w poziomie od terenów mieszkaniowych, użytkowych, przemysłowych lub rekreacyjnych.



Rysunek 24. Podstawowe zasady dotyczące sportowego i rekreacyjnego latania dronami

Źródło: <https://babice.policja.gov.pl/pwz/aktualnosci/64338,Zasady-bezpiecznego-wykonywania-lotow-przy-uzyciu-tzw-dronow.html> (dostęp: 25.01.2024).

3.4.1.1. Rejestracja pilotów dronów

Piloci dronów w kategorii otwartej rejestrują się w przypadku, gdy:

- masa ich drona wynosi 250 g lub więcej, albo w przypadku drona, który podczas uderzenia może przekazać człowiekowi energię kinetyczną o wartości powyżej 80 J;
- ich dron wyposażony jest w czujnik zdolny do zbierania danych osobowych; nie dotyczy to BSP, które zgodnie z dyrektywą 2009/48/WE są zabawkami.

Po dokonaniu rejestracji należy umieścić swój numer rejestracyjny na każdym dronie, w odniesieniu do którego wymagana jest rejestracja.

3.4.1.2. Szkolenie pilotów dronów dla kategorii otwartej

Osoby planujące korzystać z dronów o masie przekraczającej 250 g będą zobowiązane do ukończenia szkolenia internetowego oraz pomyślnego zdania testu, który potwierdzi wymaganą wiedzę. Dokumentem stwierdzającym posiadanie określonych kwalifikacji i upoważniającym do wykonywania odpowiednich

czynności lotniczych przez pilotów bezzałogowych statków powietrznych będzie zgodnie z przepisami UE:

- dowód zaliczenia szkolenia i egzaminów online w przypadku wykonywania operacji w podkategorii A1 i A3 kategorii otwartej, uzyskiwany po zaliczeniu szkolenia i egzaminu online;
- certyfikat kompetencji pilota statku bezzałogowego w przypadku wykonywania operacji w podkategorii A2 kategorii otwartej, uzyskiwany po zaliczeniu egzaminu online, dodatkowego egzaminu teoretycznego oraz odbyciu szkolenia praktycznego metodą samokształcenia.

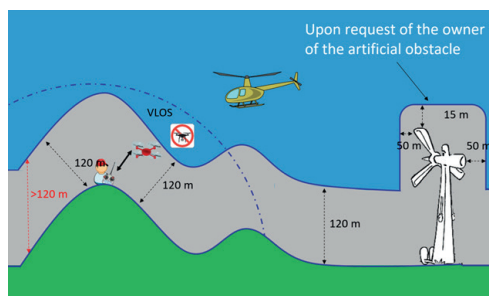
3.4.1.3. Minimalny wiek pilota BSP w kategorii otwartej

Minimalny wiek pilota wykonującego operacje z użyciem SBSP w kategorii otwartej wynosi 16 lat. Wymóg minimalnego wieku nie obowiązuje w stosunku do pilotów dronów w przypadku:

- gdy wykonują operację w podkategorii A1 z użyciem drona klasy C0, który jest zabawką w rozumieniu dyrektywy 2009/48/WE;
- dronów skonstruowanych do użytku prywatnego o maksymalnej masie startowej mniejszej niż 250 g;
- gdy wykonują operację pod bezpośrednim nadzorem pilota BSP mającego odpowiednie kompetencje i ukończone 16 lat.

3.4.1.4. Ogólne zasady wykonywania operacji w kategorii otwartej

- Pilot drona utrzymuje go przez cały czas w zasięgu wzroku – VLOS, z wyjątkiem przypadków, gdy operator jest w trybie podążania za stacją bazową lub wykorzystywany jest obserwator.
- Pilot zapewnia utrzymywanie drona w bezpiecznej odległości od osób oraz nierealizowanie lotu nad zgromadzeniami osób.
- Dron nie przewozi materiałów niebezpiecznych ani nie zrzuca żadnych materiałów.
- Podczas lotu dron jest utrzymywany w odległości nie większej niż 120 m od najbliższego punktu na powierzchni ziemi, z wyjątkiem przypadków, gdy przelatuje on nad przeszkodą.



Rysunek 25. Minimalne odległości lotów dronów

Źródło: <https://www.ulc.gov.pl/pl/drony/kategoria-otwarta-informacje> (dostęp: 25.01.2024).

Drony, którymi można wykonywać operacje w kategorii otwartej, muszą spełniać poniższe warunki.

1. Należą do jednej z klas określonych w rozporządzeniu delegowanym (UE) 2019/945 lub zostały skonstruowane do użytku własnego.
2. Mają masę startową mniejszą niż 25 kg.
3. Zostały wprowadzone do obrotu przed 1 stycznia 2023 r.:
 - w podkategorii A1 masa BSP nie przekracza 250 g z obciążeniem;
 - w podkategorii A3 masa BSP nie przekracza 25 kg wraz z paliwem i obciążeniem użytkowym.

Do 31 grudnia 2023 r. obowiązywały przepisy przejściowe, które umożliwiały wykonywanie lotów w kategorii otwartej dronami bez nadanej klasy, na określonych zasadach.

Waga drona (bez klasy CE)	31 grudnia 2020 – 1 stycznia 2023 (okres przejściowy)	od 2 stycznia 2023
< 250 g	można latać w podkategorii A1, nie wymaga szkolenia	
< 500 g	można latać w podkategorii A1: poziom kompetencji pilota BSP jak dla podkategorii A1/A3	można latać w podkategorii A3, z kompetencjami pilota A1/A3
< 2 kg	można latać w odległości co najmniej 50 m od ludzi, z kompetencjami pilota podkategorii A2	
< 25 kg	można latać w podkategorii A3, z kompetencjami pilota co najmniej A1/A3	
> 25 kg	Nie można latać w kategorii Otwartej	

Rysunek 26. Przepisy przejściowe, które umożliwiają wykonywanie lotów dronami w kategorii otwartej

Źródło: <https://flyandfilm.pl/kategoria-otwarta/> (dostęp: 25.01.2024).

3.4.2. Kategoria szczególna

Jak już wspomniano, kategoria szczególna jest przeznaczona dla operacji o średnim ryzyku, których parametry lotu wychodzą poza kategorię otwartą. Loty w tej kategorii będą oparte na ocenie ryzyka zarówno ze strony operatora, jak i nadzoru lotniczego.

Wszyscy operatorzy systemów bezzałogowych statków powietrznych, bez względu na masę eksploatowanego drona, mają obowiązek zarejestrowania się przed wykonaniem lotu.

Standardowe scenariusze kategorii szczególnej:

- NSTS-01 dla operacji VLOS lub z widokiem z pierwszej osoby (FPV) wykonywanych z użyciem BSP o masie startowej mniejszej niż 4 kg;
- NSTS-02 dla operacji VLOS z użyciem BSP kategorii wielowirnikowiec (MR) o masie startowej mniejszej niż 25 kg;
- NSTS-03 dla operacji VLOS z użyciem BSP kategorii stałopłat (A) o masie startowej mniejszej niż 25 kg;
- NSTS-04 dla operacji VLOS z użyciem BSP kategorii helikopter (H) o masie startowej mniejszej niż 25 kg;
- NSTS-05 dla operacji BVLOS z użyciem BSP o masie startowej mniejszej niż 4 kg, w odległości nie większej niż 2 km od pilota BSP;
- NSTS-06 dla operacji BVLOS z użyciem BSP kategorii wielowirnikowiec (MR) o masie startowej mniejszej niż 25 kg, w odległości nie większej niż 2 km od pilota BSP;
- NSTS-07 dla operacji BVLOS z użyciem BSP kategorii stałopłat (A) o masie startowej mniejszej niż 25 kg, w odległości nie większej niż 2 km od pilota BSP;
- NSTS-08 dla operacji BVLOS z użyciem BSP kategorii helikopter (H) o masie startowej mniejszej niż 25 kg, w odległości nie większej niż 2 km od pilota BSP.

3.4.2.1. Oświadczenie o operacji zgodnej ze scenariuszem standardowym

Oświadczenie to należy złożyć w przypadku, kiedy parametry wykonywanych operacji wychodzą poza kategorię otwartą. W myśl przepisów europejskich scenariusze standardowe opublikowane przez EASA zaczęły obowiązywać od 2 grudnia 2021 r. W związku z tym do 31 grudnia 2020 r. ULC opublikował krajowe scenariusze standardowe. Składając do Urzędu oświadczenie zgodne z NSTS-x operator otrzyma potwierdzenie odbioru i kompletności, dzięki któremu bezzwłocznie może rozpocząć operację zgodnie z ograniczeniami scenariusza standardowego. Takie oświadczenie operator mógł przedłożyć ULC do 2 grudnia 2021. Dokument ten stracił ważność z dniem 2 grudnia 2023 r.

3.4.2.2. Zezwolenie na operację

Wniosek o zezwolenie na operację jest stosowany w przypadku, jeśli nie jest ona objęta scenariuszem standardowym i nie należy do kategorii otwartej. Przed złożeniem go operator jest zobowiązany do przeprowadzenia oceny ryzyka. W tej kwestii przewidziano dwa alternatywne podejścia:

- Ocena ryzyka planowanej operacji – przeprowadzenie oceny ryzyka planowanej operacji zgodnie z metodologią SORA (AMC1 do art. rozporządzenia 2019/947/UE) oraz przedłożenie oceny ryzyka i wszystkich środków ograniczających ryzyko, a także przestrzeganie celów bezpieczeństwa operacyjnego, do ULC.
- Predefiniowana ocena ryzyka (PDRA) – uproszczona forma przeprowadzenia oceny ryzyka dla operatorów. Jeżeli planowana operacja okaże się objęta jednym z opublikowanych PDRA, zamiast przeprowadzać pełną ocenę ryzyka, można postępować zgodnie z instrukcjami zawartymi w PDRA i odpowiednio przygotować dokumentację do wniosku, który zostanie złożony do ULC.

Dotychczas opublikowane PDRA znajduje się w GM do artykułu 11 rozporządzenia 2019/947/UE. W zezwoleniu wydanym przez ULC zostaną określone warunki wykonania operacji.

3.4.2.3. Certyfikat LUC

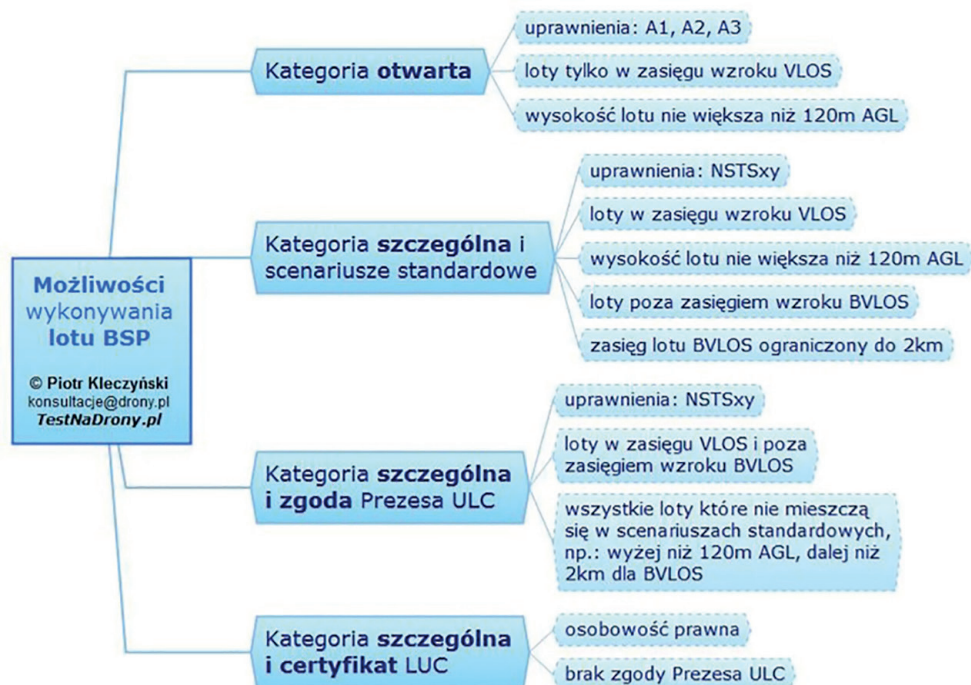
Wydanie certyfikatu LUC następuje na wniosek osoby prawnej (przedsiębiorcy). Wniosek o ten certyfikat należy złożyć w celu oceny prowadzonego przedsiębiorstwa przez ULC i wykazania, że operator jest w stanie samodzielnie ocenić ryzyko operacji. Wytyczne, jakie muszą zostać spełnione przez operatora, określono w części C rozporządzenia 2019/947/UE. Jeżeli wymagania zostaną spełnione, ULC wyda certyfikat LUC oraz przyzna uprawnienia odpowiadające poziomowi doświadczenia operatora. Uprawnienia mogą obejmować operacje bez uprzedniego zgłaszania oraz – w odpowiednich przypadkach – zgody ULC na:

- prowadzenie operacji objętych scenariuszami standardowymi;
- samodzielne udzielanie zgody na operacje, które są oparte na PDRA;
- wykonanie operacji opartej na jednej lub kilku modyfikacjach STS (wariantach), która nie pociąga za sobą zmian w ConOps, stosowanych kategoriach BSP lub kompetencjach pilotów;
- wykonanie operacji, która nie odpowiada PDRA, ale wchodzi w zakres działalności już wykonywanej przez operatora.

Operator może realizować operacje bez uzyskania zgody ULC, natomiast jest zobowiązany do przechowywania dokumentacji samodzielnie zatwierdzonych operacji, m.in. w celu weryfikacji podczas kontroli ULC.

Podstawami prawnymi są:

- Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r. w sprawie bezzałogowych systemów powietrznych oraz operatorów bezzałogowych systemów powietrznych z państw trzecich;
- Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych.



Rysunek 27. Możliwości wykonywania lotów BSP

Źródło: <https://kursnadrony.pl/ktore-kategorie-mnie-obowiazuja/> (dostęp: 25.01.2024).

Niezależnie od tego, w jakiej kategorii jest wykonywany lot, do BSP musi być przyklejona tabliczka z numerem operatora (nie z numerem pilota). Numer operatora ma format: ABC1234567890abc, gdzie: ABC dla operatorów zarejestrowanych w ULC to POL.

3.4.3. Kategoria certyfikowana

Kategoria certyfikowana obejmuje operacje o wysokim poziomie ryzyka i wymaga certyfikacji bezzałogowego statku powietrznego zgodnie

z rozporządzeniem 2019/945. W określonych przypadkach, jeśli właściwy organ na podstawie oceny ryzyka uzna to za konieczne, może być również wymagane uzyskanie certyfikatu operatora oraz licencji dla pilota BSP. Operacje kwalifikują się do tej kategorii wyłącznie wtedy, gdy realizowane są nad dużymi zgromadzeniami ludzi, obejmują transport pasażerów lub dotyczą przewozu materiałów niebezpiecznych, które w razie wypadku mogą stanowić poważne zagrożenie dla osób trzecich.

BSP podlega certyfikacji, gdy:

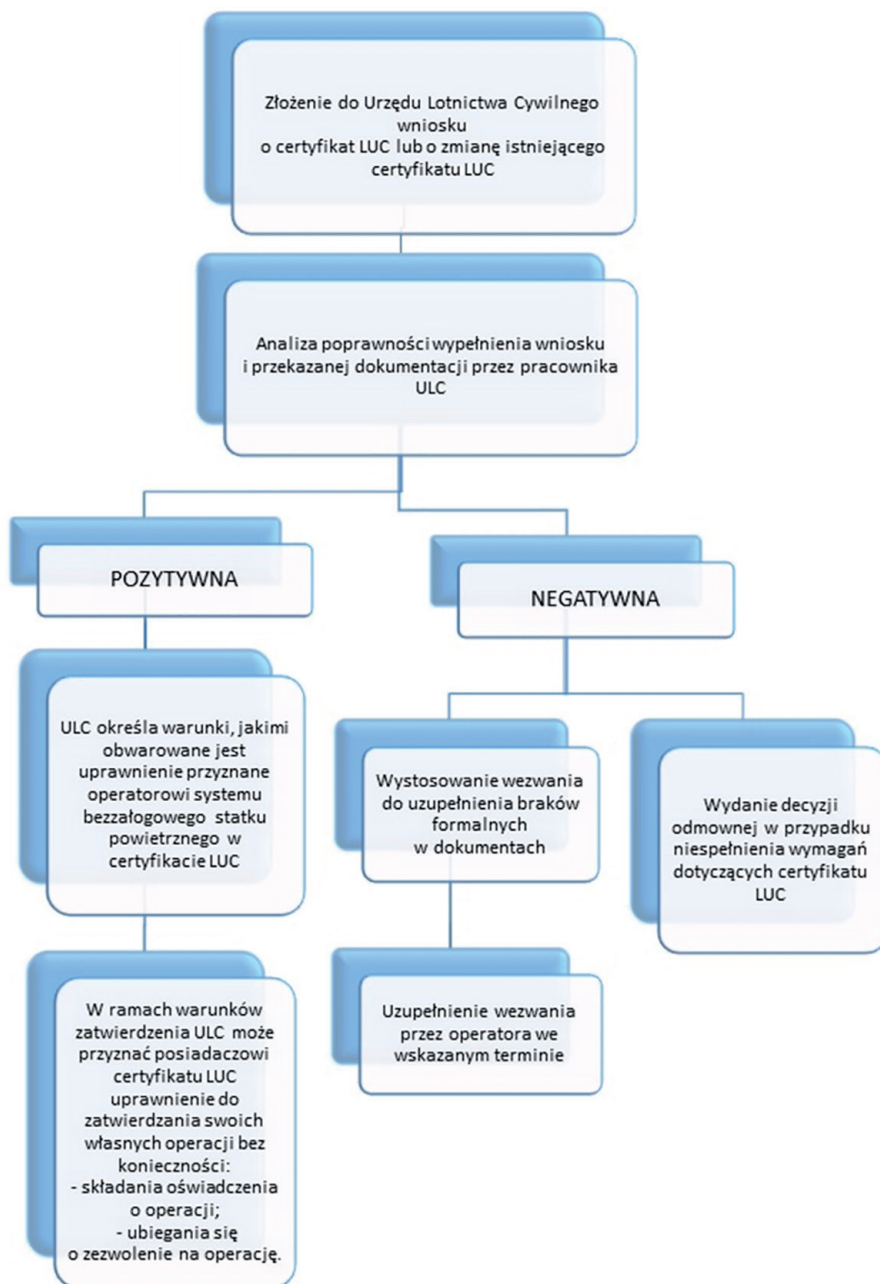
- jego typowy wymiar wynosi co najmniej 3 m i jest on przeznaczony do eksploatacji nad zgromadzeniami osób;
- jest przeznaczony do transportu osób;
- został zaprojektowany do transportu towarów niebezpiecznych, a konieczność ograniczenia ryzyka wobec osób trzecich w razie wypadku wymaga, by był bardzo solidny;
- jest eksploatowany w ramach operacji w kategorii szczególnej, określonej w art. 5 rozporządzenia wykonawczego (UE) 2019/947, a w zezwoleniu na eksploatację wydanym przez właściwy organ po przeprowadzeniu oceny ryzyka przewidzianej w art. 11 tego rozporządzenia stwierdzono, że bez certyfikacji BSP nie można odpowiednio ograniczyć ryzyka eksploatacji.

3.4.3.1. Uzyskanie certyfikatu LUC

Certyfikat operatora lekkich systemów bezzałogowych statków powietrznych (LUC, Light UAS Operator Certificate) to zezwolenie wydawane przez organy nadzoru lotniczego w krajach Unii Europejskiej umożliwiające operatorom dronów prowadzenie operacji na dużą skalę w sposób zgodny z przepisami prawa. Potwierdza najwyższy poziom uprawnień operatorów dronów, pozwalając im na przeprowadzanie operacji bez konieczności uzyskiwania indywidualnych zezwoleń na poszczególne misje pod warunkiem, że operacje te mieszczą się w ramach zatwierdzonego programu bezpieczeństwa.

LUC umożliwia elastyczność operacyjną, w szczególności firmom, które regularnie wykorzystują drony w działalności gospodarczej. Aby uzyskać ten certyfikat, operatorzy muszą spełniać surowe wymogi w zakresie zarządzania bezpieczeństwem, szkolenia personelu i kontroli operacji.

Poniższy schemat przedstawia etapy certyfikacji operatora lekkich systemów bezzałogowych statków powietrznych.



Rysunek 28. Etapy certyfikacji operatora lekkich systemów bezzałogowych statków powietrznych
Źródło: <https://www.ulc.gov.pl/pl/drony/kategoria-szczegolna/5302-uzyskanie-certyfikatu-luc> (dostęp: 25.01.2024).

Proces certyfikacji operatora lekkich systemów bezzałogowych statków powietrznych składa się z następujących etapów:

1. Etap I

O certyfikat LUC ubiegać się może osoba prawna. Wniosek o ten certyfikat lub o zmianę posiadanego certyfikatu składa się do ULC. Wzór wniosku udostępniony jest przez ten Urząd.

2. Etap II

Po dostarczeniu dokumentów do ULC następuje ich analiza. Dokumenty powinny zawierać m.in.:

- opis systemu zarządzania operatora systemem BSP, w tym jego struktury organizacyjnej i systemu zarządzania bezpieczeństwem;
- imię i nazwisko (imiona i nazwiska) odpowiedzialnego członka (odpowiedzialnych członków) personelu operatora systemu BSP, w tym osoby odpowiedzialnej za zatwierdzanie operacji z użyciem systemów BSP;
- oświadczenie, że całość dokumentacji przedłożonej właściwemu organowi została zweryfikowana przez wnioskodawcę i uznana za spełniającą odpowiednie wymagania.

W przypadku spełnienia wszystkich wymagań ULC określa warunki, jakimi obwarowane jest uprawnienie przyznane operatorowi systemu BSP w certyfikacie LUC. W ramach tych warunków ULC może przyznać posiadaczowi certyfikatu uprawnienie do zatwierdzania jego własnych operacji bez konieczności:

- składania do ULC oświadczenia o operacji;
- ubiegania się w ULC o zezwolenie na operację.

Należy jednak pamiętać, że nie zwalnia to posiadacza certyfikatu LUC z prowadzenia pełnej dokumentacji wykonywanych operacji.

W przypadku stwierdzenia braków w przekazanej dokumentacji pracownik Urzędu:

- informuje o tym wnioskodawcę telefonicznie albo za pomocą poczty elektronicznej;
- wystawia wezwanie do uzupełnienia braków formalnych.

Jeżeli braki zostaną uzupełnione we wskazanym terminie, wówczas następuje wznowienie procedowania dokumentu.

W przypadku negatywnej analizy wniosku, np. gdy nie został ustanowiony i wdrożony system zarządzania bezpieczeństwem, pracownik ULC informuje o tym wnioskodawcę, podając powody odmowy wydania certyfikatu LUC.

3. Etap III

Po otrzymaniu certyfikatu LUC operator ma prawo wykonywać loty na warunkach i z ograniczeniami wskazanymi w wydanym certyfikacie LUC, przestrzegając wytycznych, o których mowa w rozporządzeniu wykonawczym (UE) 2019/947.

Informacje ogólne:

- certyfikat LUC wydaje się na czas nieokreślony; zachowuje on ważność, pod warunkiem że posiadacz certyfikatu LUC stale spełnia odpowiednie wymogi rozporządzenia wykonawczego (UE) 2019/947 oraz nie zrezygnowano z tego certyfikatu lub go nie cofnięto;
- rozpatrzenie wniosku o wydanie certyfikatu LUC nie podlega opłacie lotniczej;
- proces wydania certyfikatu LUC nie powinien trwać dłużej niż 30 dni od dnia złożenia wniosku;
- wszelkie zmiany warunków zatwierdzenia operatora systemu BSP oraz wszelkie istotne zmiany elementów funkcjonującego u posiadacza certyfikatu LUC systemu zarządzania bezpieczeństwem wymagają uzyskania uprzedniej zgody ULG;
- posiadacz certyfikatu LUC każdej osobie należycie upoważnionej przez właściwy organ zapewnia dostęp do wszelkich obiektów, systemów bezzałogowych statków powietrznych, dokumentów, ewidencji, danych, procedur oraz do wszelkich innych materiałów związanych z prowadzoną przez niego działalnością, która podlega certyfikacji bądź obowiązkowi uzyskania zezwolenia na operację lub złożenia oświadczenia o operacji, bez względu na to, czy swoją działalność zlecił lub podzlecił innej organizacji¹¹⁰.

3.5. Uregulowane kwalifikacje związane z lotami BSP

W 2019 r. Komisja Europejska przygotowała dwa poniższe rozporządzenia regulujące zasady wykonywania lotów BSP, określające obowiązki operatorów i pilotów oraz regulujące używanie systemów BSP i ustalające procedury ich eksploatacji.

1. Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r. w sprawie bezzałogowych systemów powietrznych oraz operatorów bezzałogowych systemów powietrznych z państw trzecich (dalej rozporządzenie 2019/945)¹¹¹.

Rozporządzenie 2019/945 zostało znowelizowane 9 sierpnia 2020 r. i posiada wersję skonsolidowaną obejmującą następujące zmiany¹¹²:

¹¹⁰ Kontakt w sprawie wydawania certyfikatów LUC: specificUAS@ulc.gov.pl

¹¹¹ Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r., <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0945&qid=1653644378580> (dostęp: 18.10.2024).

¹¹² Nowelizacja rozporządzenia 2019/945 z 9 sierpnia 2020 r., <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02019R0945-20200809&from=PL> (dostęp: 18.10.2024).

- rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2020/1058 z dnia 27 kwietnia 2020 r.;
 - sprostowanie, Dz.U. L 255, 4.10.2019, s. 7 (2019/945).
2. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych (dalej rozporządzenie 2019/947)¹¹³.

Rozporządzenie 2019/947 zostało znowelizowane 5 sierpnia 2021 r. i posiada wersję skonsolidowaną obejmującą następujące zmiany¹¹⁴:

- rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2020/639 z dnia 12 maja 2020 r.;
- rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2020/746 z dnia 4 czerwca 2020 r.;
- rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2021/1166 z dnia 15 lipca 2021 r.;
- sprostowanie, Dz.U. L 255, 4.10.2019, s. 11 (2019/947).

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że pojawiły się dwa rozporządzenia przewidujące daty okresu przejściowego rozporządzenia 2019/947. Są to:

1. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2021/1166 z dnia 15 lipca 2021 r. zmieniające rozporządzenie wykonawcze (UE) 2019/947 w odniesieniu do odroczenia daty rozpoczęcia stosowania scenariuszy standardowych w odniesieniu do operacji wykonywanych w zasięgu widoczności wzrokowej lub poza zasięgiem widoczności wzrokowej¹¹⁵;
2. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2022/425 z dnia 14 marca 2022 r. zmieniające rozporządzenie wykonawcze (UE) 2019/947 w odniesieniu do odroczenia dat przejściowych dotyczących stosowania niektórych systemów bezzałogowych statków powietrznych w kategorii „otwartej” oraz daty rozpoczęcia stosowania scenariuszy standardowych w odniesieniu do operacji wykonywanych w zasięgu widoczności wzrokowej lub poza zasięgiem widoczności wzrokowej (dalej rozporządzenie 2022/425)¹¹⁶.

Rozporządzenie 2019/947 określa między innymi kwalifikacje dla kandydatów na pilotów BSP oraz metody walidacji wiedzy i umiejętności prowadzące do uzyskania uprawnień pozwalających wykonywać loty. Organy nadzoru lotniczego każdego państwa członkowskiego Unii Europejskiej miały

¹¹³ Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r., <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0947&qid=1653643167563> (dostęp: 18.10.2024).

¹¹⁴ Rozporządzenie 2019/947 (znowelizowane 5 sierpnia 2021 r.), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02019R0947-20210805&from=PL> (dostęp: 18.10.2024).

¹¹⁵ Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2021/1166 z dnia 15 lipca 2021 r., <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1166&from=PL> (dostęp: 18.10.2024).

¹¹⁶ Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2022/425 z dnia 14 marca 2022 r., <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R0425&from=PL> (dostęp: 18.10.2024).

obowiązek wprowadzić oba rozporządzenia, zmieniając istniejący system prawny, tak aby w prawie krajowym nie było kolizji z wprowadzanymi przepisami europejskimi.

W Polsce Prezes ULC na mocy art. 23. ust. 2 pkt 2 Ustawy z dnia 3 lipca 2002 r. – Prawo lotnicze (Dz.U. 2002 nr 130 poz. 1112, z późn. zm.) wydał:

- Wytyczne nr 7 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 9 czerwca 2021 r. w sprawie sposobów wykonywania operacji przy użyciu systemów bezzałogowych statków powietrznych w związku z wejściem w życie przepisów rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) nr 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych, które zastąpiły wytyczne nr 25 z dnia 30 grudnia 2020 r.)¹¹⁷;
- Wytyczne nr 24 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 30 grudnia 2020 r. w sprawie wyznaczania stref geograficznych dla systemów bezzałogowych statków powietrznych¹¹⁸.

Wytyczne w zakresie narodowych scenariuszy standardowych NSTS zostały wymienione w dalszej części niniejszej monografii. Scenariusze narodowe NSTS obowiązywały tylko w okresie przejściowym, który skończył się 1 stycznia 2024 r.

Wymienione wyżej wytyczne Prezesa ULC zmodyfikowały istniejący stan prawny w Polsce tak, aby nie kolidował z wprowadzonymi rozporządzeniami europejskimi. Określiły one prawa oraz obowiązki operatorów SBSP i pilotów BSP, wprowadziły wymagania dla kandydatów na pilotów BSP i ustaliły warunki uzyskiwania uprawnień. Umożliwiły również przeprowadzenie konwersji uprawnień pilotów BSP ze świadectw kwalifikacji UAVO do uprawnień A1/A3, A2 w kategorii otwartej i NSTS-01/2/3/4/5/6/7/8 w kategorii szczególnej.

Dzięki wspólnym rozporządzeniom system szkolenia i uzyskiwania uprawnień jest taki sam we wszystkich krajach Unii Europejskiej. Daje to dodatkowe możliwości w zakresie działalności biznesowej. Uprawnienia uzyskane w jednym kraju członkowskim pozwalają wykonywać loty BSP we wszystkich krajach członkowskich.

Wydaje się, że następnym krokiem organów krajowych, europejskich i międzynarodowych będzie wdrożenie przepisów honorujących w innych krajach

¹¹⁷ Wytyczne nr 7 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 9 czerwca 2021 r., <https://edziennik.ulc.gov.pl/legalact/2021/35/> (dostęp: 18.10.2024).

¹¹⁸ Wytyczne nr 24 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 30 grudnia 2020 r., <https://edziennik.ulc.gov.pl/legalact/2020/78/> (dostęp: 18.10.2024).

pozaeuropejskich uprawnienia zdobyte przez pilotów BSP, np. w Europie. Dzięki takim regulacjom uprawnienia zdobyłyby charakter międzynarodowych, podobnie jak ma to miejsce w przypadku licencji pilotów załogowych statków powietrznych czy praw jazdy kierowców.

3.5.1. Kwalifikacje związane z lotami BSP obowiązujące w Polsce od 31 grudnia 2020 r.

Przykładem kwalifikacji uregulowanych (w rozumieniu ustawy o ZSK¹¹⁹) w branży BSP są uprawnienia pilota BSP (tab. 3). Uprawnienia te należą do jednej z trzech kategorii lotów tego typu przewidzianych w rozporządzeniu 2019/947:

- otwartej;
- szczególnej;
- certyfikowanej.

Nowe uprawnienia obowiązują od 31 grudnia 2020 r. Faktycznie można je było uzyskać w drugiej połowie stycznia 2021 r., ponieważ operatorzy szkolący musieli najpierw złożyć stosowne oświadczenie i poczekać na otrzymanie decyzji administracyjnej, która pozwala na wykonywanie czynności szkoleniowych i egzaminacyjnych.

Na uwagę zasługują loty w kategorii szczególnej, które można wykonywać:

- po złożeniu do Prezesa ULC oświadczenia o operacji zgodnej ze scenariuszem standardowym;
- po uzyskaniu od Prezesa ULC zezwolenia na operacje SBSP wykraczające poza scenariusze standardowe;
- z ważnym certyfikatem LUC, o który może wnioskować jedynie operator SBSP mający osobowość prawną.

¹¹⁹ Ustawa z dnia 22 grudnia 2015 r. o Zintegrowanym Systemie Kwalifikacji, Dz.U. 2016, poz. 64 (ZSK). ZSK została wprowadzona w Polsce w celu uporządkowania oraz zharmonizowania systemu kwalifikacji zawodowych i edukacyjnych. Jest elementem działań mających na celu dostosowanie polskiego systemu edukacji i rynku pracy do standardów europejskich, w tym europejskiej ramy kwalifikacji (ERK). ZSK umożliwia: uznawanie różnych kwalifikacji zawodowych zdobytych w Polsce oraz za granicą; wprowadzenie jasnych zasad potwierdzania i walidacji umiejętności niezależnie od formy ich zdobycia (formalnej edukacji, kursów, praktyki zawodowej); zwiększenie przejrzystości i ułatwienie mobilności na rynku pracy w Polsce i Unii Europejskiej. Celem ustawy jest wspieranie ciągłego uczenia się, dostosowanie kompetencji do potrzeb rynku pracy oraz stworzenie systemu ułatwiającego uznawanie kwalifikacji w różnych sektorach.

Tabela 3. Kategorie i uprawnienia do użytkowania dronów

Kategoria	Uprawnienie	Rodzaj BSP	Masa startowa	Rodzaj lotu
OTWARTA (OPEN)	A1	dowolny	poniżej 500g *	VLOS
	A2	dowolny	poniżej < 2kg *	
	A3	dowolny	poniżej 25kg *	
SZCZEGÓLNA (SPECIFIC)	NSTS-01	dowolny	poniżej 4kg	VLOS + FPV
	NSTS-02	MR	poniżej 25kg	VLOS
	NSTS-03	A		
	NSTS-04	H		
	NSTS-05	dowolny	poniżej 4kg	BVLOS
	NSTS-06	MR	poniżej 25kg	
	NSTS-07	A		
	NSTS-08	H		
CERTYFIKOWANA (CERTIFIED)	<p>Kategoria przeznaczona do wykonywania lotów BSP spełniających którykolwiek z warunków określonych w artykule 6 rozporządzenia 2019/947:</p> <ul style="list-style-type: none"> • operacja nad zgromadzeniami osób, • operacje związane z przewozem osób, • operacje związane z przewozem materiałów niebezpiecznych, które – w razie wypadku – mogą stanowić wysokie ryzyko dla osób trzecich. <p>System BSP używany do realizacji wyżej wymienionych rodzajów lotów musi przejść certyfikację. Obecnie trwają prace legislacyjne nad określeniem procesu certyfikacji SBSP.</p>			

Źródło: <https://www.ulc.gov.pl/pl/drony/kategoria-otwarta-informacje> (dostęp: 25.01.2024).

3.5.2. U-Space – koncepcja, regulacje i ich termin wejścia w życie

U-Space ma stanowić ekosystem funkcjonowania branży BSP w określonych strefach geograficznych przeznaczonych do wykonywania operacji z użyciem BSP. Ekosystem ten ma obejmować legislację, systemy zarządzania przestrzenią powietrzną (tzw. UTM) oraz usługi i produkty. U-Space można traktować jako zestaw nowych usług systemu teleinformatycznego o wysokim poziomie digitalizacji i automatyzacji oraz specjalnych procedur zaprojektowanych w celu wspierania bezpiecznego, optymalnego dostępu do przestrzeni powietrznej dla dużej liczby dronów.

Z punktu widzenia realnego zapotrzebowania na nowe specjalistyczne kwalifikacje rynkowe związane z szeroko pojętym rynkiem BSP istotne znaczenie ma termin wejścia w życie regulacji prawnych związanych z koncepcją U-Space. Zgodnie z przepisami Rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) 2021/664 z dnia 22 kwietnia 2021 r. w sprawie ram regulacyjnych dotyczących U-Space, datą wejścia w życie tych regulacji był 26 stycznia 2023 r.

Definicja U-Space określona jest w art. 2 rozporządzenia, zgodnie z którym:

- przestrzeń powietrzna U-Space oznacza wyznaczoną przez państwa członkowskie strefę geograficzną dla systemów BSP, w której operacje z ich użyciem mogą być prowadzone wyłącznie przy wsparciu usług U-Space;
- usługa U-Space jest oparta na usługach cyfrowych i automatyzacji funkcji; jest przeznaczona do wspierania bezpiecznego, pewnego i skutecznego dostępu dużej liczby systemów BSP do przestrzeni powietrznej U-Space.

Należy wskazać, że do celów powyższego rozporządzenia stosuje się także definicje określone m.in. w rozporządzeniu wykonawczym (UE) 2019/947, w którym zawarto następujące stwierdzenie: „Chociaż system zarządzania bezzałogowymi systemami powietrznymi U-Space, obejmujący infrastrukturę, usługi i procedury gwarantujące bezpieczną eksploatację bezzałogowych systemów powietrznych, który wspiera integrację tych systemów z systemem lotnictwa, jest dopiero na etapie rozwoju, w niniejszym rozporządzeniu już teraz należy uwzględnić wymogi dotyczące wdrożenia trzech filarów systemu U-Space, a mianowicie rejestracji, świadomości przestrzennej i zdalnej identyfikacji, które będą wymagać dalszego uzupełnienia”¹²⁰.

3.5.3. VR, AI, roje/floty dronów

Niezwykłe dynamiczny rozwój branży BSP, np. w zakresie autonomicznych systemów transportowych, wymaga wprowadzania udoskonalonych lub nowych aplikacji szkoleniowo-treningowych. Pociąga to za sobą konieczność rozwoju modeli matematycznych odwzorowujących mechanikę lotu różnych rodzajów BSP (w szczególności wielowirnikowców, samolotów/stałopłatów czy śmigłowców) w różnych warunkach lotu. Modele te muszą uwzględniać warunki środowiskowe rozumiane jako:

¹²⁰ Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:32019R0947> (dostęp: 18.10.2024).

1. Warunki meteorologiczne (kierunek, siła wiatru, temperatura i wynikające stąd noszenia termiczne, rotory, dysze itp.).
2. Ukształtowanie terenu, przeszkody terenowe, strefy geograficzne, oświetlenie, pułap.
3. Okoliczności techniczne wpływające na charakterystykę lotu, wynikające z:
 - cech konstrukcyjnych BSP (konstrukcja, wymiary oraz materiał ramy nośnej lub kadłuba i skrzydeł, rodzaje silników, parametry śmigieł itp.);
 - wybranych parametrów lotu możliwych do ustawienia przez użytkownika danego BSP;
 - zastosowanych ładunków lub urządzeń wykonawczych (np. kamer, czujników, zasobników) noszonych przez platformę latającą, w szczególności w przypadku możliwości stosowania różnych urządzeń wymiennie (np. kształt ze względu na opór powietrza; wymiar, w tym masa; położenie środka ciężkości urządzenia wykonawczego lub ładunku względem platformy latającej).

Tworzenie tego rodzaju wirtualnych przestrzeni szkoleniowo-treningowych to zagadnienie wymagające łączenia kompetencji z różnych dziedzin. Doraźna kompilacja kompetencji informatycznych, inżynierskich i pilotażu BSP, wydaje się tu niewystarczająca. Z punktu widzenia zadań informatycznych niezbędna będzie specjalizacja i doświadczenie w tworzeniu przestrzeni Virtual Reality (VR) pod kątem scenariuszy specyficznych dla BSP w kontekście odwzorowania w nich modeli aeronautycznych.

Dodając do powyższych rozważań zagadnienie wykorzystywania w rzeczywistych warunkach przestrzeni powietrznej wielu BSP jednocześnie (np. podczas lotu roju BSP lub w przypadku zastosowania floty BSP współpracujących ze sobą), oprócz projektowania wirtualnych trenerów pojawia się także kwestia umiejętności tworzenia wariantowych scenariuszy potencjalnych zdarzeń. Dochodzą więc kompetencje charakterystyczne dla specyfiki odwzorowywanych działań konkretnych specjalności lub służb (np. scenariusze charakterystyczne dla akcji poszukiwawczych policji lub akcji gaśniczych Straży Pożarnej).

Rozwój i wykorzystanie technologii VR w procesach dedykowanych szkoleń praktycznych dotyczących lotów BSP jako niezbędnych etapów przygotowujących do rzeczywistych lotów są oczywiste. Poniżej przykłady wykorzystania VR:

- do dedykowanych scenariuszy standardowych STS lub narodowych NSTS;
- do szkoleń specjalistycznych związanych z usługą realizowaną przy użyciu BSP (np. naloty fotogrametryczne, naloty NVDI, inspekcje linii energetycznych, obiektów budowlanych lub terenów przemysłowych);

- do szkoleń specyficznych dla wojska lub służb porządku publicznego, w ramach których środowiska wirtualnej rzeczywistości będą z pewnością pełnić rolę narzędzia do planowania taktyki działań poszczególnych pilotów, użytkowników systemów bezzałogowych, jak i do współpracy z innymi jednostkami.

Technologia VR stosowana jest m.in. do symulacji pola walki. Przykładem konkretnego oprogramowania w tym zakresie może być np. wirtualny trener VBS3 używany w 59 krajach (w tym NATO) do treningu taktycznego, eksperymentów i prób misji. Wielką zaletą tego oprogramowania są duże zasoby wirtualnego sprzętu wojskowego.

Podczas wypracowywania strategii przeprowadzenia przyszłych misji lotniczych lub w ramach szkoleń poprzedzających loty rzeczywiste, które są dużo droższe w realizacji i mogą narazić wartościowy sprzęt na uszkodzenie, do tworzenia scenariuszy wariantowych zasadne będzie wykorzystanie sztucznej inteligencji.

W omawianym obszarze generowane będzie zapotrzebowanie na nowe kwalifikacje specjalistyczne; zarówno pełne, jak i częściowe, w tym rynkowe.

3.5.4. Certyfikacja BSP – dronów

Rozporządzenie 2019/945 wprowadza zasadnicze zharmonizowane wymagania techniczne mające zastosowanie do SBSP eksploatowanych zgodnie z zasadami określonymi w rozporządzeniu 2019/947. Rozporządzenie 2019/945 reguluje projektowanie, produkcję oraz wprowadzanie do obrotu na rynek wewnętrzny Unii Europejskiej BSP przeznaczonych do wykonywania operacji lotniczych w kategorii otwartej i szczególnej. Wraz z wprowadzeniem wymogów technicznych BSP zostają objęte nadzorem, którego mechanizmy w Polsce reguluje m.in. Ustawa z dnia 13 kwietnia 2016 r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku (Dz.U. 2016 poz. 542) oraz Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności (Dz.U. 2002 nr 166 poz. 1360).

Ministerstwo Infrastruktury we współpracy z ULC prowadzi prace związane z organizacją systemu oceny zgodności oraz nadzoru rynku w odniesieniu do BSP, uwzględniające m.in. powstanie niezbędnych regulacji związanych z funkcjonowaniem przyszłego krajowego organu nadzoru rynku w zakresie SBSP oraz organu notyfikującego, zgłaszającego do Komisji Europejskiej akredytowane jednostki oceniające zgodność.

Proces akredytacji jednostek oceniających zgodność, ubiegających się o notyfikację w obszarze rozporządzenia 2019/945, przeprowadza Polskie Centrum Akredytacji.

Na dzień 18 października 2024 r. jednostką najbardziej zaawansowaną w procesie akredytacji jest Polski Rejestr Statków SA¹²¹.

Zgodnie z rozporządzeniem 2022/425 terminem rozpoczęcia stosowania wymagań technicznych w odniesieniu do SBSP określonych klas był 1 stycznia 2024 r.

Wart odnotowania jest fakt, że wyroby stosowane np. w służbach muszą charakteryzować się należyтым poziomem wykonania zapewniającym niezawodność ich stosowania w warunkach specyficznych dla działań służby, odbiegających od warunków optymalnych, charakterystycznych dla działań cywilnych, niezależnie od terminu wprowadzenia tych regulacji.

W takich okolicznościach, nawet wtedy, gdy przepisy prawa nie nakładają obligatoryjnego wymogu certyfikacji, dozwolone jest przeprowadzanie dobrowolnej oceny zgodności na warunkach uzgodnionych przez zainteresowane strony (na podstawie Ustawy z dnia 13 kwietnia 2016 r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku, Dz.U. 2016 poz. 542 z późn. zm.).

Dla przykładu: W Państwowej Straży Pożarnej nie może zaistnieć zwiększone ryzyko związane ze stosowaniem sprzętu, co do którego niezawodności nie ma pewności. W tym przypadku, choć BSP nie mają obecnie żadnej normy wyrobu, w związku z doświadczeniem CNBOP-PIB w zakresie badań i certyfikacji wyrobów o zwiększonej niezawodności (przede wszystkim stosowanych w ochronie przeciwpożarowej), podstawą do certyfikacji dobrowolnej mogą być normy innych wyrobów przywołujące np. badania środowiskowe, które pozwalają na ocenę zachowania produktu w warunkach odbiegających od optymalnych, m.in.:

- zwiększona wilgoć;
- ciśnienie;
- wpływ promieni ultrafioletowych (UV) na obudowę;
- wpływ SO₂ na zestyki wewnątrz obudowy BSP;
- odporność obudowy na wnikanie pyłu itp.

Wszystkie ustalone parametry we współpracy z producentem zostały scalone do jednego dokumentu „Warunki badawczo-organizacyjne” stanowiącego podstawę do certyfikacji dobrowolnej z określeniem badań i nadzoru nad wydanym certyfikatem. Dopuszczenie oznaczone jest znakiem jednostki wydającej to świadectwo oraz jego numerem i datą wydania.

Kwestia certyfikacji BSP może być rozważana w kontekście presji rynku na powstanie nowych lub uaktualnienie istniejących kwalifikacji specjalistycznych. Chodzi tu o kwalifikacje (w rozumieniu przepisów o ZSK) pełne, np. w ramach studiów inżynierskich, oraz kwalifikacje cząstkowe, w tym rynkowe. Presja rynku

¹²¹ Polski Rejestr Statków SA, <https://www.prs.pl/aktualnosci/2022/prs-akredytowana-jednostka-certyfikujaca-drony> (dostęp: 18.10.2024).

na rozwój kwalifikacji i zwiększenie liczby dostępnych specjalistów wynikać będzie ze wzrostu potencjalnego wolumenu zleceń oraz z implementacji nowych regulacji prawnych w zakresie certyfikacji.

Zagadnienie certyfikacji BSP należy rozpatrywać w dwóch płaszczyznach z punktu widzenia potrzeb kadrowych – instytucji certyfikujących bezałogowe statki powietrzne lub podmiotów ubiegających się o uzyskanie certyfikacji dla danego modelu albo egzemplarza BSP.

W każdym z powyższych obszarów będzie występowało zapotrzebowanie na wykwalifikowany personel z nowymi specjalistycznymi kwalifikacjami dronowymi w zakresie certyfikacji, czyli specjalistów ds. certyfikacji BSP.



Rysunek 29. Przepisy w zakresie produkcji i dystrybucji dronów

Źródło: <https://megadron.pl/pl/blog/przepisy-przejsciove-czym-i-kiedy-mozna-latac-1611759915.html> (dostęp: 25.01.2024).

W ramach konwersji dronów wprowadzonych już do obrotu na drony oznaczone klasami, zgodnie z rozporządzeniem delegowanym Komisji (UE) 2019/945 producent wdraża środki zapewniające, że proces ten zapewni zgodność BSP z przepisami rozporządzenia. EASA wyróżnia dwie możliwości konwersji:

- modernizację przez producenta poprzez wycofanie produktów, aktualizację sprzętu lub oprogramowania w ramach procedury kontroli produkcji, nadanie nowego numeru seryjnego, umieszczenie etykiety identyfikacyjnej klasy oraz wydanie nowej deklaracji zgodności;
- aktualizację oprogramowania przez użytkownika końcowego poprzez aktualizację oprogramowania przez właściciela pod pełną kontrolą producenta, wysłanie przez producenta nowej deklaracji zgodności, etykiety identyfikacyjnej klasy i nowej tabliczki numeru seryjnego do właściciela oraz umieszczenie przez właściciela etykiety identyfikacyjnej klasy i nowej tabliczki numeru seryjnego na wyrobie.

3.5.5. Szacowanie ryzyka wykonywania lotów dronami (SORA) – potencjalne zapotrzebowanie na nowe kwalifikacje

Rozwój rynku BSP będzie generował nowe rodzaje operacji lotniczych wykraczających poza zasady określone w scenariuszach standardowych. W takich wypadkach agencja EASA przewidziała możliwość wystąpienia operatora SBSP do nadzoru lotniczego (w Polsce do Prezesa ULC) z wnioskiem o zezwolenie na operacje lotnicze z użyciem BSP. Wniosek ten będzie wymagał modyfikacji instrukcji operacyjnej (dalej INOP) oraz przygotowania analizy ryzyka, np. na podstawie metodologii SORA. Opracowanie tej analizy będzie leżało po stronie operatora SBSP i będzie konieczne dla każdej operacji lotniczej z użyciem BSP wykraczającej poza kategorię otwartą lub scenariusze standardowe kategorii szczególnej. Nastąpi to między innymi wówczas, gdy:

- wysokość lotu będzie większa niż 120 m AGL;
- loty będą wykonywane nad zgromadzeniami osób;
- do operacji lotniczej używany będzie BSP o masie startowej TOM większej niż 25 kg;
- BSP w locie poza zasięgiem wzroku będzie znajdował się dalej niż 2 km od pilota;
- charakterystyczny wymiar BSP używanego do wykonania lotu będzie przekraczał 3 m;
- BSP używany do wykonania operacji będzie miał energię przy uderzeniu większą niż 34 kJ.

Do wniosku o zezwolenie na operację lotniczą z użyciem BSP w kategorii szczególnej, wykraczającej poza scenariusze standardowe, należy dołączyć opis operacji zawierający co najmniej:

- opis koncepcji operacji CONOPS (Concept of Operations);
- identyfikację ryzyka dla operacji opisanej w CONOPS;
- opracowanie analizy ryzyka, np. zgodnie z metodologią SORA;
- uwzględnienie operacji w instrukcji operacyjnej.

3.5.6. Opis koncepcji operacji CONOPS

Koncepcja operacji CONOPS to dokument opisujący operację lotniczą z punktu widzenia operatora SBSP, który będzie z niej korzystał. CONOPS służy do przekazywania wszystkim interesariuszom ilościowych i jakościowych cech tej operacji. Jest szeroko stosowany, np. w wojsku, agencjach rządowych czy instytucjach certyfikujących, które wymagają sformalizowanego przedstawienia danego procesu.

3.5.7. Identyfikacja ryzyka dla operacji opisanej w CONOPS

Analiza ryzyka to działanie skierowane na poszukiwanie zagrożeń i obniżanie ich negatywnego wpływu na operację lotniczą z użyciem BSP poprzez podejmowanie odpowiednich działań służących przeciwdziałaniu ryzyku i jego ograniczaniu. Proces analizy pozwala na identyfikację, ocenę i monitorowanie poziomu ryzyka w sposób jakościowy i ilościowy, przy wykorzystywaniu określonej metodyki. Analiza ta jest jednym z podstawowych elementów procesu zarządzania ryzykiem.

3.5.8. Opracowania analizy ryzyka np. zgodnie z metodologią SORA

Analiza ryzyka według metodologii SORA składa się z kilku kroków, w których należy:

- określić GRC (Ground Risk Class), czyli poziom ryzyka lotu dronem dla osób znajdujących się na ziemi;
- określić ARC (Air Risk Class), czyli poziom ryzyka lotu dronem dla załogowych statków w przestrzeni powietrznej;
- dobrać TMPR (Tactical Mitigation Performance Requirement) przez zastosowanie działań zmniejszających wystąpienie ryzyka określonego w GRC i ARC;

- odczytać SAIL (Final Specific Assurance and Integrity Levels), który określa poziom solidności, jaki należy osiągnąć, żeby operacja była pod kontrolą;
- zidentyfikować OSO (Operational Safety Objectives) i zapewnić osiągnięcie określonych celów bezpieczeństwa operacyjnego z wymaganym poziomem solidności wynikającym z SAIL.

Metodologia SORA wymaga wykonania analizy w dziesięciu następujących krokach:

krok 01 – koncepcja operacji;

krok 02 – klasa bazowego ryzyka na ziemi;

krok 03 – klasa końcowego ryzyka na ziemi po zastosowaniu środków ograniczających to ryzyko;

krok 04 – klasa początkowego ryzyka w powietrzu;

krok 05 – mitygacja ryzyka w powietrzu na poziomie strategicznym;

krok 06 – mitygacja ryzyka w powietrzu na poziomie taktycznym;

krok 07 – końcowe przyporządkowanie poziomu solidności;

krok 08 – identyfikacja celów bezpieczeństwa na poziomie operacyjnym;

krok 09 – zdefiniowanie obszaru przyległego i rozważenie ryzyka dla przestrzeni powietrznej sąsiadującej z przestrzenią operacji;

krok 10 – kompleksowe portfolio bezpieczeństwa¹²².

3.5.9. Uwzględnienie operacji w instrukcji operacyjnej

Instrukcja operacyjna to dokument wymagany od operatora SBSP, określający sposób realizacji operacji z użyciem SBSP przez jego personel. Wymagania dotyczące instrukcji operacyjnej zostały określone w dodatku 5 do rozporządzenia 2019/947.

Podsumowując, przygotowanie instrukcji operacyjnej oraz opracowanie wniosku zawierającego analizę ryzyka operacji to skomplikowany proces wymagający interdyscyplinarnych umiejętności, a w przypadku skomplikowanych operacji lotniczych – zespołowej pracy specjalistów o różnych profesjach. Dlatego należy się tutaj również spodziewać nowych kwalifikacji pełnych, rynkowych lub uregulowanych, których posiadacza można określić wspólną roboczą nazwą: specjalista ds. niestandardowych operacji BSP.

¹²² Szczegółowe informacje dotyczące poszczególnych kroków znajdują się na stronie internetowej kursnadrony.pl, <https://kursnadrony.pl/analiza-ryzyka-sora/>

3.6. Wyzwania regulacyjne związane z autonomią

Wyzwania regulacyjne związane z autonomią w lotnictwie są znaczące i wielowymiarowe, obejmują szeroki zakres kwestii od bezpieczeństwa po etykę. Główne obszary wymagające nowych regulacji to:

- bezpieczeństwo operacyjne, w którym autonomia zmienia paradygmat bezpieczeństwa lotnictwa, przenosząc kontrolę nad bezpieczeństwem z człowieka na systemy algorytmiczne i maszynowe; regulatorzy muszą więc stworzyć przepisy zapewniające, by systemy autonomiczne były przynajmniej równie bezpieczne jak operacje załogowe;
- certyfikacja i testowanie, ponieważ standardowe procedury certyfikacji dla załogowych statków powietrznych mogą nie być odpowiednie dla systemów autonomicznych; konieczne jest opracowanie i weryfikacja standardów, które mogą uwzględniać nieprzewidywalne działania systemów AI i ML;
- zintegrowana przestrzeń powietrzna, ponieważ włączenie autonomicznych statków powietrznych do zatłoczonej i złożonej przestrzeni powietrznej wymaga zaawansowanych systemów zarządzania ruchem lotniczym i procedur operacyjnych, które są w stanie koordynować mieszane operacje załogowe i bezzałogowe;
- prawa pasażerów i odpowiedzialność, ponieważ w przypadku wystąpienia incydentu z autonomicznym statkiem powietrznym określenie odpowiedzialności może być skomplikowane, zarówno w aspekcie prawnym dotyczącym odpowiedzialności cywilnej, jak i regulacji odnośnie do odszkodowań dla pasażerów;
- prywatność i ochrona danych, ponieważ autonomiczne systemy lotnicze mogą zbierać duże ilości danych, w tym informacje o pasażerach; konieczne jest zatem zapewnienie, by przepisy dotyczące ochrony danych były przestrzegane, a prywatność osób chroniona;
- cyberbezpieczeństwo, ponieważ autonomiczne statki powietrzne są podatne na cyberataki, które mogą mieć katastrofalne skutki; regulacje muszą zapewniać wystarczającą odporność systemów na takie zagrożenia;
- właściwości etyczne i społeczne, ponieważ wprowadzenie autonomii implikuje pytania dotyczące etyki w kontekście stosowania maszyn, np. o to, jak systemy autonomiczne powinny podejmować decyzje w sytuacjach awaryjnych; dodatkowo istnieje kwestia akceptacji społecznej wobec maszyn podejmujących decyzje, które zazwyczaj były domeną ludzi;
- uprawnienia i szkolenie załóg, ponieważ w miarę postępu technologii rola załóg lotniczych będzie ewoluować, a regulacje muszą być dostosowane

do nowych wymagań dotyczących szkolenia i kwalifikacji załóg, które będą współpracować z systemami autonomicznymi;

- zmiany w infrastrukturze, ponieważ infrastruktura lotniskowa, zarówno na ziemi, jak i w powietrzu, musi być dostosowana do wymagań autonomicznych statków powietrznych, co wiąże się z koniecznością wprowadzenia nowych inwestycji oraz regulacji dotyczących ich projektowania i funkcjonowania;
- koordynacja międzynarodowa, ponieważ lotnictwo to działalność globalna, wymagająca zharmonizowania przepisów na szczeblu międzynarodowym, a konieczne jest osiągnięcie konsensusu między różnymi jurysdykcjami co do standardów i zasad dotyczących autonomii w lotnictwie.

3.6.1. Międzynarodowe prawo lotnicze i jego przyszłość

Międzynarodowe prawo lotnicze odgrywa zasadniczą rolę w zarządzaniu i regulowaniu globalnej przestrzeni powietrznej, bezpieczeństwa, ruchu lotniczego, odpowiedzialności przewoźników oraz wielu innych aspektów lotnictwa cywilnego. Jego podstawę stanowią głównie wspomniana wyżej „Konwencja o międzynarodowym lotnictwie cywilnym” oraz liczne aneksy i protokoły dodatkowe¹²³.

¹²³ Kluczowe zapisy konwencji chicagowskiej obejmują: 1. Suwerenność przestrzeni powietrznej. Uznaje, że każde państwo ma pełną i wyłączną suwerenność nad przestrzenią powietrzną nad swoim terytorium. 2. Bezpieczeństwo i nawigacja. Ustanawia wspólne zasady w zakresie bezpieczeństwa lotów i nawigacji powietrznej. 3. Współpraca międzynarodowa. Zachęca do współpracy międzynarodowej i ujednoczenia regulacji lotniczych. Do konwencji dołączono szereg aneksów i protokołów dodatkowych, które zawierają bardziej szczegółowe standardy i praktyki. Obecnie istnieje 19 aneksów do konwencji obejmujących różne aspekty lotnictwa, takie jak: załącznik 1. „Licencjonowanie personelu”; załącznik 2. „Przepisy ruchu lotniczego”; załącznik 3. „Służba meteorologiczna dla międzynarodowej żeglugi powietrznej”; załącznik 4. „Mapy lotnicze”; załącznik 5. „Jednostki miar do wykorzystania podczas operacji powietrznych i naziemnych”; załącznik 6. „Eksploatacja statków powietrznych” – cz. I „Międzynarodowy, zarobkowy transport lotniczy – samoloty”, cz. II „Międzynarodowe lotnictwo ogólne – samoloty”, cz. III „Operacje międzynarodowe – śmigłowce”; załącznik 7. „Znaki przynależności państwowej oraz rejestracyjne”; załącznik 8. „Zdatność do lotu statków powietrznych”; załącznik 9. „Ułatwienia”; załącznik 10. „Łączność lotnicza” – tom I „Pomoce radionawigacyjne”, tom II „Procedury telekomunikacyjne”, tom III „Systemy łączności”, tom IV „Systemy dozoru i unikania kolizji”, tom V „Wykorzystanie zakresu radiowłóknistości lotniczych”; załącznik 11. „Służby ruchu lotniczego”; załącznik 12. „Poszukiwanie i ratownictwo”; załącznik 13. „Badanie wypadków i incydentów lotniczych”; załącznik 14. „Lotniska” – tom I „Projektowanie i eksploatacja lotnisk”, tom II „Lotniska dla śmigłowców”; załącznik 15. „Służby informacji lotniczej”; załącznik 16. „Ochrona środowiska” – tom I „Hałas statków powietrznych”, tom II „Emisje z silników statków powietrznych”, tom III „Emisje CO₂ (dwutlenku węgla) z samolotów”; załącznik 17. „Ochrona międzynarodowego lotnictwa

Obecnie skupia się ono na bezpieczeństwie operacyjnym (za pośrednictwem ICAO), zarządzaniu ruchem lotniczym, standardach lotniskowych, ochronie środowiska oraz prawach pasażerów i odpowiedzialności przewoźników. Wraz z rozwojem technologii i zmieniającymi się potrzebami globalnego społeczeństwa, międzynarodowe prawo lotnicze będzie musiało ewoluować. Uwzględniając kierunki rozwoju, można wyróżnić potencjalne obszary zmian.

Wprowadzenie autonomicznych i półautonomicznych statków powietrznych wymaga redefinicji zasad i przepisów, w tym certyfikacji statków powietrznych, kwalifikacji i szkolenia personelu, zarządzania ruchem lotniczym i odpowiedzialności w przypadku wypadków. Postępująca cyfryzacja systemów lotnictwa cywilnego generuje nowe wyzwania związane z cyberbezpieczeństwem. Międzynarodowe przepisy będą musiały określić standardy ochrony przed cyberatakami. Lotnictwo stoi w obliczu rosnących nacisków, by zmniejszyć swój wpływ na środowisko. Przyszłe regulacje prawne będą prawdopodobnie promować rozwój i implementację bardziej ekologicznych technologii, w tym paliw alternatywnych. Rozwój komercyjnych lotów kosmicznych i zwiększona aktywność satelitarna będą wymagały nowych przepisów, które będą regulować te dziedziny i ich interakcje z tradycyjnym lotnictwem.

Pandemia COVID-19 ujawniła potrzebę stworzenia międzynarodowych protokołów dotyczących zdrowia publicznego w lotnictwie. Może to doprowadzić do wdrożenia standardów dotyczących kontroli chorób, kwarantanny i certyfikacji zdrowotnej dla pasażerów i załóg.

W miarę jak światowe lotnictwo staje się coraz bardziej złożone, potrzebna będzie lepsza współpraca międzynarodowa w celu zarządzania przestrzenią powietrzną, zapobiegania przestępstwom i zarządzania kryzysami. Drony i inne systemy bezzałogowe bardzo szybko się rozpowszechniają, co wymaga stworzenia międzynarodowych standardów dotyczących ich operacji, w tym w aspekcie prywatności, bezpieczeństwa i koordynacji z załogowymi operacjami lotniczymi. Wraz z ciągłymi innowacjami w dziedzinie lotnictwa przepisy prawne będą musiały zmieniać się dynamicznie, umożliwiając stosowanie nowych technologii, jednocześnie zapewniając bezpieczeństwo i ochronę interesów wszystkich stron zainteresowanych przestrzenią powietrzną. Wyzwaniem będzie znalezienie równowagi między postępem a prawem, aby lotnictwo mogło nadal rozwijać się w sposób zrównoważony i bezpieczny.

cywilnego przed aktami bezprawnej ingerencji”; załącznik 18. „Bezpieczny transport materiałów niebezpiecznych drogą powietrzną”; załącznik 19. „Zarządzanie bezpieczeństwem”. Te aneksy są regularnie aktualizowane w odpowiedzi na rozwój technologiczny i zmieniające się potrzeby branży lotniczej.

3.7. Badania i analiza podstaw prawnych redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich oraz cargo przy wykorzystaniu statków powietrznych bezzałogowych i z jednym pilotem

Jak wyżej wspomniano, szacuje się, że w Polsce użytkowanych jest ponad 100 tys. BSP o masie od 0,25 kg do 600 kg. „Dynamiczny rozwój różnych form działalności gospodarczej przy użyciu tych urządzeń obrazuje liczba przyznanych świadectw kwalifikacji koniecznych (zgodnie z obecną regulacją polską, która niebawem ustąpi miejsca przepisom europejskim) do legalnego użytkowania bezzałogowych statków powietrznych w celach innych niż rekreacyjne lub sportowe”¹²⁴. Skalę i tempo zmian w tym zakresie zachodzących w ostatnich latach zaprezentowano w podrozdziale 3.3. „Upowszechnienie bezzałogowych statków powietrznych może prowadzić do zasadniczych zmian w sposobie przewozu towarów, porównywalnych do zmian w tym zakresie spowodowanych przez motoryzację. Entuzjaści wykorzystywania dronów twierdzą, że ich rozwój spowoduje zmiany w sposobie życia społeczeństw w państwach uprzemysłowionych, podobnie jak wcześniej miało to miejsce w przypadku rozwoju i upowszechnienia samochodów oraz telefonów komórkowych czy sieci Internet”¹²⁵.

Dostrzec można analogię między wczesnym etapem rozwoju transportu kolejowego i samochodowego a pasażerskiego lotnictwa cywilnego i bezzałogowych statków powietrznych. Kolejowy oraz lotniczy przewóz osób i towarów ma charakter masowy, wykonywany jest do obiektów punktowych, wymagających systemu dowozowego. W przypadku motoryzacji mamy do czynienia z transportem indywidualnym, realizowanym według modelu *door-to-door*, który eliminuje potrzebę kosztownych i czasochłonnych operacji przeładunku. Użytkownicy infrastruktury drogowej z reguły nie ponoszą bezpośrednich kosztów jej budowy i utrzymania, które finansowane są z funduszy publicznych. Podobne cechy można dostrzec w rozwijającym się sektorze transportu z użyciem bezzałogowych statków powietrznych.

W przeszłości rozwój mechanicznych pojazdów drogowych budził obawy, co w wielu krajach prowadziło do restrykcyjnych regulacji, jak w Anglii, w której hamowano rozwój motoryzacji. W przyszłości skala i tempo rozwoju bezzałogowych statków powietrznych będą zależęły od reakcji organów publicznych, w tym od kształtowania i stosowania przepisów prawa. Nie ulega wątpliwości, że

¹²⁴ <http://uavo.com.pl/bez-kategorii/najnowsze-statystyki-uavo-okres-2013-2017/> (dostęp: 20.07.2022).

¹²⁵ M. Ostrihansky, M. Szmigiero, *Prawo dronów...*, op. cit., s. 223–224.

legislacja często nie nadąża za zmieniającą się rzeczywistością społeczną i szybkim postępowaniem technologicznym, co wyraźnie widać na przykładzie BSP.

Wcześniejsze przepisy krajowe, takie jak rozporządzenie wyłączające stosowanie Prawa lotniczego, po kilku latach obowiązywania przestały spełniać oczekiwania społeczne. Choć początkowo sprzyjały rozwojowi rynku dronów, mogłyby teraz stanowić przeszkodę w dalszym postępie. Świadomość tego problemu w państwach Unii Europejskiej doprowadziła do podjęcia prac nad wspólną regulacją. Wprowadzenie jednolitych zasad użytkowania i wprowadzania dronów na rynek można ocenić pozytywnie, ponieważ harmonizacja przepisów prawnych umożliwia przedsiębiorcom i użytkownikom prywatnym funkcjonowanie na wspólnym rynku, realizując tym samym podstawowe wolności, na których opiera się Unia Europejska. „Zauważyć można, jednakże, że pośpiech w tym zakresie spowodował niedoskonałość przepisów – liczne niespójności, pominięcia i niekonsekwencje. Nie najwyższą jakością prawa stanowi ustalenie odnoszące się zarówno do aktów europejskich, jak i krajowych. Można także postawić tezę, potwierdzoną prowadzonymi badaniami, że akty normatywne – powstające prawo dronów – w zamierzeniu twórców są mechanizmem ochrony bezpieczeństwa ze szkodą dla wspierania innowacyjności gospodarki”¹²⁶.

W sytuacji zasadniczych zmian legislacyjnych nieunikniona jest sytuacja, gdy w publikacji dotyczącej ewoluującego stanu prawnego opisuje się także rozwiązania prawne, które zaczną obowiązywać w dającej się określić przyszłości. Wobec tego należy zauważyć, że na dzień dzisiejszy obowiązuje w tym obszarze stan prawny zaprezentowany w podrozdziale 3.3.

Przed podjęciem szczegółowej analizy rozporządzeń wydawanych przez organy Unii Europejskiej oraz krajowych aktów prawnych warto najpierw omówić ich miejsce w hierarchii prawnej obowiązującej na terenie Polski oraz zrozumieć, jakie konsekwencje mają one dla prywatnych operatorów bezzałogowych statków powietrznych, operatorów prowadzących loty operacyjne, a także dla polskiego ustawodawcy.

Od 1 maja 2004 r., czyli od momentu przystąpienia Polski do Unii Europejskiej, w Polsce obowiązuje nie tylko prawo krajowe i międzynarodowe, ale również prawo europejskie. W kontekście prawa lotniczego miało to szczególne znaczenie, ponieważ otworzyło nowe możliwości rozwoju tego sektora. Nie można jednak zapominać, że wiązało się to również ze swoistą dezorientacją związaną z faktem, że przed wejściem do UE w tym obszarze obowiązywał już pewnego rodzaju dualizm prawny, ponieważ na podmioty działające na rynku nakładane były obowiązki nie tylko na mocy prawa krajowego, ale również wynikające

¹²⁶ Ibidem.

z podpisania przez Polskę w dniu 7 grudnia 1944 r. „Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym”¹²⁷. Zostało wydanych dotychczas 19 załączników¹²⁸ do niej (niektóre z nich liczą po kilka tomów), w których zawarte są tak zwane SARPS¹²⁹. Pomimo pewnych kontrowersji związanych z wdrażaniem załączników ICAO (które np. w Polsce nie są publikowane w Dzienniku Ustaw, a jedynie w Dzienniku Urzędowym ULC) wszystkie państwa starają się dostosować swoje przepisy do standardów ustanowionych przez ICAO. Po przystąpieniu Polski do UE dualizm prawny w dziedzinie lotnictwa ustąpił miejsca pluralizmowi systemów prawnych. Ułatwieniem jest fakt, że wszystkie państwa członkowskie Unii Europejskiej są sygnatariuszami konwencji chicagowskiej, co oznacza, że przepisy europejskie formalnie sankcjonują zalecenia ICAO. Niemniej jednak, w miejsce ustawy Prawo lotnicze, która wcześniej była głównym aktem prawnym w tej dziedzinie, konieczne stało się stosowanie regulacji o charakterze ponadnarodowym. Biorąc pod uwagę, że większość przepisów w tej gałęzi prawa przyjmuje formę rozporządzeń, warto zastanowić się nad ich hierarchią i wynikającymi z niej konsekwencjami.

Monografia przedstawia tę kwestię jedynie pokrótce, ponieważ głównym omawianym zagadnieniem jest prawo dotyczące BSP. Rozważania należy rozpocząć od krótkiej charakterystyki systemu prawa polskiego i systemu prawa europejskiego. Jak już zauważono powyżej, hierarchia aktów prawnych w prawie krajowym wygląda następująco: Konstytucja RP, ustawy (obowiązujące powszechnie), rozporządzenia (wydawane na podstawie delegacji zawartych w ustawach), akty prawa miejscowego (obowiązujące na terytorium jednostek

¹²⁷ „Konwencja o międzynarodowym lotnictwie cywilnym podpisana w Chicago dnia 7.12.1944 r.”, Dz.U. z 1959, nr 35, poz. 212 ze zm.

¹²⁸ Zwanych załącznikami ICAO.

¹²⁹ Standards and Recommended Practices (SARPS) to standardy i zalecane praktyki, których używa się w lotnictwie, a w szczególności w odniesieniu do regulacji ICAO. Stanowią istotną część aneksów do konwencji chicagowskiej. Charakterystyka SARPS: 1. Standardy. Są to przepisy, które państwa członkowskie ICAO są zobowiązane wdrożyć w swoich krajowych regulacjach lotniczych. Nieprzestrzeganie standardów wymaga formalnego zgłoszenia różnicy (*difference*) do ICAO. 2. Zalecane praktyki. To zbiór wytycznych, które nie są obowiązkowe, ale zalecane jako najlepsze praktyki w lotnictwie. Ich implementacja jest wskazana, ale niewymagana. 3. Zakres. SARPS obejmują szeroki zakres aspektów lotnictwa, w tym bezpieczeństwo, nawigację, kontrole ruchu lotniczego, zarządzanie lotniskami, ochronę środowiska i wiele innych. 4. Cel. Celem SARPS jest zapewnienie jednolitych i bezpiecznych standardów operacyjnych w lotnictwie cywilnym na całym świecie, co ułatwia współpracę międzynarodową i efektywność operacji lotniczych. SARPS odgrywają ważną rolę w globalnym zarządzaniu bezpieczeństwem i efektywnością lotnictwa cywilnego, stanowią fundament międzynarodowej harmonizacji w branży lotniczej.

samorządu terytorialnego – gmin, powiatów i województw), akty wewnętrzne. Wszystkie akty inne niż Konstytucja RP muszą być z nią zgodne¹³⁰.

System prawa europejskiego reguluje rodzaje i hierarchię aktów prawnych w sposób odmienny niż systemy krajowe. Ogólnie rzecz biorąc, prawo UE, często nazywane również prawem europejskim, to zbiór przepisów wydawanych przez instytucje Unii Europejskiej zgodnie z traktatami. Źródła prawa europejskiego dzielą się na prawo pierwotne i prawo wtórne. Prawo pierwotne obejmuje akty tworzone przez państwa członkowskie, takie jak traktaty założycielskie (m.in. „Traktat o Unii Europejskiej”, „Traktat o funkcjonowaniu Unii Europejskiej”), traktaty akcesyjne oraz historyczne rewizje tych traktatów. Prawo wtórne jest natomiast tworzone przez instytucje UE i obejmuje rozporządzenia, dyrektywy, decyzje (wszystkie wiążące), a także zalecenia i opinie, które, choć niewiążące, również wywołują skutki prawne. Dodatkowo, pomiędzy prawem pierwotnym a wtórnym znajdują się umowy międzynarodowe zawierane przez UE samodzielnie lub wspólnie z państwami członkowskimi, zwane umowami mieszanymi.

W ramach prawa Unii Europejskiej, w dziedzinie prawa lotniczego, kluczową rolę odgrywają rozporządzenia. Zgodnie z artykułem 288 „Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej” (TFUE) rozporządzenia są aktami o ogólnym zasięgu, które mają charakter obowiązujący i są bezpośrednio stosowane we wszystkich państwach członkowskich. Należy zaznaczyć, że wszystkie rozporządzenia unijne mają tę samą moc prawną, niezależnie od organu, który je uchwalił. Bezpośrednie stosowanie rozporządzeń UE w państwach członkowskich oznacza, że mają one pierwszeństwo przed krajowymi ustawami i aktami wykonawczymi. W kontekście prawa lotniczego oznacza to, że w przypadku sprzeczności pomiędzy ustawą Prawo lotnicze a rozporządzeniami UE, to te drugie mają pierwszeństwo. Akty prawa krajowego muszą być zgodne z przepisami europejskimi i nie mogą ich zmieniać, chyba że rozporządzenie UE wyraźnie zezwala na takie działanie.

Od momentu wejścia w życie rozporządzenia podstawowego 2018/1139, Unia Europejska po raz pierwszy wprowadziła regulacje dotyczące bezzałogowych statków powietrznych o maksymalnej masie startowej (MTOM) do 150 kg. Na podstawie tego rozporządzenia zostały wydane dwa rozporządzenia Komisji Europejskiej, które szczegółowo regulują kwestie związane z certyfikowaniem, wprowadzaniem na rynek oraz wykonywaniem operacji bezzałogowymi statkami powietrznymi. Dotychczas regulacje w tej dziedzinie były oparte wyłącznie na prawie krajowym, które teraz musi zostać zaktualizowane i dostosowane do nowych norm europejskich.

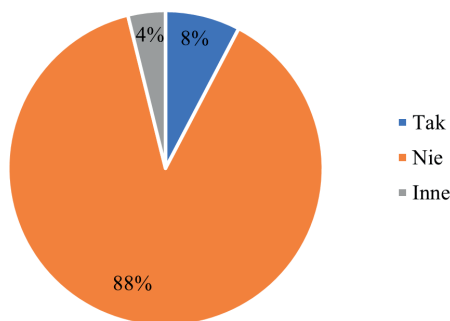
¹³⁰ M. Ostrihansky, M. Szmigiero, *Prawo dronów...*, op. cit.

3.7.1. Prezentacja wyników badań

W przeprowadzonej ankiecie zdecydowana większość respondentów wykazała, że na chwilę obecną nie istnieją jeszcze uwarunkowania prawne umożliwiające wykonywanie lotów bez obecności pilota czy z jednym pilotem na pokładzie. Ponadto respondenci wskazali, że przeszkodą w popularyzacji tego rodzaju lotów będą prawne aspekty odpowiedzialności wynikającej z niepożądanych zdarzeń zdarzeń, co może być znaczącą barierą w procesie wdrażania takich rozwiązań.

Zapytano respondentów o to, czy obecne przepisy prawa umożliwiają wykonywanie komercyjnych lotów pasażerskich lub lotniczych przewozów towarów (cargo) bez obecności pilota lub z jednym pilotem na pokładzie (rys. 30).

Czy Pani/Pana zdaniem obecne przepisy prawa umożliwiają wykonywanie komercyjnych lotów pasażerskich lub lotniczych przewozów towarów (cargo) bez obecności lub z obecnością jednego pilota na pokładzie?



Rysunek 30. Przepisy prawa umożliwiające loty bezpilota i z jednym pilotem

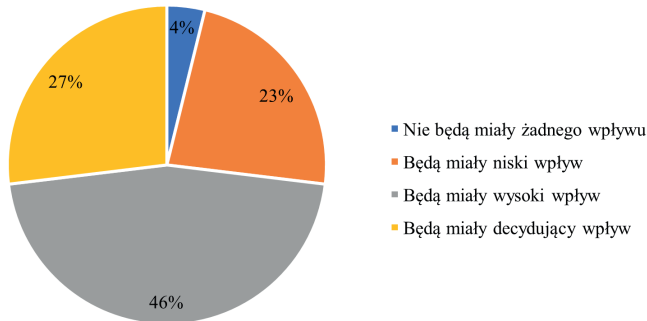
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹³¹.

Jedynie 8% respondentów uważało, że aktualnie obowiązujące przepisy prawa umożliwiają wykonywanie komercyjnych lotów pasażerskich lub lotniczych przewozów towarów (cargo) bez obecności pilota lub z jednym pilotem na pokładzie. Odmiennego zdania było natomiast 88% badanych.

Kolejne pytanie dotyczyło prawnych aspektów odpowiedzialności za ewentualne niepożądane zdarzenia (np. wypadki, szkody) oraz ich wpływu na popularyzację komercyjnych lotów pasażerskich lub lotniczych przewozów towarów bez obecności pilota na pokładzie (rys. 31).

¹³¹ Raport *Analiza czynników społecznych...*, op. cit.

Czy Pani/Pana zdaniem prawne aspekty odpowiedzialności za ewentualne niepożądane zdarzenia (np. wypadki, szkody) będą miały wpływ na popularyzację komercyjnych lotów pasażerskich lub lotniczych przewozów towarów bez obecności pilota na pokładzie



Rysunek 31. Odpowiedzialność prawna w koncepcji lotów bezpilotowych i z jednym pilotem

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹³².

46% respondentów uważało, że prawne aspekty odpowiedzialności za ewentualne niepożądane zdarzenia (np. wypadki, szkody) będą miały wysoki wpływ na popularyzację komercyjnych lotów pasażerskich lub lotniczych przewozów towarów bez obecności pilota na pokładzie. 27% badanych uznało nawet, że będzie to wpływ decydujący. 23% ankietowanych wskazało natomiast, że będzie on niski, z kolei 4%, że nie będą miały wpływu.

3.8. Podsumowanie – aspekty prawne

Analiza czynników prawnych wskazała na wiele elementów negatywnie wpływających na popularyzację komercyjnych lotów pasażerskich i przewozów towarów bez obecności pilota lub z jednym pilotem na pokładzie. Niezależnie od wielkości statków i rodzaju wykonywanych usług nie jest wciąż rozwiązana sprawa uregulowań prawnych, na co wskazują także respondenci. Wprawdzie odbywają się już loty tego rodzaju, jednak mają one charakter testowy i wykonywane są w warunkach szczególnego nadzoru, co zmniejsza ryzyko prawne. Można wnioskować, że do uzyskania właściwego środowiska prawnego niezbędna jest propozycja organizacji tego rodzaju lotów wśród wszystkich uczestników tego procesu, poczynając od:

- przewoźnika – w sytuacji lotu bez obecności pilota na pokładzie zapewnienie nadzoru nad parametrami lotu statku powietrznego, opracowanie

¹³² Ibidem.

właściwych procedur umożliwiających reagowanie w zakresie niepożądanых zdarzeń, co przekłada się na konieczność zapewnienia właściwego personelu obsługi, jego nadzoru podczas kołowania, startu, lotu, lądowania i obsługi naziemnej;

- lotniska – w sytuacji bez obecności pilota na pokładzie zapewnienie procedur obsługi naziemnej statku powietrznego w zakresie kołowania, obsługi technicznej i logistycznej;
- nadzoru ruchu powietrznego – w sytuacji bez obecności pilota zapewnienie koniecznej łączności z obsługą statku w celu korekty parametrów lotu, działania w sytuacjach niezaplanowanych;
- obsługi naziemnej – zapewnienie bieżącej korekcji manewrów na płycie, przekazania i odbioru maszyny po starcie i do startu.

Sytuację prawną w zakresie redukcji personelu latającego (pilotów) do jednego pilota może diametralnie zmienić podejście do rozwoju lotów autonomicznych. Faktem jest, że obecne loty, pomimo pełnej obsady pilotów, odbywają się w większości z udziałem nowoczesnej techniki. Jednak liczba personelu nie ulega zmianie z uwagi na istniejące ograniczenia prawne.

Analiza zastosowania koncepcji pojazdów autonomicznych, niezależnie od tego, czy dotyczą one transportu drogowego, kolejowego, czy lotniczego, ujawnia niechęć wobec ich pełnego wprowadzenia. Pomimo wielu zakończonych sukcesem testów oraz licznych zapowiedzi, takich jak wdrożenie pojazdów autonomicznych, idea ta nadal nie została w pełni zrealizowana. Wciąż istnieją wyzwania związane z odpowiedzialnością prawną za podejmowanie decyzji w trakcie sterowania tymi pojazdami.

Pomimo licznych zmian i postępującej akceptacji społecznej dla mniejszych dronów powietrznych temat ten nadal budzi wiele kontrowersji. Przedstawione aspekty, chociażby ochrony danych osobowych czy spraw związanych z własnością nieruchomości, wciąż są analizowane i dostosowywane do istniejących potrzeb. Wprawdzie wykorzystanie dronów w celu zapewnienia bezpieczeństwa zwiększa się, to wciąż czynnik społeczny ogranicza popularyzację wprowadzenia autonomicznych rozwiązań na większą skalę.

ROZDZIAŁ 4

ASPEKTY SPOŁECZNE

Pasażerskie przewozy lotnicze i cargo za pomocą BSP – dronów oraz statków powietrznych obsługiwanych przez załogi jednoosobowe mają różne aspekty społeczne, które warto uwzględnić.

Bezpieczeństwo pasażerów pozostaje najważniejszym priorytetem w lotnictwie, dlatego w celu jego zagwarantowania w przypadku przewozu ludzi za pomocą BSP lub samolotów obsługiwanych przez załogi jednoosobowe, konieczne jest dokładne monitorowanie, przeszkolenie i zapewnienie odpowiednich procedur. Istotne jest tu także określenie zakresu misji i dostępności usług, ponieważ drony pasażerskie lub załogi jednoosobowe mogą mieć ograniczenia co do zasięgu, prędkości i zdolności do obsługi różnych tras. Wprowadzenie nowych technologii i usług w transporcie pasażerskim może wymagać inwestycji w infrastrukturę i zmian w regulacjach lotniczych, co obejmuje zapewnienie dostępu do odpowiednich lądowisk, stacji ładowania i innych niezbędnych udogodnień. Istotne są także przyjęcie i akceptacja społeczna nowych form transportu pasażerskiego, takich jak loty bezzałogowe, dlatego warto prowadzić kampanie informacyjne i edukacyjne, aby społeczeństwo zrozumiało korzyści i ograniczenia tych rozwiązań.

W przypadku przewozu cargo podstawowe znaczenie ma zapewnienie bezpieczeństwa ładunku, zwłaszcza w przypadku przewozu towarów o szczególnym znaczeniu, takich jak produkty farmaceutyczne lub materiały niebezpieczne. Drony i załogi jednoosobowe mogą być bardziej efektywne i tańsze w porównaniu do tradycyjnych metod transportu cargo, co może przekładać się na niższe koszty przesyłki i bardziej konkurencyjne ceny.

Wprowadzenie nowych technologii w transporcie towarów może rodzić konieczność rozwiązania kolejnych kwestii związanych z ochroną danych i prywatnością, zwłaszcza w przypadku przesyłek, które mogą zawierać informacje wrażliwe lub osobiste.

Rozwinięcie automatycznych systemów przewozu towarów może prowadzić do utraty miejsc pracy w tradycyjnych sektorach transportowych, co może być wyzwaniem społecznym wymagającym odpowiednich działań w zakresie

przekwalifikowania pracowników. Konieczne jest dostosowanie regulacji do nowych technologii i modeli biznesowych w transporcie towarów, w tym w zakresie kwestii takich jak ubezpieczenie i odpowiedzialność prawna. W każdym przypadku ważne jest uwzględnienie aspektów społecznych i opinii społeczeństwa, a także współpraca z organami regulacyjnymi i interesariuszami w celu zapewnienia, że nowe rozwiązania w dziedzinie lotnictwa są bezpieczne, efektywne i akceptowalne społecznie.

Aspekty społeczne pasażerskich przewozów lotniczych oraz cargo w kontekście bezpilotowych i jednoosobowych załóg lotniczych obejmują szereg kwestii, które dotyczą zarówno pasażerów, załogi, jak i ogólnie społeczność lotniczą. Zmiany mogą wpłynąć na percepcję bezpieczeństwa, zatrudnienie, szkolenia, regulacje prawne oraz zaufanie społeczne do technologii lotniczych.

Postrzeganie bezzałogowych samolotów przez społeczeństwo jest krytyczne, ponieważ istnieje naturalna nieufność wobec maszyn i systemów bez ludzkiego nadzoru, co może skutkować oporem w przyjęciu takiej technologii. Edukacja społeczna na temat funkcjonowania i bezpieczeństwa systemów autonomicznych może pomóc w przezwyciężeniu sceptycyzmu, przy czym bardzo ważne są transparentność i skuteczna komunikacja w sprawie wypadków, badań i danych operacyjnych.

Automatyzacja może zmniejszyć zapotrzebowanie na tradycyjne załogi lotnicze, co wpłynie na rynek pracy w branży lotniczej, zmuszając pilotów, inżynierów i obsługę naziemną do przekwalifikowania się lub dostosowania do nowych ról. Szkolenia dla pozostałej załogi, w tym jednoosobowej, będą musiały zostać przemyślane tak, by uwzględnić nowe umiejętności w zakresie monitorowania i zarządzania systemami autonomicznymi.

Istniejące przepisy lotnicze zostały stworzone z myślą o lotach załogowych, dlatego przejście na samoloty bezzałogowe będzie wymagało modyfikacji regulacji, zabezpieczeń prawnych i standardów certyfikacji. W przypadku incydentów lub wypadków kwestie prawne dotyczące odpowiedzialności będą bardziej skomplikowane i będą wymagały wyjaśnienia aspektów odpowiedzialności prawnej między producentami oprogramowania, operatorami a użytkownikami.

Rozwój komunikacji między regulatorami, producentami, liniami lotniczymi i społeczeństwem jest niezbędny, aby zbudować wspólne ramy bezpieczeństwa i operacji. Budowanie świadomości i zrozumienia wśród ogółu społeczeństwa odnośnie do bezpilotowych technologii lotniczych stanowi kluczowy czynnik dla ich akceptacji. Integracja bezzałogowych i jednoosobowych załóg lotniczych w pasażerskich i cargo przewozach lotniczych wiąże się z istotnymi wyzwaniami społecznymi. Kluczem do

sukcesu jest budowanie zaufania społecznego poprzez edukację, przejrzyste procesy regulacyjne i zaangażowanie społeczeństwa w rozwój technologii. Wszystkie te działania mają na celu zapewnienie, by nowe systemy były bezpieczne, efektywne i akceptowane przez wszystkich użytkowników przestrzeni powietrznej.

4.1. Opinia publiczna na temat autonomii w lotnictwie

Opinia publiczna na temat autonomii w lotnictwie jest zróżnicowana i dynamicznie ewoluuje wraz z rozwojem technologii oraz publikacją wyników badań i testów dotyczących samolotów autonomicznych i semiautonomicznych. Wiele osób wyraża związane z bezpieczeństwem lotów autonomicznych obawy, że bez pilota na pokładzie samolot może nieodpowiednio reagować na nieprzewidziane sytuacje. Istnieje także obawa przed potencjalnymi awariami technologicznymi, zwłaszcza w kontekście oprogramowania i cyberbezpieczeństwa, a także przed utratą miejsc pracy w branży lotniczej z powodu automatyzacji. Jednak niektórzy postrzegają autonomię jako sposób na poprawę efektywności operacji lotniczych, lepszą punktualność i niższe koszty eksploatacji. Samoloty autonomiczne mogą teoretycznie uczynić loty bardziej dostępnymi cenowo dla szerszej grupy pasażerów dzięki obniżeniu kosztów operacyjnych.

Wielu ludzi nie ma wystarczającej wiedzy na temat technologii autonomicznych w lotnictwie, co może przyczyniać się do nieufności i obaw, dlatego dostęp do rzetelnych informacji na temat postępów w tej dziedzinie może pomóc w kształtowaniu bardziej pozytywnego obrazu tych technologii. Społeczeństwo oczekuje, że zostanie włączone w proces wprowadzania autonomicznych samolotów poprzez otwarty dialog i konsultacje. Opinia publiczna może być bardziej skłonna do akceptacji autonomicznych technologii po zaprezentowaniu udanych testów i demonstracji możliwości zapewnienia bezpieczeństwa.

Jest także grupa osób entuzjastycznie nastawiona do innowacji i rozwoju technologii, która postrzega autonomię w lotnictwie jako naturalny krok naprzód. Zagadnienia związane z ekologią i zrównoważonym rozwojem mogą również przemawiać za technologiami autonomicznymi, które potencjalnie mogą powodować bardziej efektywne zużycie paliwa i mniej negatywny wpływ na środowisko. Ostateczna opinia publiczna na temat autonomii w lotnictwie będzie kształtowana przez wiele czynników, w tym przez skuteczność kampanii informacyjnych, transparentność przemysłu lotniczego w komunikowaniu zalet i wad, wyniki badań bezpieczeństwa, a także rzeczywiste doświadczenia pasażerów z lotami autonomicznymi. Ważne jest, by wszystkie te elementy były uwzględnione w strategii wdrażania i promocji lotnictwa autonomicznego.

Korzyści z autonomii w lotnictwie są liczne i obejmują różne aspekty operacyjne, ekonomiczne i bezpieczeństwa. Jedną z głównych zalet jest efektywność i oszczędność czasu. Autonomia pozwala na realizację misji lotniczych bez konieczności udziału ludzi na pokładzie statku powietrznego, co może znacznie przyspieszyć i ułatwić różne operacje, w tym dostawy, inspekcje i badania. Dzięki temu możliwe jest szybkie i precyzyjne wykonywanie zadań w trudno dostępnych miejscach, co w tradycyjnych warunkach mogłoby być bardziej czasochłonne i kosztowne. Kolejną korzyścią jest zwiększenie bezpieczeństwa. W niektórych przypadkach autonomia może gwarantować wyższy poziom bezpieczeństwa, ponieważ pozwala unikać ryzyka związanego z lotem załogi w niebezpiecznych warunkach lub środowiskach. Drony mogą operować w ekstremalnych warunkach pogodowych, obszarach skażonych czy strefach konfliktu, minimalizując ryzyko dla ludzi.

Automatyzacja lotnictwa prowadzi również do redukcji kosztów, zwłaszcza w przypadku transportu towarów, co może przekładać się na niższe ceny usług i produktów. Mniejsze koszty operacyjne wynikają z eliminacji potrzeby załogi na pokładzie, a także z większej efektywności paliwowej i mniejszego zużycia sprzętu.

Obawy dotyczące autonomii w lotnictwie są równie istotne i obejmują przede wszystkim kwestie bezpieczeństwa. Jedną z głównych obaw jest ryzyko związane z działaniami autonomicznymi statków powietrznych w takich sytuacjach jak kolizje lub awarie. Istnieje obawa, że te statki te mogą stwarzać potencjalne zagrożenie dla ludzi i innych statków powietrznych, zwłaszcza wtedy, gdy technologie zawiodą lub nastąpią nieprzewidziane okoliczności.

Prywatność to kolejna ważna kwestia. W niektórych przypadkach autonomiczne statki powietrzne mogą być wyposażone w kamery lub sensory, co może rodzić obawy dotyczące naruszenia prywatności i inwigilacji. Ludzie mogą czuć się niekomfortowo z myślą, że są obserwowani przez drony. Może to prowadzić do problemów z akceptacją społeczną tych pojazdów.

Wyzwanie stanowią również regulacje i prawo. Obecne przepisy lotnicze nie we wszystkich kwestiach są odpowiednio dostosowane do autonomicznych statków powietrznych, co może prowadzić do niejasności prawnych i problemów związanych z odpowiedzialnością prawną w przypadku awarii lub incydentów. Istnieje potrzeba aktualizacji i dostosowania regulacji, aby sprostać wyzwaniom związanym z wprowadzeniem autonomii w lotnictwie.

Istotnym zagrożeniem jest utrata miejsc pracy. W miarę automatyzacji transportu lotniczego mogą pojawić się obawy dotyczące utraty miejsc pracy, zwłaszcza w tradycyjnych sektorach zatrudnienia, w funkcjach takich jak piloci i personel pokładowy. To może prowadzić do społecznych i ekonomicznych

konsekwencji, które muszą być odpowiednio zarządzane poprzez programy przekwalifikowania i wsparcia dla pracowników.

Ostatecznie opinia publiczna na temat autonomii w lotnictwie jest różnorodna i zależy od wielu czynników. Dla niektórych to innowacja obiecująca i efektywna, która może przynieść liczne korzyści, podczas gdy w innych budzi obawy dotyczące bezpieczeństwa, prywatności i zatrudnienia. Dlatego ważne jest, aby rozwijanie i wdrażanie autonomicznych rozwiązań lotniczych odbywało się w sposób odpowiedzialny, z uwzględnieniem potrzeb bezpieczeństwa publicznego, a także przestrzegania odpowiednich regulacji i standardów. Skuteczna komunikacja, transparentność i zaangażowanie społeczeństwa w proces wprowadzania tych technologii są ważnym czynnikiem w procesie budowania zaufania i akceptacji społecznej.

4.2. Wpływ na zatrudnienie i rynek pracy

Wprowadzenie obsługiwanych przez systemy bezzałogowe oraz załogi jednoosobowe przewozów lotniczych pasażerskich i cargo może wpłynąć znacząco na zatrudnienie i rynek pracy w lotnictwie, generując szereg potencjalnych skutków.

Automatyzacja może skutkować zmniejszeniem zapotrzebowania na tradycyjne role załogowe, takie jak piloci, inżynierowie pokładowi i stewardesy czy stewardzi, gdyż będą one pełnione przez systemy autonomiczne. W efekcie pojawią się nowe specjalizacje, takie jak operatorzy systemów bezzałogowych, technicy obsługi systemów autonomicznych, specjaliści od cyberbezpieczeństwa oraz inżynierowie danych. Zmiany te mogą wymagać od pracowników przekwalifikowania się i uzyskania nowych kompetencji.

Pracownicy będą musieli przejść odpowiednie szkolenia i uzyskać nowe certyfikacje, aby dostosować się do technologii autonomicznych. Ponieważ systemy autonomiczne generują duże ilości danych do monitorowania i analizy, znaczenie zyskują umiejętności analityczne i interpretacyjne, które staną się kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa i efektywności operacyjnej.

Implementacja systemów autonomicznych może prowadzić do redukcji zatrudnienia w niektórych obszarach działalności lotniczej, ale jednocześnie otworzyć nowe miejsca pracy w inżynierii, dziedzinie zarządzania danymi oraz monitoringu systemów. Dynamika rynku pracy lotniczej będzie zależała od tempa adaptacji do nowych technologii i potrzeb rynku.

Automatyzacja może prowadzić do nierówności w zatrudnieniu, ponieważ niektóre regiony mogą doświadczać większego bezrobocia z powodu zmniejszonego zapotrzebowania na tradycyjne role, podczas gdy inne regiony mogą

skorzystać z rozwoju i produkcji technologii autonomicznych, generując nowe miejsca pracy.

Pracownicy sektora lotniczego mogą odczuwać niepokój związany z możliwością zastąpienia ich przez maszyny. Może to prowadzić do ich oporu wobec technologii autonomicznych. Starsi pracownicy mogą preferować wcześniejsze przejście na emeryturę zamiast adaptowania się do zmian technologicznych.

Zmiany w zatrudnieniu będą wymagały nowych regulacji prawnych dotyczących ochrony pracowników, przepisów z zakresu szkolenia i certyfikacji, a także zabezpieczeń socjalnych. Rządy mogą potrzebować inwestycji w programy przekwalifikowania, aby wspierać pracowników w procesie adaptacji do zmieniającego się środowiska pracy.

Wprowadzenie bezzałogowych i jednoosobowych załóg w lotnictwie cywilnym niesie za sobą zarówno wyzwania, jak i korzyści. Efektywność operacyjna może wzrosnąć, jednak równocześnie konieczna będzie restrukturyzacja rynku pracy i wsparcie dla osób dotkniętych zmianami w zawodach lotniczych. Dynamiczny charakter tego procesu wymaga współpracy i zrównoważonego podejścia wszystkich zainteresowanych stron – pracodawców, pracowników, organizacji branżowych i regulatorów. Może mieć także znaczący wpływ na zatrudnienie oraz rynek pracy nie tylko w samym sektorze lotniczym, ale także w przyległych branżach. Automatyzacja spowoduje szereg konsekwencji, które należy rozważyć.

Pierwszym efektem będzie redukcja tradycyjnych stanowisk, takich jak piloci obsługujący komercyjne loty pasażerskie i cargo. Zmniejszy się również zapotrzebowanie na obsługę techniczną i załogi naziemne, choć wzrośnie popyt na specjalistów zajmujących się utrzymaniem systemów autonomicznych.

Z drugiej strony pojawią się nowe role i specjalizacje. Operatorzy systemów zdalnego sterowania będą monitorować samoloty bezzałogowe oraz czasami przejmować kontrolę nad nimi. Wzmożona zależność od systemów komputerowych i sztucznej inteligencji stworzy zapotrzebowanie na specjalistów IT i ekspertów od cyberbezpieczeństwa.

W kontekście wymagań szkoleniowych i edukacyjnych istniejący personel lotniczy będzie musiał przekwalifikować się do nowych ról wymagających umiejętności zarządzania systemami autonomicznymi. Wzrośnie również zapotrzebowanie na programy edukacyjne skoncentrowane na inżynierii systemów autonomicznych, analizie danych oraz zarządzaniu lotami.

Wprowadzenie bezzałogowych oraz jednoosobowych załóg lotniczych odbije się również na przyległych sektorach gospodarki. Sektor produkcyjny będzie musiał zaadaptować się do nowych wymagań dotyczących konstrukcji samolotów przystosowanych do operacji autonomicznych. Zmiany te będą

miały również wpływ na sektor ubezpieczeń i prawny, ponieważ konieczne będzie stworzenie i procedowanie nowych polis oraz regulacji dotyczących lotów autonomicznych.

Implikacje społeczne i ekonomiczne obejmują potencjalny wzrost nierówności w zatrudnieniu, bowiem wysoko wykwalifikowani pracownicy mogą zyskać, a osoby o niższych kwalifikacjach mogą stracić na znaczeniu. Lokalne gospodarki, szczególnie te silnie związane z przemysłem lotniczym, mogą doświadczyć „turbulencji kadrowych”, jeśli zmiany w zatrudnieniu znacząco wpłyną na rynki pracy.

W długoterminowej perspektywie wprowadzenie automatyzacji w lotnictwie może prowadzić do tworzenia nowych miejsc pracy, które skompensują te, które zostały zautomatyzowane. Jednakże osiągnięcie tego wymagać będzie znaczących inwestycji w edukację, szkolenia oraz adaptację polityk zatrudnienia do nowej rzeczywistości rynkowej. Ważne będzie także strategiczne planowanie i wdrażanie polityk społecznych wspierających przekwalifikowanie pracowników oraz łagodzenie negatywnych skutków wobec osób najbardziej dotkniętych przez te zmiany.

4.3. Edukacja i szkolenie w kontekście nowych wymagań technologicznych

Wprowadzenie bezzałogowych systemów lotniczych oraz jednoosobowych załóg lotniczych generuje nowe wymagania edukacyjne i szkoleniowe dla całego sektora lotniczego. Te zmiany wymagają dostosowania zarówno instytucji edukacyjnych, jak i samych przedsiębiorstw lotniczych oraz agencji regulacyjnych.

Pierwszym wyzwaniem jest konieczność zdobycia nowych umiejętności technicznych. Pracownicy muszą być wyposażeni w wiedzę niezbędną do obsługi, konserwacji i nadzorowania systemów autonomicznych. To obejmuje również znajomość programowania i rozwoju oprogramowania, które są potrzebne dla prawidłowego funkcjonowania BSP.

Kolejnym istotnym aspektem jest cyberbezpieczeństwo. Znajomość zabezpieczeń systemów oraz procedur reagowania na incydenty cybernetyczne staje się niezbędna, aby chronić samoloty i dane przed atakami hakerskimi.

Szkolenia dla operatorów i pilotów powinny być również poddane modyfikacji. Nawet w przypadku załóg jednoosobowych piloci muszą być przeszkoleni w zakresie zdalnego sterowania oraz interpretacji danych telemetrycznych. Umiejętność podejmowania szybkich i trafnych decyzji w sytuacjach kryzysowych staje się niezmiernie istotna.

Nieunikniona jest również transformacja zawodowa. Tradycyjne role, takie jak inżynier pokładowy czy nawigator, mogą ulec przekształceniu w kierunku nowych ról związanych z monitorowaniem systemów i zarządzaniem danymi.

Kompetencje miękkie, takie jak umiejętności komunikacyjne czy zarządzanie kryzysowe, stanowią nieodzowny element przyszłych szkoleń. Zarówno komunikacja w zespole zdalnym, jak i zarządzanie sytuacjami awaryjnymi, będą nieodzowne dla efektywnej pracy w nowym środowisku lotniczym.

Standaryzacja i certyfikacja również będą musiały zostać dostosowane do nowych realiów technologicznych. Nowe certyfikaty i standardy międzynarodowe umożliwią zapewnienie jednolitości i bezpieczeństwa operacji na globalnym rynku lotniczym.

Bardzo duże znaczenie w szybko zmieniającym się środowisku technologicznym ma kontynuowanie edukacji. Konieczne będzie ciągłe doskonalenie wiedzy oraz umiejętności, aby pracownicy pozostawali na bieżąco z najnowszymi technologiami i procedurami. Przyszłe trendy w szkoleniach, takie jak wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości i symulatorów, pozwolą na bardziej intensywne, realistyczne treningi operacyjne, które z kolei wpłyną na efektywność szkoleń i przygotowanie do działania w sytuacjach rzeczywistych.

Dlatego też sektor edukacyjny musi aktywnie reagować, tworząc oraz rozwijając nowe programy i kursy, które będą odpowiadać na zmieniające się potrzeby branży lotniczej. Uniwersytety, technika lotnicze oraz instytuty szkoleniowe muszą stale aktualizować swoje programy, aby zapewnić gotowość absolwentów na wyzwania nowej rzeczywistości technologicznej.

Bardzo istotna jest kooperacja między firmami lotniczymi a agencjami regulacyjnymi. Wspólnie muszą one przygotować odpowiednie szkolenia, które nie tylko zapewnią przygotowanie teoretyczne, ale również umożliwią działania praktyczne niezbędne do utrzymania bezpieczeństwa oraz efektywności operacyjnej w erze bezzałogowych i jednoosobowych załóg lotniczych.

4.4. Badania czynników społecznych redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich oraz cargo przy wykorzystaniu BSP oraz z jednym pilotem

„Współczesne czasy charakteryzuje rozwój nowoczesnych technologii, która obecna jest w każdej dziedzinie życia. Pojawienie się bezzałogowych statków powietrznych oraz dążeń do redukcji personelu sterującego do jednego pilota stwarza możliwość rozwiązywania wielu nowych problemów natury nie tylko konstrukcyjnej, eksploatacyjnej, ale i organizacyjnej. Tendencja rozwoju bezzałogowców przynosi skutki pozytywne i skutki negatywne. Przestrzeń, obok czasu,

jest najbardziej uniwersalnym wymiarem życia ludzkiego. Nie sposób żyć poza przestrzenią, nie da się ludzkiego życia i społecznych zachowań od przestrzeni oddzielić. Pojawienie się bezzałogowych statków powietrznych w przestrzeni powietrznej ma wpływ na życie ludzkie, trudno jest ocenić ten wpływ jednoznacznie. Zjawisko należy jednak analizować. W kontekście socjologii jest to temat coraz częściej podejmowany¹³³.

Różnorodne formy ukształtowania organizują przestrzeń, dzieląc ją na jednostki terytorialne o różnej pojemności, funkcji i charakterze. Na przykład, przestrzenie otwarte odbierane są jako wspólne i sprzyjają kontaktom społecznym, zaś zamknięte sprzyjają poczuciu prywatności. Cechą wpływającą na relacje społeczne jest również układ przestrzeni. Drony oddziałują na kształtowanie przestrzeni poprzez pojawianie się obok człowieka oraz fizyczną ingerencję w jego terytorium. „Poczucie terytorialności jest jednym z najsilniejszych czynników socjologicznych warunkujących stosunek człowieka do przestrzeni. Jemu zawdzięczamy potrzebę stawiania granic, oddzielania przestrzeni prywatnej od publicznej, indywidualnej od wspólnej”¹³⁴.

Drony oferują nowe możliwości eksploracji przestrzeni. Dzięki nim ludzie mogą lepiej odbierać bodźce z otoczenia. Percepcja ta umożliwia odbieranie i analizowanie informacji ze środowiska oraz orientowanie się w przestrzeni. Drony jako nośniki obrazów lub obiektów z wysokości, których nie można zobaczyć gołym okiem, znacząco poszerzają możliwości postrzegania. Dzięki nim przestrzeń, którą możemy badać, staje się szersza.

Poza rekreacyjnym wykorzystaniem dronów, takim jak filmowanie, BSP znajdują coraz szersze zastosowanie w działalności komercyjnej, administracji publicznej oraz transporcie cargo i pasażerskim. Drony łączą w sobie trzy kluczowe aspekty nowoczesnej technologii: przetwarzanie danych, autonomię i wszechstronność mobilności. Dzięki nim możliwy jest dostęp do nowych przestrzeni i sposobów analizy danych, które wcześniej były dostępne głównie dla sektora wojskowego, a teraz coraz częściej są wykorzystywane w dziedzinach cywilnych.

Wykorzystanie dronów w transporcie pasażerskim i cargo jest nowatorskim przełomem w lotnictwie. Badania pokazują, że wiele osób obawia się podróżować bez pilota w statku powietrznym. Jednakże rozwój lotnictwa zmierza w kierunku automatyzacji, a takie rozwiązanie staje się coraz bardziej realne. Jednym z kluczowych powodów rozwoju BSP w transporcie jest dążenie do

¹³³ M. Cobel-Tokarska, *Przeźrenie społeczna. Krótkie wykłady z socjologii*, [w:] A. Firkowska-Mankiewicz, T. Kanash, E. Tarkowska (red.), *Krótkie wykłady z socjologii. Przegląd problemów i metod*, Warszawa 2011.

¹³⁴ Ibidem.

wykorzystania ich w dostawach oraz w przewozie osób, co pozwoli zredukować konieczność zaangażowania ludzi i wyeliminować potrzebę zatrudniania pilotów, a także załóg lotniczych.

Wprowadzenie dronów do sektora transportu cargo i pasażerów może przynieść korzyści nie tylko ekonomiczne, ale również społeczne i ekologiczne. Wśród obaw i wyzwań, które należy rozważyć, znajdują się kwestie prawne, etyczne, bezpieczeństwa oraz problemy infrastrukturalne. Wszystkie te aspekty mają wpływ na cały system, od projektowania rozwiązań, przez nadzór ruchu i zarządzanie infrastrukturą, aż po obsługę naziemną, operatorów przewoźników i potencjalnych klientów.

Obok społecznych obaw związanych z BSP występują inne czynniki społeczne¹³⁵, które decydują o wykorzystaniu dronów na przyszłym rynku usług, między innymi konsumpcjonizm, minimalizm, a także propagowane style życia (*work & life balance*¹³⁶, *lifelong learning*¹³⁷), nowe grupy społeczne (np. cyfowi nomadzi) czy zjawisko starzejącego się społeczeństwa.

¹³⁵ <https://aniolowiekonsultingu.pl/wplyw-czynnikow-spoecznych-rynek-pracy/> (dostęp: 11.07.2023).

¹³⁶ *Work-life balance* (równowaga między pracą a życiem prywatnym) to koncepcja dotycząca równowagi między obowiązkami zawodowymi a osobistymi. Jest to stan, w którym osoba efektywnie zarządza swoim czasem i energią dzielonymi między pracą a innymi istotnymi dziedzinami życia, takimi jak rodzina, przyjaciele, osobiste zainteresowania i zdrowie. Do ważnych aspektów *work-life balance* można zaliczyć: 1. Zdrowie i dobrostan. Równowaga między pracą a życiem prywatnym jest ważna dla zdrowia psychicznego i fizycznego. Praca bez odpowiedniego odpoczynku i czasu na regenerację może prowadzić do stresu, wypalenia zawodowego i problemów zdrowotnych. 2. Produktywność i satysfakcja. Utrzymanie tej równowagi często przekłada się na wyższą produktywność w pracy i większe zadowolenie z życia. Pracownicy, którzy czują, że mają kontrolę nad swoim czasem i są w stanie poświęcić uwagę osobistym pasjom, często są bardziej zaangażowani i zmotywowani. 3. Elastyczność pracy. Elastyczne godziny pracy, praca zdalna i inne jej formy mogą pomóc w osiągnięciu lepszej równowagi między życiem prywatnym i zawodowym, umożliwiając pracownikom dostosowanie harmonogramu pracy do ich indywidualnych potrzeb. 4. Granice i zarządzanie czasem. Ustanowienie jasnych granic między pracą a życiem prywatnym, takich jak określone godziny pracy i czas na odpoczynek, jest ważne dla utrzymania równowagi. 5. Wsparcie ze strony pracodawców. Coraz więcej firm zdaje sobie sprawę z ważności równowagi między pracą a życiem prywatnym i wprowadza polityki wspierające to podejście, takie jak elastyczne godziny pracy, możliwości pracy zdalnej i programy wsparcia pracowników. 6. Osobiste priorytety i decyzje. Osiągnięcie równowagi często wymaga osobistych decyzji dotyczących priorytetów, zarządzania czasem i określenia, co jest najważniejsze dla jednostki. Równowaga między pracą a życiem prywatnym to ważny aspekt zarówno dla dobrostanu osobistego, jak i efektywności zawodowej. Wspieranie tej równowagi jest korzystne zarówno dla pracowników, jak i pracodawców, przyczynia się do dobrego funkcjonowania zdrowszego i bardziej zadowolonego społeczeństwa.

¹³⁷ *Lifelong learning*, czyli uczenie się przez całe życie, to koncepcja opierająca się na idei, że proces edukacji i zdobywania nowych umiejętności jest ciągły i nie kończy się na formalnej

Na potrzeby analizy warto wspomnieć o suburbanizacji¹³⁸, która jest widoczna w wielu państwach, także w Polsce. Charakteryzuje się ona tym, że

edukacji w młodości. Jest to podejście, które podkreśla znaczenie ciągłego rozwoju osobistego i zawodowego na każdym etapie życia. Do podstawowych cech *lifelong learning* można zaliczyć: 1. Rozwój osobisty i zawodowy. Uczenie się przez całe życie przyczynia się do osobistego rozwoju, poprawy umiejętności zawodowych i dostosowywania się do zmieniających się wymagań rynku pracy. 2. Elastyczne formy edukacji. *Lifelong learning* obejmuje różne formy edukacji, od tradycyjnych kursów akademickich, przez szkolenia zawodowe, warsztaty, e-learning, do samokształcenia i nieformalnych metod nauki. 3. Przystosowanie do zmian. W szybko zmieniającym się świecie, w którym nowe technologie i modele biznesowe stale ewoluują, uczenie się przez całe życie jest kluczem do utrzymania aktualności umiejętności i wiedzy. 4. Dostępność zasobów edukacyjnych. Rozwój technologii, zwłaszcza Internetu, znacznie ułatwił dostęp do zasobów edukacyjnych, takich jak kursy online, webinary, bezpłatne materiały edukacyjne, co sprzyja koncepcji *lifelong learning*. 5. Korzyści społeczne i ekonomiczne. *Lifelong learning* przyczynia się do rozwoju społeczeństwa poprzez zwiększenie poziomu edukacji, adaptacji jednostek do zmian rynkowych i zwiększenia innowacyjności. 6. Wsparcie ze strony pracodawców. Coraz więcej pracodawców rozumie wartość uczenia się przez całe życie i oferuje swoim pracownikom szkolenia, warsztaty i programy rozwoju zawodowego. 7. Samomotywacja i samodyscyplina. *Lifelong learning* wymaga od jednostek samomotywacji i samodyscypliny, ponieważ duża część procesu nauki odbywa się indywidualnie i poza formalnymi strukturami edukacyjnymi. To nie tylko trend edukacyjny, ale również niezbędna praktyka w dzisiejszym świecie, pozwalająca na ciągły rozwój, adaptację do zmieniających się warunków oraz pełniejsze, bardziej satysfakcjonujące życie osobiste i zawodowe.

¹³⁸ Suburbanizacja to proces rozprzestrzeniania się miast na otaczające je obszary wiejskie, co prowadzi do powstawania przedmieść i rozwoju terenów podmiejskich. Jest to zjawisko charakterystyczne dla wielu krajów, szczególnie widoczne w drugiej połowie XX w., i kontynuowane do dziś. Podstawowe informacje na temat suburbanizacji: 1. Przyczyny. a. Wzrost gospodarczy. Poprawa warunków życia i wzrost dochodów umożliwiają coraz większej liczbie ludzi kupno lub budowę domów na przedmieściach. b. Rozwój transportu. Rozbudowa sieci transportowych, zwłaszcza samochodowych, umożliwia łatwiejsze dojazdy z przedmieść do centrum miast. c. Poszukiwanie lepszych warunków życia. Ludzie często przenoszą się na przedmieścia w poszukiwaniu spokoju, większej przestrzeni i lepszej jakości życia. 2. Skutki. a. Rozrost przestrzenny miast. Suburbanizacja prowadzi do ekspansji miast i zwiększenia ich powierzchni. b. Zmiana struktury społecznej. Na przedmieściach często mieszka ludność o wyższym statusie społeczno-ekonomicznym. c. Problemy komunikacyjne. Wzrost liczby dojazdów samochodowych do pracy w centrach miast powoduje korki i problemy z parkowaniem. d. Dewaluacja centrów miast. Przeniesienie aktywności życiowej na przedmieścia może prowadzić do opustoszenia i degradacji centrów miast. 3. Aspekty środowiskowe. a. Zagospodarowanie terenów zielonych. Rozwój przedmieść często odbywa się kosztem terenów zielonych i rolnych. b. Problemy ekologiczne. Rozprzestrzenianie się miast może prowadzić do problemów środowiskowych, takich jak zanieczyszczenie powietrza i wody. 4. Plany urbanistyczne i zarządzanie miastem. a. Zarządzanie rozwojem miejskim. Wymaga planowania przestrzennego i zarządzania, aby zrównoważyć rozwój przedmieść z potrzebami ekologicznymi i infrastrukturalnymi. 5. Trendy globalne i lokalne. a. Różnice regionalne. Suburbanizacja przebiega różnie w zależności od regionu; w niektórych krajach rozwiniętych obserwuje się nawet odwrócenie tego trendu i powrót do życia w centrach miast. Suburbanizacja jest procesem złożonym, który ma

coraz większa część społeczeństwa przenosi się na obszary zurbanizowane, które administracyjnie nie są miastami, ale pod względem architektonicznym, społecznym, kulturowym czy ekonomicznym mają charakter miejski, a ponadto silnie powiązane są z miastem centralnym. Według prognoz ONZ do 2030 r. odsetek ludności miejskiej ma osiągnąć 60%, a w 2050 r. przekroczyć 66%. Wskazuje to na wzrost mobilności, a także kosztów związanych z systemem transportowym.

Firmy kurierskie i pocztowe wykazują znacznie wzmożony popyt na świadczone przez nich usługi. Dlatego też szuka się oszczędności finansowych i czasowych w innowacyjnych rozwiązaniach, jakimi są drony. Z raportu *Polska 2030. Trzecia fala nowoczesności* wynika, iż w połączeniu z wytycznymi z innych dokumentów strategicznych, do 2030 r. ma być realizowany kompleksowy projekt cywilizacyjny. Celem strategicznym zapisanym w wymienionym dokumencie jest poprawa jakości życia Polaków¹³⁹.

Drony w zagadnienie poprawy jakości życia społecznego wpisują się idealnie, coraz częściej bowiem wyręczają człowieka w powtarzalnych, rutynowych zadaniach, które są niebezpieczne lub wymagają dużej mocy obliczeniowych. Rynek dąży do pełnej automatyzacji i redukcji czynnika ludzkiego w podejmowaniu decyzji podczas sterowania dronami, czego konsekwencją będzie fakt, że staną się one autonomiczne¹⁴⁰.

Czynniki społeczne, które przemawiają za rozwojem BSP w przewozach cargo i pasażerskich to m.in.:

- oszczędność czasu;
- mniejsze koszty automatyzacji i niezawodność obsługi w porównaniu do obsługi samolotu przez człowieka;
- miejska mobilność powietrzna (pojazd jest w stanie zabrać na pokład dwie osoby i wykonać około 20-minutowy, w pełni autonomiczny lot; okazuje się to efektywne kosztowo, ponieważ nie zużywa on drogiego paliwa lotniczego, ale prąd, który jest w zasadzie dosyć tani; nie ma też tutaj czynnika ludzkiego, czyli pilota, którego zatrudnienie jest kosztowne);
- komfort latania;
- skrócone procedury;
- brak negatywnych skutków oddziaływania czynnika ludzkiego (błędów pilota);
- możliwość przekonstruowania samolotu tak, by zwiększyć jego objętość;

zarówno pozytywne, jak i negatywne skutki dla społeczeństwa, gospodarki i środowiska. Wymaga ona starannego planowania i zarządzania, aby zapewnić zrównoważony rozwój miast i ich okolic.

¹³⁹ GUS, *Prognoza ludności na 2014–2050*, https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5469/1/5/1/prognoza_ludnosci_na_lata____2014-2050.pdf (dostęp: 11.07.2023).

¹⁴⁰ <https://biznes.newseria.pl/news/drony-realizuja-coraz,p324112633> (dostęp: 18.10.2024).

- uproszczenie zadań związanych z transportem, np. małych paczek, listów czy cateringu, do obszarów miejskich; dostawa artykułów medycznych do trudno dostępnych miejsc; zautomatyzowanie transportu towarów z jednoczesną ofertą szybszej, bardziej elastycznej, tańszej i przyjaznej dla środowiska usługi.

Jedną z firm logistycznych, która poważnie podchodzi do użycia dronów w zatłoczonych obszarach, jest DHL. Dzięki współpracy firm DHL Express i Ehang¹⁴¹, który produkuje inteligentne pojazdy powietrzne w Chinach, obecnie testowane są dostawy przesyłek kurierskich. Efektem dostaw zrealizowanych pierwszą inteligentną trasą jest skrócenie czasu przewozu z 40 do 8 minut i znaczne obniżenie kosztów transportu przy niższej emisji CO₂ oraz mniejszym zużyciu energii. Za gigantem w dziedzinie cargo i przesyłek kurierskich podążają także inne firmy, przystępując do rozmaitych projektów i testów. Bezzałogowce są już używane między innymi w Australii do dystrybucji leków dla mieszkańców terenów wiejskich. Bułgarska spółka Dronamics przy użyciu dronów Black Swan¹⁴² przewozi ładunki o wadze do 350 kg na

¹⁴¹ DHL Express nawiązało strategiczne partnerstwo z firmą Ehang w celu wspólnej obsługi w pełni zautomatyzowanych i inteligentnych dronów, które będą realizować dostawy na ostatnim odcinku (*last-mile delivery*) w obszarach miejskich Chin. Ta innowacja w logistyce inteligentnej łączy siły największej na świecie międzynarodowej firmy kurierskiej z jednym z wiodących producentów bezzałogowych statków powietrznych. Rozwiązanie to obejmuje w pełni autonomiczne załadunek i rozładunek, co ma zwiększyć efektywność i opłacalność, a także zmniejszyć zużycie energii. Stanowi znaczący postęp w dziedzinie logistyki inteligentnej i jest przykładem wykorzystania nowoczesnych technologii w celu usprawnienia procesów dostaw.

¹⁴² Firma Dronamics, specjalizująca się w technologii dronów, nawiązała partnerstwo z firmą DHL, światowym liderem w dziedzinie logistyki, w celu wspólnego rozwoju i oferowania usług dostaw ładunków za pomocą dronów. W ramach tego partnerstwa drony Dronamics, znane jako Black Swan, mają być wykorzystywane do tzw. dostaw średniego zasięgu (*middle-mile*), czyli etapu transportu między głównymi hubami logistycznymi a lokalnymi centrami dystrybucji. Podstawowe informacje o partnerstwie: 1. Rozwój usług dostaw dronami. DHL i Dronamics planują wspólnie rozwijać rozwiązania umożliwiające dostawy w dniu zamówienia za pomocą sieci dostaw dronowych Dronamics i dronów Black Swan. Celem jest połączenie średniego zasięgu dostaw dronami Dronamics z usługami DHL obejmującymi pierwszy i ostatni odcinek dostawy. 2. Znaczenie dla Dronamics. Partnerstwo z DHL, jednym z największych dostawców logistycznych na świecie, stanowi znaczący krok w komercjalizacji usług dostaw dronowych Dronamics. Oczekuje się, że przyniesie ono Dronamics roczne przychody w wysokości około 1,86 miliarda euro, a plany zakładają budowę i eksploatację ponad 4000 dronów ładunkowych w nadchodzących latach. 3. Parametry dronów Black Swan. Drony te zostały zaprojektowane specjalnie do celów transportu ładunków. Są zdolne do przenoszenia ładunków o masie porównywalnej do małego samochodu dostawczego na odległość do 2500 km, co przyczynia się do oszczędności kosztów, czasu i emisji dwutlenku węgla. Zostały przystosowane do lądowania na krótkich pasach startowych o długości zaledwie 400 m. 4. Zalety ekologiczne. Drony Black Swan są zaprojektowane z myślą o wykorzystaniu biopaliw; istnieją plany

odległość nawet kilku tysięcy kilometrów. Koszt takiej usługi może być nawet o 80% niższy niż realizowanej przez konwencjonalne samoloty transportowe. Pierwszym lotniskiem, na którym pojawiły się drony tej firmy, było chorwackie lotnisko Osijek.

Rozwiązania zaproponowane przez niemiecką firmę Volocopter¹⁴³, która w Singapurze przeprowadza testy w celu poprawy połączeń między tamtejszymi wyspami, można uznać za początek systemu transportu pasażerskiego przy wykorzystaniu BSP. Zaprojektowany przez tę firmę dron ma umożliwić zabranie na pokład nawet czterech osób na trasach o długości 100 km i wykonanie lotu z prędkością 180 km/h. Oprócz początkowych śródmiejskich lotów turystycznych, Volocopter zapewni nowy wymiar transportu, aby połączyć wyspy, skrócić czas podróży, promować wzrost gospodarek regionalnych i wzmocnić spójność społeczną. Jak określono w „Zielonym planie Singapuru 2030”¹⁴⁴, miasto ma na celu wzmocnienie swojego zobowiązania w ramach „Agendy ONZ 2030”¹⁴⁵

ich przejścia na rozwiązania oparte na wodorze i paliwach syntetycznych. Dzięki temu generują o 60% mniej emisji niż obecne opcje transportowe, co wpisuje się w dążenie DHL do osiągnięcia neutralności węglowej do 2050 r. To partnerstwo podkreśla rosnące znaczenie technologii dronów w przemyśle logistycznym, oferując nowatorskie rozwiązania w zakresie szybkiego i ekologicznego transportu ładunków.

¹⁴³ Volocopter to niemiecka firma zajmująca się technologią lotniczą, projektująca i produkująca elektryczne wielowirnikowe śmigłowce znane jako eVTOL do zastosowań w mobilności miejskiej. Jej flagowym produktem jest Volocopter – lekki, elektryczny, wielowirnikowy śmigłowiec zaprojektowany do przewożenia pasażerów na krótkich dystansach w obszarach miejskich. Volocopter jest jednym z liderów w rozwijającej się branży miejskich pojazdów powietrznych (Urban AirMobility, UAM) i przyczynia się do tworzenia nowej kategorii miejskiego transportu lotniczego, który ma być bezpieczny, cichy i przyjazny dla środowiska.

¹⁴⁴ „Zielony Plan Singapuru 2030” to ambitna strategia narodowa mająca na celu przeciwdziałanie zmianom klimatu i zrównoważony rozwój Singapuru. Ogłoszony w 2021 r. plan stawia na ochronę środowiska i zrównoważone technologie, wyznaczając konkretne cele do osiągnięcia do 2030 r. Główne cele planu to: 1. Energia i zmiany klimatu – czterokrotne zwiększenie produkcji energii słonecznej do 2025 r. oraz dążenie do osiągnięcia neutralności węglowej w dłuższej perspektywie. 2. Zrównoważone życie – zmniejszenie do 2030 r. ilości odpadów trafiających na wysypiska o 30% oraz poprawa recyklingu. 3. Zielona gospodarka – wspieranie zielonych miejsc pracy i zrównoważonych przemysłów. 4. Odporna przyszłość – zwiększenie bezpieczeństwa żywnościowego i zasobów wodnych, w tym produkcja pokrywająca 30% lokalnych potrzeb żywnościowych. Plan ten ma na celu nie tylko ochronę środowiska, ale także stworzenie nowych możliwości gospodarczych w sektorze zielonej energii i zrównoważonego rozwoju.

¹⁴⁵ „Agenda ONZ 2030” to globalny plan działania na rzecz zrównoważonego rozwoju, przyjęty przez 193 państwa członkowskie ONZ w 2015 r. Składa się z 17 celów zrównoważonego rozwoju (SDGs), które mają być zrealizowane do 2030 r. Celem „Agendy” jest walka z ubóstwem, ochrona planety oraz zapewnienie dobrobytu wszystkim ludziom. Główne jej założenia obejmują:

i „Porozumienia paryskiego”¹⁴⁶, aby osiągnąć długoterminowe aspiracje zerowej emisji netto tak szybko, jak to możliwe.

Badania wykazały, że podróż na odległość 100 km (od punktu do punktu) z jednym pilotem w samolocie eVTOL powoduje emisję gazów cieplarnianych o 35% niższą niż w przypadku jednoosobowego ICEV¹⁴⁷.

Taksówka powietrzna VoloCity¹⁴⁸ to zaawansowany technologicznie samolot elektryczny z możliwością pionowego startu i lądowania. Osiemnaście silników VoloCity jest zasilanych przez dziewięć akumulatorów, które można wymieniać między lotami przy minimalnym czasie przebywania na ziemi. Poza zerową emisją CO₂ podczas lotu kolejną zaletą w aspekcie operacji realizowanych w mieście oraz przyczyną zadowolenia pasażerów jest niski poziom hałasu samolotów

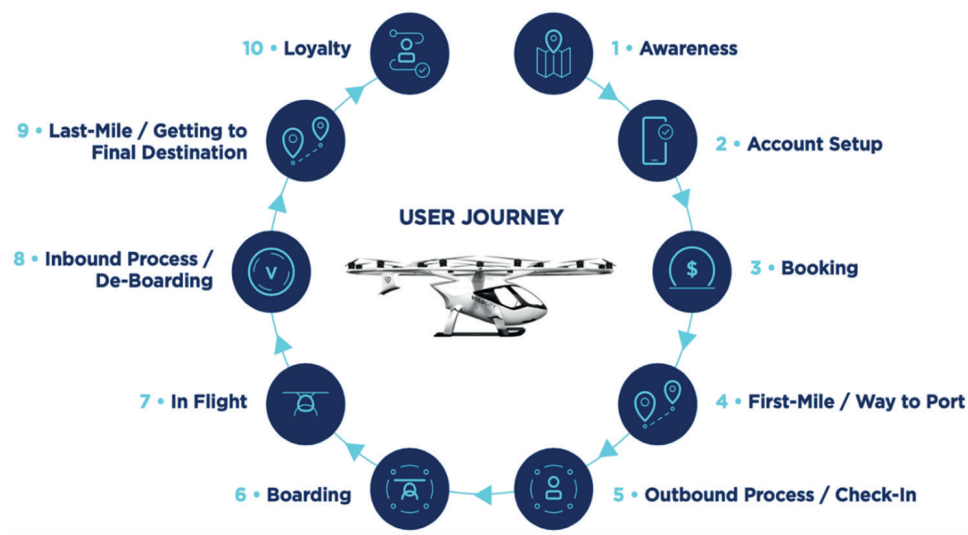
zwalczanie ubóstwa i głodu na całym świecie; zapewnienie równości płci i zwiększenie dostępu do edukacji; ochrona środowiska przez działania na rzecz klimatu, zrównoważonego rolnictwa, czystej energii i zarządzania zasobami wodnymi; poprawa jakości życia przez dostęp do godnej pracy, opiekę zdrowotną oraz budowę silnych instytucji. „Agenda ONZ 2030” stawia na współpracę międzynarodową, integrację ekonomiczną, społeczną i ekologiczną, aby tworzyć bardziej sprawiedliwy i zrównoważony świat.

¹⁴⁶ „Porozumienie paryskie” to międzynarodowa umowa klimatyczna przyjęta w 2015 r. podczas Konferencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu (COP21) w Paryżu. Jej głównym celem jest ograniczenie globalnego ocieplenia do poziomu znacznie poniżej 2°C, a najlepiej do 1,5°C, w porównaniu z poziomami sprzed epoki przemysłowej. „Porozumienie” zobowiązuje wszystkie kraje do podejmowania wysiłków na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz adaptacji do skutków zmian klimatycznych. Główne założenia: 1. Redukcja emisji – każde państwo zobowiązuje się do przedstawienia i realizowania krajowych planów redukcji emisji (tzw. Nationally Determined Contributions, NDCs). 2. Wzmacnianie adaptacji – kraje mają podjąć działania na rzecz zwiększenia odporności na skutki zmian klimatycznych. 3. Wsparcie finansowe – bogatsze kraje zobowiązały się wspierać finansowo państwa rozwijające się w walce ze zmianami klimatu, szczególnie poprzez fundusz klimatyczny. „Porozumienie paryskie” jest wyjątkowe, ponieważ obejmuje prawie wszystkie kraje na świecie, które wspólnie pracują nad zmniejszeniem skutków globalnego ocieplenia.

¹⁴⁷ Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV, pojazd z silnikiem spalinowym). Jest to tradycyjny typ pojazdu, który do napędzania wykorzystuje silnik spalinowy. Silniki te mogą używać różnych rodzajów paliw, takich jak benzyna, olej napędowy, gaz ziemny, a nawet etanol. ICEV był dominującą formą transportu przez większą część XX w., ale współcześnie w obliczu rosnącej świadomości ekologicznej i problemów związanych ze zmianami klimatycznymi rozwijają się alternatywne technologie napędowe, takie jak pojazdy elektryczne (EV) i hybrydowe (HEV).

¹⁴⁸ VoloCity to elektryczna taksówka powietrzna opracowana przez niemiecką firmę Volocopter. Jest to pojazd typu eVTOL, co oznacza, że jest zdolny do pionowego startu i lądowania. Projekt VoloCity koncentruje się na mobilności miejskiej i oferuje szybki, cichy i ekologiczny transport w zatłoczonych obszarach miejskich. VoloCity jest zaprojektowana do przewożenia dwóch osób i ich bagażu. Dzięki napędowi elektrycznemu taksówka ta generuje znacznie mniej hałasu niż tradycyjne śmigłowce, a brak emisji spalin sprawia, że jest to rozwiązanie przyjazne dla środowiska.

eVTOL. W rzeczywistości taksówki powietrzne VoloCity są 4–5 razy cichsze niż mały helikopter. Badania przeprowadzone przez firmę Volocopter potwierdzają zainteresowanie pasażerów takimi usługami z uwagi na skrócenie czasu transportu zwłaszcza w obszarach znacznie zatłoczonych. Taką deklarację składają najczęściej osoby w przedziale wiekowym 18–29 lat.



Rysunek 32. Przykładowa podróż użytkownika

Źródło: <https://www.studiogiraffe.sg/projects/volocopter-singapore-roadmap-white-paper> (dostęp: 18.10.2024).

Aby komercyjnie wykorzystywać eVTOL-e, niezbędne jest opracowanie szczegółowej strategii obejmującej szkolenie personelu, zarządzanie operacjami taksówek powietrznych, konserwację, naprawy i remonty maszyn, wsparcie infrastrukturalne oraz digitalizację przestrzeni powietrznej.

Oprócz prowadzenia przygotowań do komercyjnego uruchomienia taksówek powietrznych, Volocopter bada również możliwości wprowadzenia w Singapurze VoloDrone. W tym kontekście świadczenie w tym mieście, a także okolicach, usług cargo w służyłoby jako element wartości dodanej dla całego łańcucha dostaw, tym samym uzupełniając istniejącą sieć logistyczną transportu¹⁴⁹.

¹⁴⁹ <https://cdn.volocopter.com/assets/vnrac6vfvrab/2XCrOX1ZScmrQgtNopewZM/878ead8a741329b516df836b77b1220b/Volocopter-Roadmap-for-Scalable-Urban-Air-Mobility.pdf> (dostęp: 18.10.2024).

Oczywiście to jeden z wielu projektów, które są realizowane na świecie, co wskazuje na wzmoczoną działalność w zakresie zastosowania inteligentnych pojazdów powietrznych.

Kolejnym krokiem w redukcji personelu latającego jest zmniejszenie liczby pilotów na pokładzie do jednego. Wydaje się to być etapem przejściowym w kierunku pełnej autonomii lotów pasażerskich i towarowych. Redukcja liczby pilotów pomoże złagodzić negatywne skutki społeczne związane z utratą miejsc pracy i potrzebą szkolenia pilotów.

Obecnie piloci przechodzą szkolenie na drugich pilotów, a następnie, po zdobyciu odpowiedniego doświadczenia, mogą ubiegać się o szkolenie na kapitanów. Odnośnie do modelu z jednym pilotem pojawiają się pytania, jak piloci zdobędą niezbędne doświadczenie do pełnienia roli kapitana oraz jakie zmiany w szkoleniu będą potrzebne. Istnieje obawa, że wszyscy piloci mogliby automatycznie stać się kapitanami, mimo że odpowiedzialność kapitana obejmuje nie tylko prowadzenie statku powietrznego, ale także podejmowanie decyzji dotyczących bezpieczeństwa, zarządzania załogą i sytuacjami pasażerskimi. Warto również rozważyć, jakie kwalifikacje będą wymagane od personelu naziemnego i czy będzie on rekrutowany spośród osób spoza obecnych zasobów lotniczych.

Nowe podejście do operacji z jednym pilotem i zmieniające się koncepcje operacyjne będą wymagały modyfikacji w szkoleniu, zarówno indywidualnym, jak i zespołowym. Rozwój szkoleń będzie wymagał zaawansowanego zaplecza, takiego jak symulatory, szkolenia komputerowe oraz symulacje operacyjne. Istnieje również pytanie o wpływ tych zmian na kulturę organizacyjną linii lotniczych, w tym kwestie awansu i znaczenie stażu pracy. Można przypuszczać, że będzie potrzeba dostosowania wymagań dotyczących wiedzy i umiejętności z przesunięciem nacisku z tradycyjnych umiejętności manualnych na kompetencje związane z systemami nadzoru i monitorowania, co zmieni sposób pozyskiwania wiedzy.

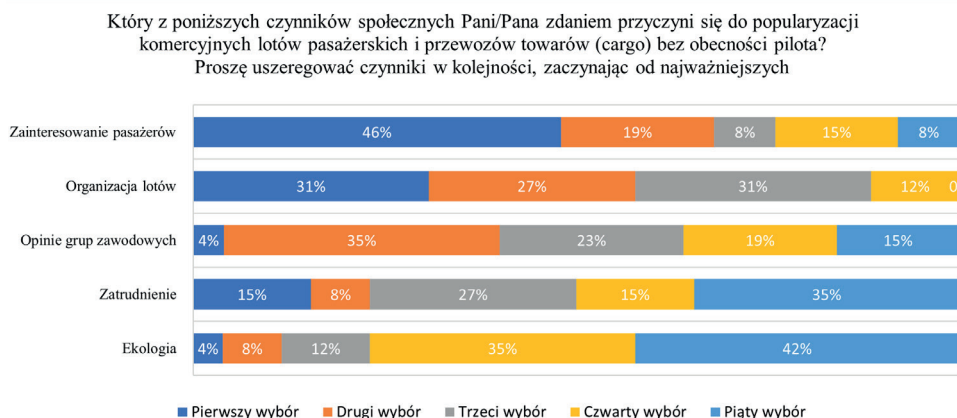
Przemysł lotniczy, nowe technologie oraz inicjatywy w ramach EASA wspierają rozwój bezzałogowych i jednopilotowych statków powietrznych w transporcie pasażerskim i cargo. Trwają aktualnie prace nad opracowaniem ram prawnych dla eksploatacji dronów, które mają na celu ułatwienie innowacyjnej mobilności lotniczej oraz ograniczenie potrzeby zatrudniania załóg.

Aspekty społeczne, takie jak różnice pokoleniowe ujawniające się m.in. w postrzeganiu innowacji i zmieniające się podejście do pracy, mogą początkowo stwarzać trudności, ale z czasem nowe rozwiązania mogą okazać się skuteczne i efektywne. Drony jako „przedłużenie ludzkich zmysłów” umożliwiają poznawanie przestrzeni w sposób, który wcześniej nie był możliwy.

Socjologia podróży bada, jak wpływają one na sposób eksplorowania i rozumienia świata przez ludzi. Przestrzeń jest kształtowana w odpowiedzi na ludzkie potrzeby, a drony są kolejnym narzędziem do wzbogacania doświadczeń przestrzennych.

4.5. Prezentacja wyników badań

Respondenci zostali poproszeni o uszeregowanie wskazanych czynników społecznych, które przyczynią się do popularyzacji komercyjnych lotów pasażerskich i przewozów towarów bez obecności pilota, w kolejności od najważniejszego (rys. 33).



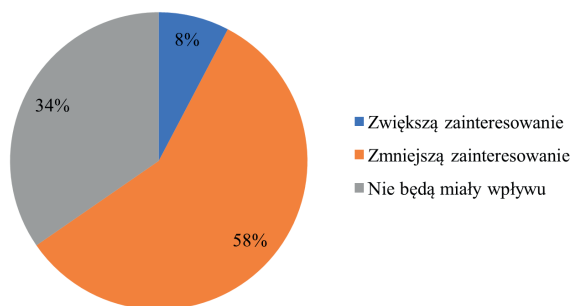
Rysunek 33. Istotność czynników społecznych w aspekcie popularyzacji lotów bezzałogowych
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁵⁰.

Najwięcej respondentów (46%) jako najważniejszy czynnik społeczny przyczyniający się do popularyzacji komercyjnych lotów pasażerskich i przewozów towarowych bez obecności pilota wskazało zainteresowanie pasażerów. Na drugim miejscu uplasowała się organizacja lotów – 31%. Jako czynniki najmniej istotne wskazano ekologię (pierwszy wybór – 4%, ostatni wybór – 42%) oraz opinie grup zawodowych (pierwszy wybór – 4%, ostatni wybór – 35%).

W ramach badania zapytano respondentów, czy brak pilota na pokładzie w komercyjnych lotach pasażerskich będzie wpływał na zainteresowanie pasażerów takimi lotami (rys. 34).

¹⁵⁰ Raport *Analiza czynników społecznych...*, op. cit.

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na zainteresowanie pasażerów takimi lotami?



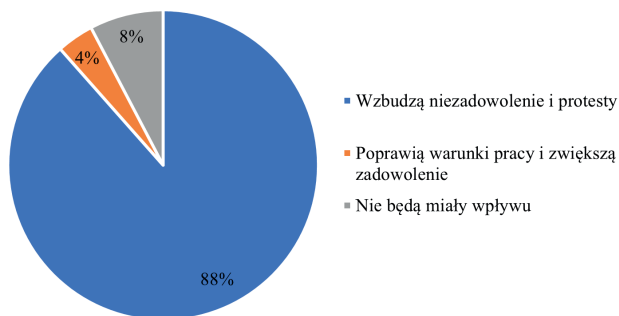
Rysunek 34. Zainteresowanie lotami bezpilotowymi

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁵¹.

58% ankietowanych uważało, że komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie zmniejszą zainteresowanie takimi lotami. Odmiennego zdania było 8% badanych. 34% respondentów wskazało, że nie będą miały wpływu na zainteresowanie pasażerów.

Badani zostali poproszeni o udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na opinie lotniczych grup zawodowych lub innych środowisk związanych z branżą lotniczą (rys. 35).

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na opinie lotniczych grup zawodowych lub innych środowisk związanych z branżą lotniczą?



Rysunek 35. Opinie grup społecznych sektora lotniczego na temat lotów bezpilotowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁵².

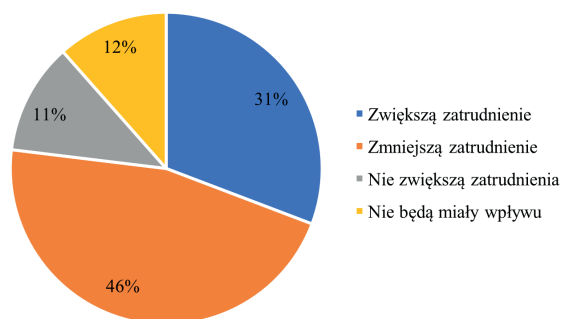
¹⁵¹ Ibidem.

¹⁵² Ibidem.

Aż 88% badanych uznało, że komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie wzbudzą niezadowolenie i protesty grup zawodowych lub innych środowisk związanych z branżą lotniczą. 4% wskazało, że społeczności te uznają, iż loty poprawią warunki pracy i zwiększy się ich zadowolenie, natomiast 8% uznało, że nie będą miały wpływu na opinie lotniczych grup zawodowych lub innych środowisk związanych z branżą lotniczą.

Na pytanie, czy komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na zatrudnienie personelu niezbędnego do nadzoru i kontroli lotów (rys. 36), 31% respondentów odpowiedziało, że spowodują one zwiększenie zatrudnienia. Odmienne zdania było 46% badanych. 11% ankietowanych uważało, że nie przyczynią się one do zwiększenia zatrudnienia, a 12%, że nie będą miały na nie wpływu.

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na zatrudnienie personelu niezbędnego do nadzoru i kontroli lotów?



Rysunek 36. Wpływ lotów bezpilotowych na zatrudnienie

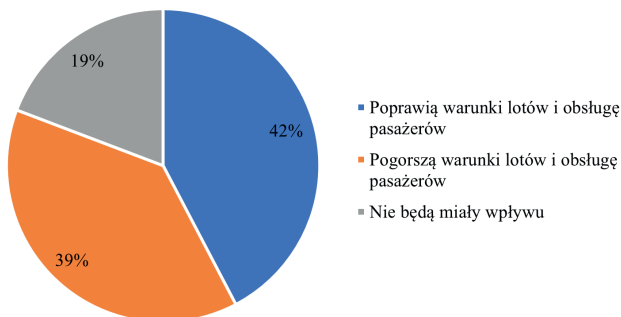
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁵³.

W czasie badania poproszono respondentów o odpowiedź na pytanie, czy komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na organizację lotów (rys. 37).

42% badanych wskazało, że komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie spowodują poprawę warunków lotów i jakości obsługi. Przeciwnego zdania było 39% respondentów. 19% ankietowanych stwierdziło, że nie będą miały one wpływu na organizację lotów.

¹⁵³ Ibidem.

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na organizację lotów?

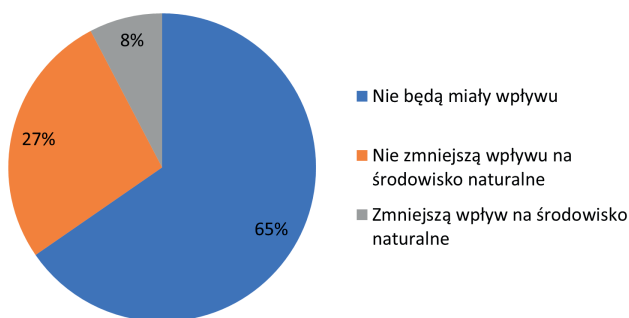


Rysunek 37. Wpływ bezpilotowych lotów na organizację zarządzania lotami

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁵⁴.

W dalszej kolejności badani poproszeni zostali o udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na środowisko naturalne (rys. 38).

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na środowisko naturalne?



Rysunek 38. Wpływ lotów bezpilotowych na środowisko naturalne

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁵⁵.

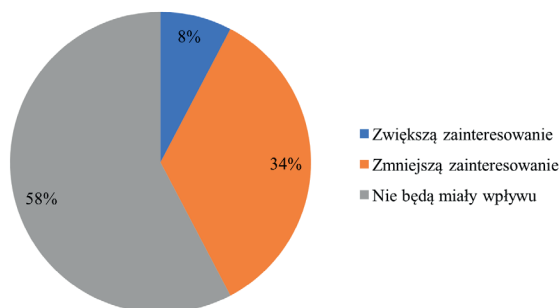
Większość respondentów (65%) wskazała, że komercyjne loty pasażerskie bez obecności pilotów na pokładzie nie wpłyną na środowisko naturalne. 27% badanych uważało, iż nie zmniejszą one wpływu, a 8%, że spowodują jego zmniejszenie.

¹⁵⁴ Ibidem.

¹⁵⁵ Ibidem.

Kolejne pytanie dotyczyło zainteresowania pasażerów komercyjnymi lotami pasażerskimi z udziałem jednego pilota (rys. 39).

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota będą wpływały na zainteresowanie pasażerów takimi lotami?



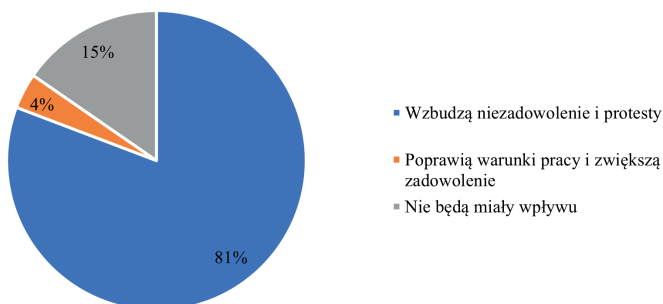
Rysunek 39. Wpływ udziału jednego pilota na zainteresowanie lotami

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁵⁶.

Zdaniem 58% badanych udział jednego pilota w komercyjnych lotach pasażerskich nie będzie miał wpływu na zainteresowanie pasażerów takimi lotami. 34% respondentów uważało z kolei, że zmniejszy zainteresowanie nimi, podczas gdy 8% z nich było odmiennego zdania.

Kolejne pytanie dotyczyło wpływu komercyjnych lotów pasażerskich z udziałem jednego pilota na opinie lotniczych grup zawodowych lub innych środowisk związanych z branżą lotniczą (rys. 40).

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota będą wpływały na opinie lotniczych grup zawodowych lub innych środowisk związanych z branżą lotniczą?



Rysunek 40. Wpływ lotów z jednym pilotem na opinie grup społecznych

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁵⁷.

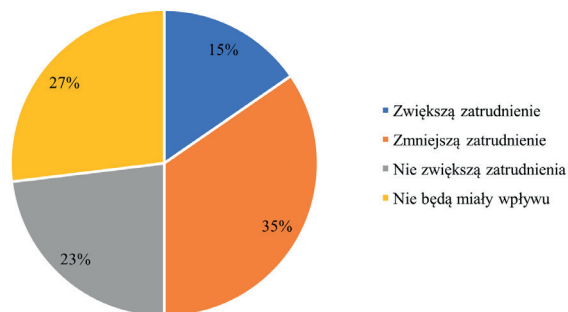
¹⁵⁶ Ibidem.

¹⁵⁷ Ibidem.

Zdecydowana większość ankietowanych (81%) odpowiedziała, że komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota wzbudzą niezadowolenie i protesty grup zawodowych lub innych środowisk związanych z branżą lotniczą. Odmiennego zdania było 4% badanych. 15% uważało natomiast, że loty te nie wpłyną na opinie grup zawodowych lub innych środowisk związanych z branżą lotniczą.

Strukturę odpowiedzi udzielonych na pytanie o wpływ komercyjnych lotów pasażerskich z udziałem jednego pilota na zatrudnienie personelu niezbędnego do nadzoru lotów zaprezentowano na rysunku 41.

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota będą wpływały na zatrudnienie personelu niezbędnego do nadzoru lotów?



Rysunek 41. Wpływ lotów z jednym pilotem na zatrudnienie personelu nadzoru lotów

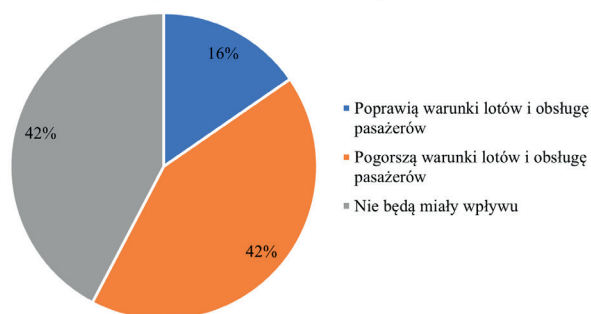
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁵⁸.

35% badanych było zdania, że komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota spowodują zmniejszenie zatrudnienia. Odmiennego zdania było 15%. 23% ankietowanych uważało, że loty te nie spowodują zwiększenia zatrudnienia, a 27%, że nie będą miały na nie wpływu.

Na pytanie, czy komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota będą wpływały na organizację lotów (rys. 42), 42% badanych odpowiedziało, że pogorszą się warunki lotów i jakość obsługi pasażerów; tyle samo osób stwierdziło, że nie będą miały wpływu. 16% respondentów uważało, że poprawie ulegną warunki lotów oraz jakość obsługi pasażerów.

¹⁵⁸ Ibidem.

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota będą wpływały na organizację lotów?

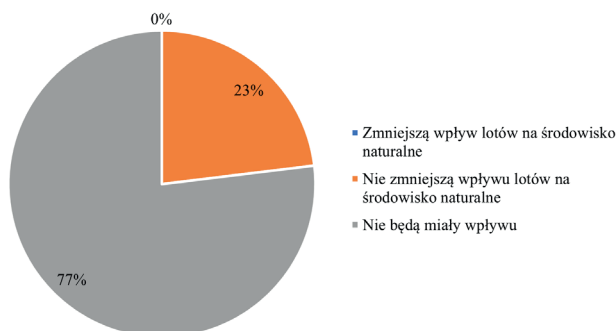


Rysunek 42. Wpływ lotu z jednym pilotem na organizację lotów

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁵⁹.

Respondentów zapytano kolejno o wpływ komercyjnych lotów pasażerskich z udziałem jednego pilota na środowisko naturalne (rys. 43).

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota będą wpływały na środowisko naturalne?



Rysunek 43. Wpływ lotu z jednym pilotem na środowisko naturalne

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁶⁰.

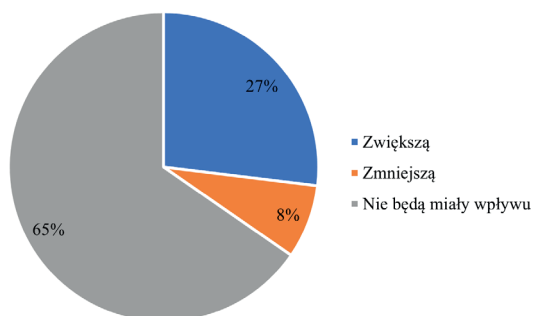
77% ankietowanych uważało, że komercyjne loty pasażerskie z udziałem jednego pilota nie będą miały wpływu na środowisko naturalne. Z kolei 23% badanych wskazało, że nie zmniejszą ogólnego wpływu.

Kolejne pytania dotyczyły przewozów towarowych (cargo). W pierwszej kolejności zapytano, czy lotnicze przewozy tych towarów bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na popyt (rys. 44).

¹⁵⁹ Ibidem.

¹⁶⁰ Ibidem.

Czy Pani/Pana zdaniem lotnicze przewozy towarów (cargo) bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na popyt?



Rysunek 44. Wpływ lotów bezpilotowych na popyt

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁶¹.

65% badanych uważało, że lotnicze przewozy towarowe (cargo) bez obecności pilotów na pokładzie nie będą miały wpływu na popyt. Z kolei 27% ankietowanych stwierdziło, że się on zwiększy. Odmiennego zdania było 8% badanych.

Następnie zapytano o wpływ lotniczych przewozów towarów (cargo) bez obecności pilotów na pokładzie na opinie lotniczych grup zawodowych lub innych środowisk związanych z branżą lotniczą (rys. 45).

Czy Pani/Pana zdaniem lotnicze przewozy towarów (cargo) bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na opinie lotniczych grup zawodowych lub innych środowisk związanych z branżą lotniczą?



Rysunek 45. Wpływ lotów bezpilotowych na opinie grup zawodowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁶².

77% respondentów uważało, że zawarte w pytaniu działania wzbudzą niezadowolenie i protesty lotniczych grup zawodowych oraz innych środowisk

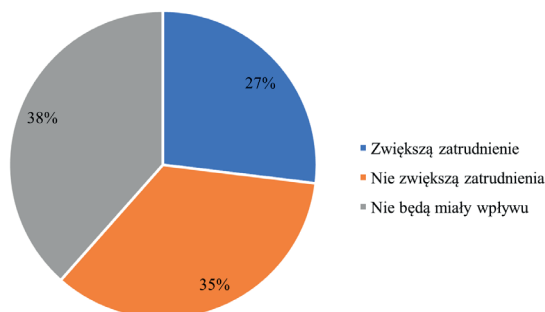
¹⁶¹ Ibidem.

¹⁶² Ibidem.

związanych z branżą lotniczą. 12% respondentów było zdania, iż nie będą one miały wpływu na te opinie, natomiast 11%, że spowodują poprawę warunków pracy i zwiększenie zadowolenia.

Zapytano również o wpływ lotniczych przewozów towarów (cargo) bez obecności pilotów na pokładzie na zatrudnienie personelu niezbędnego do nadzoru lotów (rys. 46).

Czy Pani/Pana zdaniem lotnicze przewozy towarów (cargo) bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na zatrudnienie personelu niezbędnego do nadzoru lotów?

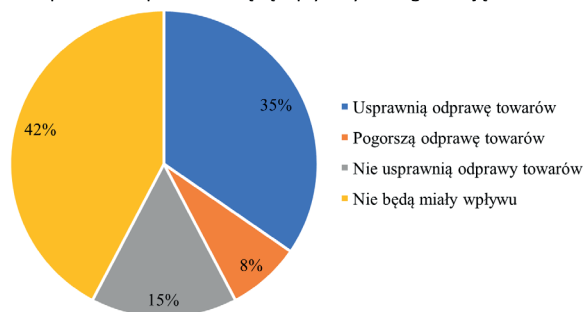


Rysunek 46. Wpływ lotów towarowych bezpilotowych na zatrudnienie nadzoru lotów

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁶³.

38% badanych wskazało, że lotnicze przewozy towarów (cargo) bez obecności pilotów na pokładzie nie będą miały wpływu na zatrudnienie personelu niezbędnego do nadzoru lotów. 35% respondentów było zdania, że nie spowodują zwiększenia zatrudnienia, a odmiennego zdania było 27% badanych.

Czy Pani/Pana zdaniem lotnicze przewozy towarów (cargo) bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na organizację lotów?



Rysunek 47. Wpływ lotów towarowych bezpilotowych na organizację lotów

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁶⁴.

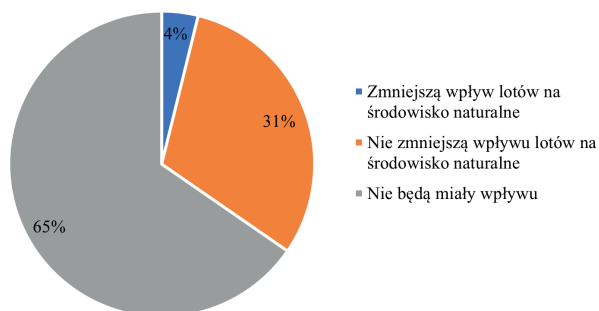
¹⁶³ Ibidem.

¹⁶⁴ Ibidem.

Na pytanie o wpływ lotniczych przewozów towarów (cargo) bez obecności pilotów na organizację lotów (rys. 47), 42% badanych odpowiedziało, że tego oddziaływania nie będzie. Z kolei 35% respondentów uważało, że usprawnią one odprawę towarów. Odmiennego zdania było 15% badanych. 8% wskazało natomiast, że pogorszą organizację w zakresie odprawy towarów.

Kolejne pytanie dotyczyło wpływu na środowisko naturalne lotniczych przewozów towarów (cargo) bez obecności pilotów na pokładzie (rys. 48).

Czy Pani/Pana zdaniem lotnicze przewozy towarów (cargo) bez obecności pilotów na pokładzie będą wpływały na środowisko naturalne?



Rysunek 48. Wpływ towarowych lotów bezpilotowych na środowisko naturalne

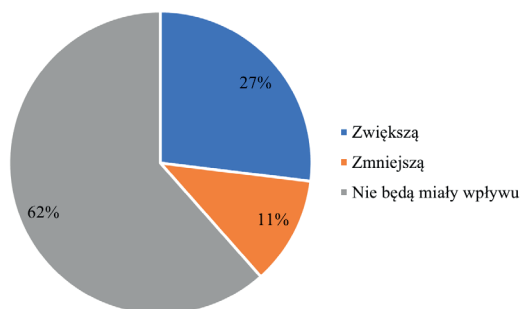
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁶⁵.

65% badanych uważało, że lotnicze przewozy towarów (cargo) bez obecności pilotów na pokładzie nie będą miały wpływu na środowisko naturalne. 31% ankietowanych wskazało, że działania takie nie zmniejszą wpływu na środowisko. Odmiennego zdania było 4% badanych.

Na pytanie dotyczące wpływu lotniczych przewozów towarowych (cargo) z udziałem jednego pilota (rys. 49) na popyt, 62% badanych odpowiedziało, że działania te nie będą miały takiego oddziaływania. 27% respondentów uważa, że zwiększą one popyt, natomiast 11%, że go zmniejszą.

¹⁶⁵ Ibidem.

Czy Pani/Pana zdaniem lotnicze przewozy towarów (cargo) z udziałem jednego pilota będą wpływały na popyt?



Rysunek 49. Wpływ towarowych lotów z jednym pilotem na popyt

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁶⁶.

Poproszono też respondentów o odpowiedź na pytanie, czy lotnicze przewozy towarów (cargo) z udziałem jednego pilota wpłyną na opinie lotniczych grup zawodowych lub innych środowisk związanych z branżą lotniczą (rys. 50).

Czy Pani/Pana zdaniem lotnicze przewozy towarów (cargo) z udziałem jednego pilota będą wpływały na opinie lotniczych grup zawodowych lub innych środowisk związanych z branżą lotniczą?



Rysunek 50. Wpływ lotów towarowych z jednym pilotem na opinie grup zawodowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁶⁷.

77% badanych uważało, że lotnicze przewozy towarów (cargo) z udziałem jednego pilota spowodują pogorszenie warunków pracy oraz zwiększenie niezadowolenia i protesty. Odmiennego zdania było 4% badanych. 19% respondentów

¹⁶⁶ Ibidem.

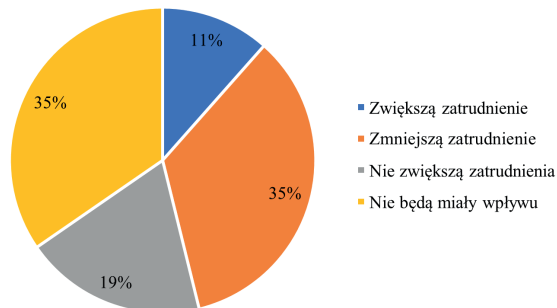
¹⁶⁷ Ibidem

wskazało, że działania te nie będą miały wpływu na opinie lotniczych grup zawodowych oraz innych środowisk związanych z branżą lotniczą.

Następne pytanie dotyczyło wpływu lotniczych przewozów towarów (cargo) z udziałem jednego pilota na zatrudnienie personelu niezbędnego do nadzoru lotów (rys. 51).

35% respondentów wskazało, że lotnicze przewozy towarów (cargo) z udziałem jednego pilota spowodują zmniejszenie zatrudnienia, a tyle samo, że nie będą miały na nie wpływu. 19% badanych uważało, że nie spowodują one zwiększenia zatrudnienia, a 11%, że wpłyną na jego zwiększenie.

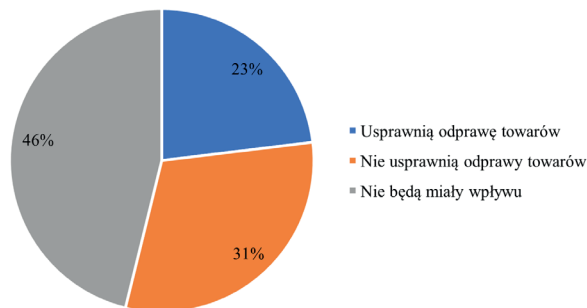
Czy Pani/Pana zdaniem lotnicze przewozy towarów (cargo) z udziałem jednego pilota będą wpływały na zatrudnienie personelu niezbędnego do nadzoru lotów?



Rysunek 51. Wpływ lotów towarowych na zatrudnienie nadzoru lotów

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁶⁸.

Czy Pani/Pana zdaniem lotnicze przewozy towarów (cargo) z udziałem jednego pilota będą wpływały na organizację lotów?



Rysunek 52. Wpływ lotów towarowych z jednym pilotem na organizację lotów

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁶⁹.

¹⁶⁸ Ibidem.

¹⁶⁹ Ibidem.

46% ankietowanych, zapytanych o wpływ lotniczych przewozów towarowych (cargo) z udziałem jednego pilota na organizację lotów (rys. 52), odpowiedziało, że pozostaną one bez wpływu na tę organizację. 31% badanych wskazało, że działania te nie usprawnią odprawy towarów. Przeciwnego zdania było 23% badanych.

Ostatnie w tej części ankiety pytanie dotyczyło wpływu lotniczych przewozów towarowych (cargo) z udziałem jednego pilota na środowisko naturalne (rys. 53).

Czy Pani/Pana zdaniem lotnicze przewozy towarów (cargo) z udziałem jednego pilota będą wpływały na środowisko naturalne?



Rysunek 53. Wpływ towarowych lotów z jednym pilotem na środowisko naturalne

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁷⁰.

73% badanych odpowiedziało, że przewozy te nie będą miały wpływu na środowisko naturalne. Z kolei 27% ankietowanych wyraziło przekonanie, że nie zmniejszą wpływu.

4.6. Podsumowanie – czynnik społeczny

Na podstawie wyników ankiety przeprowadzonej przez zespół badawczy można stwierdzić, że na akceptację społeczną zmian w transporcie lotniczym wpływają przede wszystkim zainteresowania pasażerów, a następnie organizacja lotów i opinie różnych grup zawodowych. Istotnym czynnikiem są również kwestie związane z zatrudnieniem, które szczególnie podkreślają określone grupy zawodowe. Ekologia, zdaniem respondentów, ma najmniejszy wpływ na decyzje dotyczące redukcji personelu lotniczego w komercyjnych przewozach pasażerskich

¹⁷⁰ Ibidem.

i cargo, w tym przy wprowadzaniu bezzałogowych lub jednopilotowych statków powietrznych.

W ramach badania czynnika społecznego wytypowano elementy, które mogą mieć wpływ na wdrożenie koncepcji w zakresie przewozów pasażerskich i towarowych, a także lotów bez pilota i z obecnością jednego pilota na pokładzie (tab. 3).

Tabela 4. Rodzaje czynników społecznych

Lp.	Rodzaj czynnika	Bez obecności pilota	Z jednym pilotem
Przewozy pasażerskie			
1.	Zainteresowanie lotami	58% – zmniejszy zainteresowanie	58% – nie będzie mieć wpływu
2.	Niezadowolenie grup społecznych branży lotniczej	88% – wzbudzi niezadowolenie	81% – wzbudzi niezadowolenie
3.	Wzrost zatrudnienia personelu nadzoru i kontroli ruchu	46% – zwiększy zatrudnienie	35% – zmniejszy zatrudnienie
4.	Organizacja lotu	42% – poprawi warunki lotu	42% – pogorszy warunki lotów
5.	Środowisko naturalne	65% – nie ma wpływu	77% – nie ma wpływu
Przewozy towarowe			
1.	Zainteresowanie przewozami	65% – nie wpłynie	62% – nie wpłynie
2.	Niezadowolenie grup społecznych branży lotniczej – pogorszy warunki pracy	77% – wzbudzi niezadowolenie	77% – wzbudzi niezadowolenie
3.	Wzrost zatrudnienia personelu nadzoru i kontroli ruchu	38% – nie zwiększy zatrudnienia	35% – zmniejszy zatrudnienie
4.	Organizacja lotu	42% – nie ma wpływu	46% – nie ma wpływu
5.	Środowisko naturalne	65% – nie ma wpływu	73% – nie ma wpływu

Źródło: opracowanie własne.

Analiza dostępnej literatury pozwala stwierdzić, że kształcenie pilotów pozostaje problemem kluczowym. Obecny proces szkolenia jest nie tylko czasochłonny, ale również kosztowny. Choć loty autonomiczne mogą w przyszłości zredukować rolę pilotów w sterowaniu statkami powietrznymi, całkowite wyeliminowanie czynnika ludzkiego w najbliższym czasie wydaje się mało prawdopodobne. Nawet przy wprowadzeniu lotów autonomicznych nadal będzie

konieczne zatrudnianie personelu naziemnego do nadzoru operacyjnego oraz komunikacji z kontrolą ruchu lotniczego. Przewoźnicy będą zmuszeni do tworzenia centrów operacyjnych, co przyczyni się do powstania nowych miejsc pracy. Tego rodzaju zmiany są szczególnie istotne w początkowych latach wdrażania bezzałogowych lotów pasażerskich i towarowych. Również będzie musiał zostać dostosowany proces kształcenia personelu naziemnego obsługującego loty. Obecnie w Polsce brak jest placówek edukacyjnych zajmujących się kształceniem w tym zakresie, a instytucje szkoleniowe skupiają się głównie na specjalnościach operatorów działających na mniejszą skalę.

Loty z jednym pilotem na pokładzie nie spowodują wprowadzenia znaczących zmian w nadzorze lotów ani w systemie szkolenia. Jediną różnicą będzie sposób zdobywania doświadczenia – prawdopodobnie poprzez udział w symulacjach. W tej kwestii wciąż trwa dyskusja, jak najlepiej przygotować pilotów do samodzielnego lotu.

Zebrane dane z ankiety pokazują, że opinie respondentów na temat wpływu lotów bezzałogowych i z jednym pilotem na środowisko różnią się od przedstawionych w literaturze. Respondenci nie dostrzegają potencjalnego wpływu tych technologii na ochronę środowiska ani na zmniejszenie zużycia paliwa. Różnice te mogą wynikać z innego postrzegania skali i charakteru takich lotów. Wprowadzenie autonomicznych lotów pasażerskich, poprzedzone licznymi testami różnych rozwiązań, może jednak znacznie zmienić infrastrukturę lotniczą i jej dostępność. Nowe technologie, takie jak napęd elektryczny i pionowzloty, mogą zmniejszyć emisję zanieczyszczeń i hałas, a także umożliwić budowę lądowisk bliżej centrów komunikacyjnych oraz w obszarach logistycznych.

Niezależnie od kierunku rozwoju koncepcji lotów bezzałogowych i z jednym pilotem, proces szkolenia pilotów będzie wymagał dostosowania. Jednak kierunek tych zmian będzie zależał od wizji przyszłości tego sektora.

ROZDZIAŁ 5

CZYNNIKI EKONOMICZNE

5.1. Badania czynników ekonomicznych redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich oraz cargo przy wykorzystaniu statków powietrznych bezzałogowych oraz z jednym pilotem

Poza akceptacją załóg jednopilotowych w aspekcie technologicznym, społecznym i regulacyjnym, ważne będzie także skuteczne rozwiązanie wyzwań organizacyjnych związanych z pilotami, personelem naziemnym i wymaganym szkoleniem.

Obecny system kwalifikacji pilotów jest czasochłonny i kosztowny, co wpływa na ekonomię przewoźników. W kontekście wprowadzenia koncepcji jednego pilota, eliminacja roli drugiego pilota rodzi pytania dotyczące sposobów zdobywania przez pilotów niezbędnego doświadczenia oraz wymaganych zmian w szkoleniu, które mogą wpłynąć na czas i koszty kształcenia.

Wprowadzenie bezzałogowych statków powietrznych do komercyjnych przewozów pasażerskich i towarowych może wydawać się atrakcyjne z perspektywy redukcji kosztów zatrudnienia i szkoleń. Jednak takie podejście może być mylące, jeśli weźmie się pod uwagę organizację lotów. Brak pilota na pokładzie generuje konieczność stworzenia centrów operacyjnych, w których specjalistyczny personel będzie monitorować flotę i, w razie potrzeby, przejmować kontrolę nad autonomicznymi statkami powietrznymi. To wymaga dokładnej analizy ekonomicznej biorącej pod uwagę rozwój technologii lotów autonomicznych. Mimo to koszty związane z personelem, takie jak zatrudnienie i szkolenie, nie zostaną całkowicie wyeliminowane

Poniżej przedstawiono wyniki symulacji na poziomie mikro polegającej na oszacowaniu hipotetycznych efektów wprowadzenia załogi jednoosobowej oraz systemu bezpilotowego do operacji linii lotniczych na przykładzie kilku wybranych linii reprezentujących odmienne strategie biznesowe, tj.: *incumbents* – British Airways, Air France-KLM, Lufthansa; *low-cost carriers* – Ryanair; *long haul carrier* – Emirates, oraz PLL LOT jako przewoźnika

narodowego. Dla każdej z tych linii zagregowano podstawowe dane istotne do analizy (tab. 5).

Tabela 5. Podstawowe dane operacyjne wybranych linii lotniczych

Linia	Liczba pilotów	Rok
British Airways	4500	średnia 2020/2021
Raynair	5170	średnia 2020/2021
Air France-KLM	4000	średnia 2020/2021
Lufthansa	5000	średnia 2020/2021
Emirates	4000	średnia 2020/2021
LOT	600	2020 (ostatnie dostępne)

Źródło: opracowanie własne.

W poniższej tabeli 6. zawarto podstawowe dane finansowe dla poszczególnych linii. Zważywszy, że 2021 i 2022 były latami szczególnymi z uwagi na COVID-19, w poszczególnych latach miały miejsce istotne różnice; w rezultacie przedstawiono dane średnie, z wyjątkiem PLL LOT, które nie publikują danych finansowych. Dla PLL LOT wykorzystano dane dostępne w prasie za rok 2020. Pomimo uśrednienia wszystkie linie ponosiły straty finansowe.

Tabela 6. Podstawowe dane ekonomiczne wybranych linii lotniczych

Linia	Koszty płac [mln \$]	Zysk brutto [mln \$]	Zysk netto [mln \$]	Rok
British Airways	2159	(4255)	(3475)	średnia 2020/2021
Raynair	932	(258)	(216)	średnia 2020/2021
Air France-KLM	6281	(6199)	(6135)	średnia 2020/2021
Lufthansa	2729	(1041)	(1823)	średnia 2020/2021
Emirates	13 311	(3230)	(3140)	średnia 2020/2021
LOT	49	(309)	(278)	2020

Źródło: opracowanie własne.

W dalszej analizie wyliczono oszczędności, jakie dla poszczególnych linii lotniczych wiązałyby się z wprowadzeniem systemu z jednym pilotem (o wyższych kwalifikacjach niż obecny drugi pilot, ale niższych niż obecny kapitan załogi) oraz systemu bezpilotowego. Ważną uwagą, jaka się nasuwa, jest, że w przypadku zwłaszcza systemu autonomicznego jego wdrożenie wiązałoby się z dodatkowymi kosztami szkoleń załogi naziemnej oraz amortyzacji nowego

sprzętu – tych aktualnie nie da się wyliczyć, ponieważ na chwilę obecną takie systemy jeszcze nie funkcjonują. Przyjęto koszt roczny w odniesieniu do pierwszego pilota jako nieco powyżej 100 tys. USD rocznie, a drugiego – połowę tej kwoty. W przypadku systemu z jednym pilotem przyjęto koszt poniżej 80 tys. USD. Poniższa tabela 7. zawiera szacunki płac pilotów dla wybranych linii w aktualnie obowiązującym systemie, systemie z jednym pilotem i systemie bezpilotowym.

Tabela 7. Koszty płac pilotów w trzech systemach

Linia	System aktualny [mln \$]	System z jednym pilotem [mln \$]	System bezpilotowy
British Airways	351	176	0
Raynair	403	202	0
Air France-KLM	312	156	0
Lufthansa	390	195	0
Emirates	312	156	0
LOT	47	23	0

Źródło: opracowanie własne.

Kolejna tabela zawiera wyliczenie wskaźnika trzech alternatywnych systemów w stosunku do całkowitych kosztów wynagrodzeń. Obecnie przeciętnie 29% kosztów wynagrodzeń stanowią wynagrodzenia pilotów. Zastosowanie systemu z jednym pilotem zmniejszyłoby ten wskaźnik do 15%.

Tabela 8. Koszty płac pilotów w stosunku do całkowitych kosztów wynagrodzeń

Linia	System aktualny	System z jednym pilotem	System bezpilotowy
British Airways	16%	8%	0%
Raynair	43%	22%	0%
Air France-KLM	5%	2%	0%
Lufthansa	14%	7%	0%
Emirates	2%	1%	0%
LOT	96%	48%	0%
Średnio	29%	15%	0%

Źródło: opracowanie własne.

Poniższa tabela 9. zawiera wyliczenie oszczędności dla wybranych linii z tytułu wprowadzenia systemu z jednym pilotem i systemu bezpilotowego.

Tabela 9. Całkowite oszczędności dla wybranych linii lotniczych z tytułu zmiany systemu pilotażu

Linia	System z jednym pilotem [mln \$]	System bezpilotowy [mln \$]
British Airways	176	351
Raynair	202	403
Air France-KLM	156	312
Lufthansa	195	390
Emirates	156	312
LOT	23	47
Średnio	176	351

Źródło: opracowanie własne.

Oszczędności te reprezentują różne przedziały kwotowe w zależności od linii lotniczej, na co ma wpływ ogólna efektywność kosztowa danej linii.

5.1.1. Wyniki symulacji efektów ekonomicznych redukcji personelu lotniczego w systemie z jednym pilotem i w systemie bezpilotowym, w ujęciu syntetycznym

W celu syntetycznego zobrazowania rozmiaru efektu ekonomicznego dla danej linii lotniczej, wyliczono NPV oszczędności w okresie 10 lat i zdyskontowano kosztem kapitału dla danej linii lotniczej. Stopy dyskonta przedstawia tabela 10.

Tabela 10. Szacunek stóp dyskonta

Linia	Risk free rate	Beta	ERP	Stopa dyskonta
British Airways	2,2%	1,58	5,4%	10,7%
Raynair	1,8%	1,58	5,9%	11,1%
Air France-KLM	1,8%	1,58	5,2%	10,0%
Lufthansa	1,2%	1,58	4,2%	7,8%
Emirates	3,0%	1,58	5,2%	11,2%
LOT	6,7%	1,58	5,9%	16,0%

Źródło: opracowanie własne na podstawie investing.com (dostęp 14.07.2024).

Otrzymane wartości NPV odniesiono do bieżącej wartości rynkowej przedsiębiorstw przedstawionej w tabeli 11.

Tabela 11. Bieżąca wartość rynkowa linii lotniczych

Linia	Wartość [mln \$]	Uwagi
British Airways	5640	kapitalizacja giełdowa
Raynair	14 070	kapitalizacja giełdowa
Air France-KLM	3280	kapitalizacja giełdowa
Lufthansa	7400	kapitalizacja giełdowa
Emirates	1778	wartość księgową (spółka prywatna)
LOT	159	wartość księgową (spółka państwowa)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 12. Szacunek NPV oszczędności dla wybranych linii lotniczych z tytułu zmiany systemu pilotażu w okresie 10 lat

Linia	System z jednym pilotem [mln \$]	System bezpilotowy [mln \$]
British Airways	1047	2094
Raynair	1181	2363
Air France-KLM	958	1916
Lufthansa	1318	2636
Emirates	910	1821
LOT	113	226

Źródło: opracowanie własne.

Jak wynika z poniższej analizy, odnosząc NPV korzyści z redukcji personelu latającego w dwóch systemach do bieżącej wartości rynkowej wybranych przewoźników lotniczych, należy stwierdzić, że są one znaczące, ale też bardzo zróżnicowane. W dużych, efektywnych kosztowo liniach, takich jak Raynair, są one najmniejsze, wysokie są wśród grupy linii lotniczych o zastanej pozycji (*incumbents*), jak na przykład w Air France-KLM oraz liniach długodystansowych typu Emirates. Nasuwa się jednak uwaga, że w przypadku Emirates oraz PLL LOT brak wyceny rynkowej przedsiębiorstwa na giełdzie prawdopodobnie zawyża ten wskaźnik.

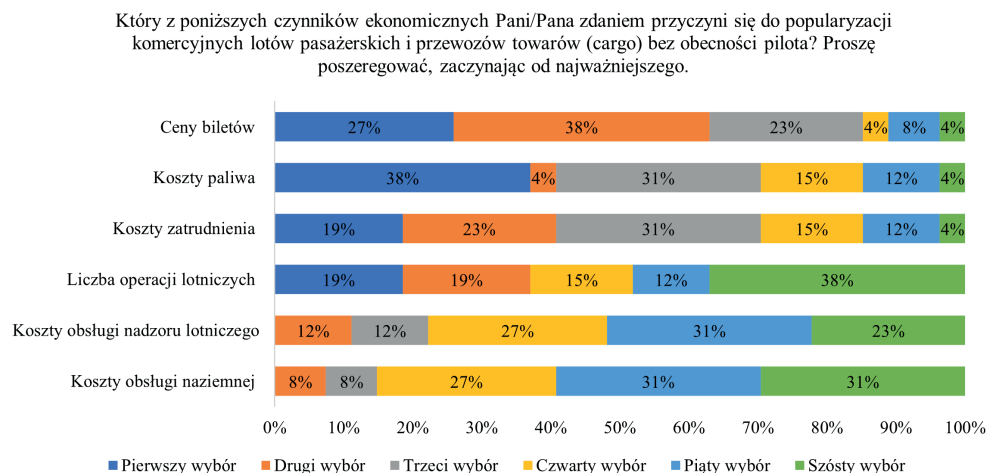
Tabela 13. Szacunek NPV oszczędności dla wybranych linii lotniczych z tytułu zmiany systemu pilotażu w okresie 10 lat względem bieżącej wartości rynkowej przedsiębiorstw

Linia	System z jednym pilotem	System bezpilotowy
British Airways	19%	37%
Raynair	8%	17%
Air France-KLM	29%	58%
Lufthansa	18%	36%
Emirates	51%	102%
LOT	71%	142%

Źródło: opracowanie własne.

5.1.2. Prezentacja wyników badań

W przeprowadzonej ankiecie respondenci wykazali istotność poszczególnych czynników ekonomicznych mogących mieć wpływ na popularyzację komercyjnych lotów pasażerskich i przewozów towarów (cargo) bez obecności pilota i z jednym pilotem na pokładzie. Czynniki te zostały uszeregowane w kolejności od najważniejszego (rys. 54).



Rysunek 54. Istotność czynników ekonomicznych popularyzacji komercyjnych lotów pasażerskich i przewozów towarów (cargo) bez obecności pilota

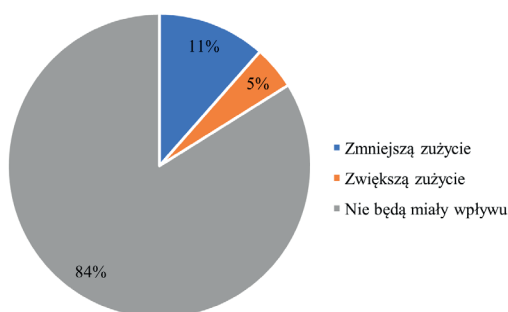
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁷¹.

¹⁷¹ Ibidem.

Jako najważniejsze czynniki ekonomiczne przyczyniające się do popularyzacji komercyjnych lotów pasażerskich i przewozów towarów (cargo) bez obecności pilota respondenci wskazali w pierwszej kolejności koszty paliwa (38%) oraz ceny biletów (27%). Zdaniem badanych w najmniejszym stopniu oddziaływać będą na popularyzację liczba operacji lotniczych (38% – ostatni wybór) oraz koszty obsługi naziemnej (31% – ostatni wybór).

W pierwszej kolejności zapytano badanych o wpływ na zużycie paliwa komercyjnych lotów pasażerskich lub lotniczych przewozów towarowych (cargo) bez obecności pilota albo z udziałem tylko jednego pilota (rys. 55).

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie lub lotnicze przewozy towarowe (cargo) bez obecności pilota lub z jednym pilotem na pokładzie będą miały wpływ na zużycie paliwa?



Rysunek 55. Koszty paliwa w aspekcie koncepcji lotów bezzałogowych i z jednym pilotem na pokładzie

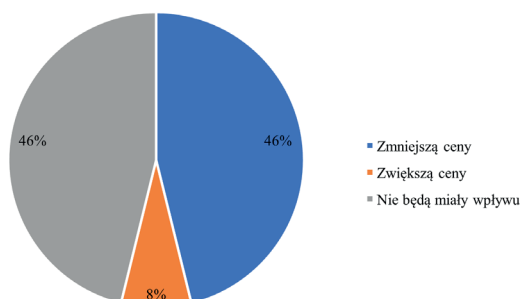
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁷².

Aż 84% badanych uważało, że przedmiotowe loty nie będą miały wpływu na zużycie paliwa. 11% respondentów było zdania, że je zmniejszą; odmiennego zdania było 5% badanych.

Odnosząc się do wpływu komercyjnych lotów pasażerskich i lotniczych przewozów towarowych (cargo) bez obecności pilota lub z udziałem tylko jednego pilota na ceny biletów (rys. 56), 46% badanych uznało, że spowodują one zmniejszenie cen; tyle samo uważało, iż nie będą miały na nie wpływu. Jedynie 8% badanych było zdania, że podjęcie przedmiotowych działań będzie przyczyną wzrostu cen biletów.

¹⁷² Ibidem.

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie lub lotnicze przewozy towarowe (cargo) bez obecności pilota lub z jednym pilotem na pokładzie będą miały wpływ na ceny biletów?

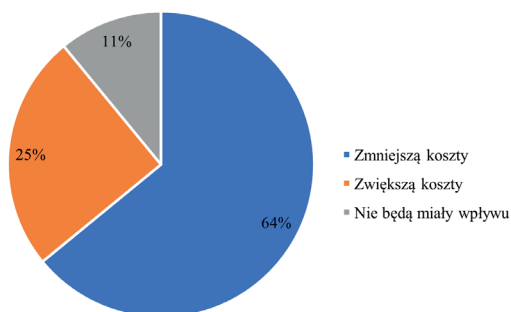


Rysunek 56. Ceny biletów w aspekcie koncepcji bezałogowych i z obecnością jednego pilota na pokładzie

Źródło: opracowanie własne.

Kolejne pytanie dotyczyło wpływu komercyjnych lotów pasażerskich lub lotniczych przewozów towarowych (cargo) bez obecności pilota lub z udziałem tylko jednego pilota na koszty zatrudnienia personelu pokładowego, naziemnego oraz nadzoru ruchu (rys. 57).

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie lub lotnicze przewozy towarowe (cargo) bez obecności pilota lub z jednym pilotem na pokładzie będą miały wpływ na koszty zatrudnienia (personelu pokładowego, naziemnego, nadzoru ruchu)?



Rysunek 57. Koszty zatrudnienia w aspekcie koncepcji lotów bezałogowych i z jednym pilotem na pokładzie

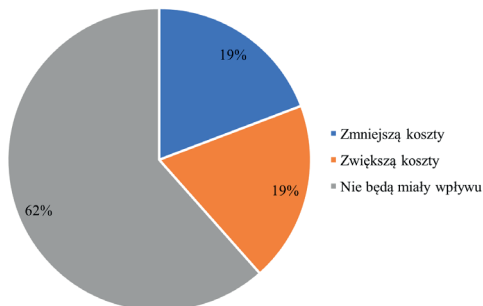
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁷³.

64% ankietowanych było zdania, że przedmiotowe działania zmniejszą koszty zatrudnienia. Odmienny pogląd prezentowało 25% badanych. Z kolei 11% respondentów uważało, że nie będą miały wpływu na koszty zatrudnienia.

¹⁷³ Ibidem.

Kolejne pytanie dotyczyło kosztów obsługi naziemnej.

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie lub lotnicze przewozy towarowe (cargo) bez obecności pilota lub z jednym pilotem na pokładzie będą miały wpływ na koszty obsługi naziemnej?



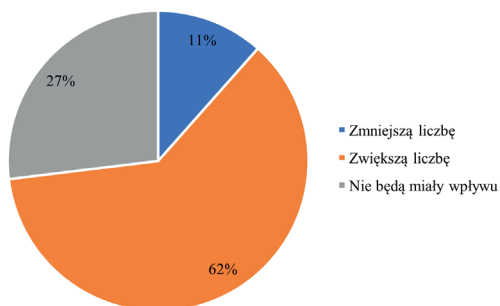
Rysunek 58. Koszty obsługi naziemnej w aspekcie koncepcji lotów bezałogowych i z jednym pilotem

Źródło: opracowanie własne.

62% badanych uważało, że komercyjne loty pasażerskie albo lotnicze przewozy towarowe (cargo) bez obecności pilota lub z jednym pilotem na pokładzie nie będą miały wpływu na koszty obsługi naziemnej (rys. 58). Po 19% respondentów było natomiast zdania, że działania takie zwiększą lub zmniejszą koszty obsługi naziemnej.

Następnie ustalono wpływ przedmiotowych lotów na liczbę operacji lotniczych (rys. 59).

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie lub lotnicze przewozy towarowe (cargo) bez obecności pilota lub z jednym pilotem na pokładzie będą miały wpływ na liczbę operacji lotniczych?



Rysunek 59. Liczba operacji lotniczych w koncepcji lotów bezałogowych i z jednym pilotem

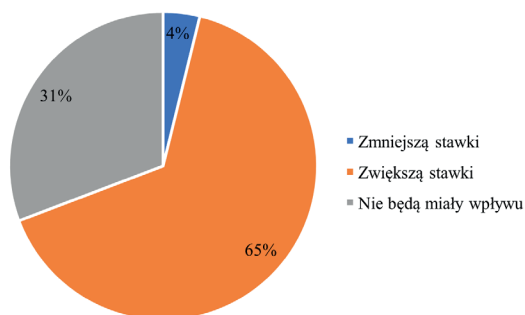
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁷⁴.

¹⁷⁴ Ibidem.

62% badanych stwierdziło, że zastosowanie komercyjnych lotów pasażerskich albo lotniczych przewozów towarowych (cargo) bez obecności pilota lub z jednym pilotem na pokładzie spowoduje zwiększenie liczby operacji lotniczych. Odmiennego zdania było 11% badanych. 27% respondentów uważało natomiast, że nie będą miały one wpływu na liczbę operacji lotniczych.

Następnie zapytano o wpływ komercyjnych lotów pasażerskich lub lotniczych przewozów towarowych (cargo) bez obecności pilota lub z jednym pilotem na koszty ubezpieczeń majątkowych i osób (rys. 60).

Czy Pani/Pana zdaniem komercyjne loty pasażerskie lub lotnicze przewozy towarowe (cargo) bez obecności pilota lub z jednym pilotem na pokładzie będą miały wpływ na koszty ubezpieczeń majątkowych i osób?



Rysunek 60. Koszty ubezpieczeń w aspekcie koncepcji lotów bezałogowych i z jednym pilotem
Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu¹⁷⁵.

65% ankietowanych uważało, że przedmiotowe loty spowodują zwiększenie stawek ubezpieczeń majątkowych i osób. Odmiennego zdania było 4% badanych. 31% uważało natomiast, że działania te nie będą miały wpływu na stawki ubezpieczeń.

5.1.3. Podsumowanie – aspekty ekonomiczne

Czynniki ekonomiczne będą miały zdecydowany wpływ na rozwój komercyjnych lotów pasażerskich i przewozów towarowych. Według respondentów najważniejszymi elementami będą ceny biletów i frachtu oraz koszty paliwa, a mniej istotnymi koszty związane z zatrudnieniem, obsługą nadzoru lotniczego i personelem naziemnym.

¹⁷⁵ Ibidem.

Analiza szacunkowa dotycząca koncepcji lotów bezałogowych i jednopilotowych w dużych przedsiębiorstwach przewozowych (tab. 12) pokazuje, że redukcja kosztów wynosi od 8% do 17% w przypadku przewoźnika Ryanair, natomiast w liniach o większym zasięgu, takich jak Air France-KLM, osiąga 29% do 58%.

Jest oczywiste, że komercyjne loty opierają się na korzyściach płynących z efektywności operacyjnej. Trudna sytuacja na rynku pracy personelu pokładowego oraz obsługi nadzoru ruchu i personelu naziemnego wymusza poszukiwanie alternatywnych rozwiązań. Z jednej strony, brak personelu wymusza wdrożenie nowych technologii, co może wywoływać niepokoje społeczne. Z drugiej strony, barierą dla popularyzacji tego rozwiązania mogą być kwestie prawne, które powinny obejmować rozwiązania globalne. Tylko takie podejście pozwoli przewoźnikom na opracowanie strategii operacyjnych, co wpłynie na dokładne oszacowanie opłacalności przedsięwzięcia.

ROZDZIAŁ 6

PERSPEKTYWY I KIERUNKI ROZWOJU TRANSPORTU LOTNICZEGO

Rozwój transportu lotniczego jest przedmiotem intensywnych dyskusji i planowania branży lotniczej, rządów, organizacji międzynarodowych oraz społeczności naukowej. Kluczowe trendy, które kształtują przyszłość tego sektora, obejmują różnorodne innowacje i zmiany strukturalne, mające na celu zarówno poprawę efektywności, jak i zrównoważenie ekologiczne.

Jednym z głównych kierunków rozwoju jest elektryfikacja i stosowanie technologii niskoemisyjnych. Rozwój samolotów elektrycznych oraz hybrydowych ma potencjał zmiany dynamiki krótkich i średnich tras poprzez redukcję emisji. Inwestycje w zrównoważone paliwa lotnicze również odgrywają ważną rolę w redukcji emisji gazów cieplarnianych w transporcie lotniczym.

Kolejnym istotnym trendem jest rozwój autonomii w lotnictwie. Badania i rozwój w dziedzinie bezzałogowych samolotów oraz zaawansowanych systemów pilotowania automatycznego i sztucznej inteligencji mogą prowadzić do redukcji zapotrzebowania załóg, szczególnie w kontekście przewozów cargo.

Bardzo dynamicznemu rozwojowi podlegają cyfryzacja i innowacje w usługach. Digitalizacja procesów lotniczych, takich jak odprawa czy zarządzanie bagażem, oraz personalizacja doświadczeń pasażerów na podstawie preferencji i historii podróży stają się coraz bardziej istotne dla poprawy efektywności i satysfakcji klientów.

Infrastruktura lotnicza również ewoluuje, koncentrując się na modernizacji i rozbudowie istniejących lotnisk oraz budowie nowych, zwłaszcza w regionach o szybko rosnącej liczbie pasażerów. Rozwój miejskiej mobilności powietrznej dodatkowo generuje nowe możliwości obsługi ruchu miejskiego i regionalnego.

Wzrost globalnego popytu na podróże lotnicze jest niewątpliwie istotnym czynnikiem napędzającym rozwój sektora. Rozwój międzynarodowych połączeń lotniczych oraz rosnąca potrzeba regionalnych połączeń dopasowanych do lokalnych rynków stanowią wyzwanie i jednocześnie okazję dla przewoźników.

Bezpieczeństwo i ochrona, w tym cyberbezpieczeństwo w kontekście zwiększonej zależności od systemów informatycznych, jak i nowe standardy

zdrowotne w odpowiedzi na pandemię, są niezbędne dla zapewnienia bezpieczeństwa operacyjnego i publicznego.

Zmiany regulacyjne również odgrywają znaczącą rolę w kształtowaniu przyszłości lotnictwa. Wdrażanie międzynarodowych standardów emisji oraz adaptacja przepisów lotniczych do nowych technologii i modeli biznesowych są konieczne dla harmonijnego rozwoju sektora.

Ekonomia i biznes lotniczy nieustannie eksplorują nowe modele, w tym ekonomię współdzielenia i subskrypcji usług lotniczych, oraz rozwijają strategiczne partnerstwa między różnymi podmiotami branżowymi.

Wyzwania ekologiczne, takie jak zmiany klimatu i rosnące oczekiwania dotyczące odpowiedzialności społecznej, wymagają ciągłej adaptacji i innowacji, aby lotnictwo mogło pozostać zrównoważone.

Te perspektywy i kierunki rozwoju nie tylko odzwierciedlają przewidywania, ale również są już w fazie implementacji. Dynamiczny charakter branży lotniczej wymaga elastyczności i gotowości do adaptacji zarówno ze strony przewoźników, jak i pasażerów, aby efektywnie zarządzać zmianami i innowacjami.

6.1. Przyszłe technologie i koncepcje w lotnictwie

Przyszłość lotnictwa kształtuje się w odpowiedzi na potrzeby zwiększenia efektywności, zrównoważonego rozwoju, bezpieczeństwa oraz komfortu podróżowania. Rozwój nowych technologii i koncepcji w tej branży jest kluczowy dla transformacji jej infrastruktury i operacji w nadchodzących dekadach.

Elektryfikacja i samoloty hybrydowe stanowią pierwszy istotny trend. Samoloty w pełni elektryczne mają potencjał stać się standardem, przede wszystkim na krótkich trasach, oferując zerową emisję gazów cieplarnianych i zmniejszenie wpływu środowiskowego. Z kolei samoloty hybrydowe, łączące tradycyjne silniki z napędem elektrycznym, mogą zwiększać zasięg oraz obniżyć zużycie paliwa.

Inteligentne i autonomiczne technologie są kolejnym kluczowym obszarem rozwoju. Pilotaż autonomiczny, wspierany zaawansowanymi systemami sztucznej inteligencji, może w przyszłości zmniejszyć zapotrzebowanie na załogi, szczególnie w przewozach cargo. Systemy samouczące się mogą adaptować się do zmieniających się warunków lotu, nieustannie poprawiając swoją wydajność.

Technologie materiałowe i konstrukcyjne również odgrywają istotną rolę. Nowoczesne materiały, takie jak kompozyty węglowe, są lżejsze i wytrzymalsze niż tradycyjne, co przyczynia się do zwiększenia efektywności paliwowej samolotów. Wykorzystanie druku 3D w produkcji lotniczej pozwala na szybkie

tworzenie skomplikowanych części, co potencjalnie zmniejsza wagę i zwiększa efektywność konstrukcji.

Miejska mobilność powietrzna, obejmująca drony transportowe i taksówki powietrzne, reprezentuje nowe podejście do transportu miejskiego, oferując alternatywę dla zatłoczonych miast i aglomeracji.

Cyfryzacja i integracja różnych systemów pokładowych za pomocą Internetu rzeczy (IoT) poprawia zarządzanie operacjami lotniczymi i zwiększa bezpieczeństwo. Rozwój cyfrowych bliźniaków, czyli wirtualnych kopii samolotów do monitorowania ich stanu i optymalizacji konserwacji, jest kolejnym aspektem przyszłościowych technologii.

Zrównoważony rozwój jest nieodzownym elementem przyszłości lotnictwa. Rozwój w zakresie zrównoważonych paliw lotniczych oraz systemów recyklingu na pokładzie samolotów ma na celu znaczące zmniejszenie śladu ekologicznego w lotnictwie.

Zaawansowane systemy zarządzania ruchem lotniczym, oparte na satelitarnych systemach nawigacyjnych, mają za zadanie zwiększenie efektywności przestrzeni powietrznej i redukcję opóźnień. Technologia *swarm*, pozwalająca na bezpieczne operacje lądowania i startu wielu dronów jednocześnie, ma bardzo duże znaczenie dla przyszłości UAM.

Bezpieczeństwo i ochrona są priorytetem w kontekście rozwoju zaawansowanych systemów monitorowania oraz wzmocnienia cyberbezpieczeństwa.

Wirtualna i rozszerzona rzeczywistość znajduje zastosowanie w szkoleniach załóg oraz personalizacji doświadczeń pasażerów na pokładzie.

Powyższe technologie i koncepcje są obecnie w różnych fazach rozwoju, od badań i prototypów po wczesne etapy komercjalizacji. Potencjalnie mogą one rewolucjonizować nie tylko sposoby latania, ale również globalną infrastrukturę, logistykę oraz życie społeczności zależnych od lotnictwa. Dynamiczna natura branży lotniczej wymaga ciągłego innowacyjnego podejścia i gotowości do adaptacji na zmieniającym się rynku globalnym.

6.2. Możliwe zmiany w zarządzaniu ruchem lotniczym

Zarządzanie ruchem lotniczym stoi przed wieloma wyzwaniami i potencjalnymi zmianami, które mają na celu zwiększenie efektywności, poprawę bezpieczeństwa oraz zmniejszenie wpływu na środowisko. Przedstawione poniżej koncepcje i technologie mogą odgrywać kluczową rolę w przyszłości systemów ATM.

Jedno z głównych wyzwań stanowi integracja z systemami autonomicznymi. Systemy ATM muszą być przystosowane do zarządzania ruchem bezałogowych

statków powietrznych, co wymaga opracowania nowych protokołów komunikacyjnych i systemów decyzyjnych. Wprowadzenie takich rozwiązań umożliwi integrację samolotów autonomicznych z tradycyjnymi maszynami w sposób bezpieczny i efektywny.

Cyfryzacja danych i usług w ATM to kolejny zasadniczy element. Pozwoli ona na szybszą i bardziej precyzyjną wymianę informacji między uczestnikami ruchu lotniczego. E-systemy zgłaszania i zarządzania, które umożliwiają elektroniczne zgłaszanie oraz monitorowanie planów lotów, mogą znacząco poprawić zarządzanie operacjami lotniczymi.

Technologia *blockchain* może znacząco wpłynąć na bezpieczeństwo i transparentność w ATM poprzez zapewnienie niezmienności danych oraz zwiększenie pewności co do ich autentyczności. Zastosowanie jej w zarządzaniu danymi lotniczymi może ograniczyć ryzyko fałszerstw oraz nieautoryzowanego dostępu do kluczowych informacji.

Ważny kierunek stanowi rozwój systemów satelitarnych i rozszerzonej rzeczywistości. Rozszerzenie użycia satelitarnych systemów śledzenia lotów pozwala na bardziej precyzyjne monitorowanie położenia samolotów na całym świecie. Wykorzystanie rozszerzonej rzeczywistości przez kontrolerów lotu może ułatwić prezentację informacji o ruchu lotniczym w sposób bardziej intuicyjny i zwiększyć skuteczność podejmowania decyzji.

Sztuczna inteligencja i automatyzacja mają potencjał zrewolucjonizowania ATM poprzez automatyzację rutynowych zadań kontrolerów lotu oraz analizę danych w celu optymalizacji przepływu ruchu lotniczego. Systemy AI mogą również wspierać automatyczne reagowanie na incydenty, co przyczyni się do zwiększenia bezpieczeństwa operacyjnego w przestrzeni powietrznej.

Wielopoziomowe zarządzanie przestrzenią powietrzną oparte na wydajności oraz dynamiczne korytarze powietrzne są ważne dla efektywnego wykorzystania przestrzeni powietrznej. Przejście od stałych tras lotniczych do dynamicznie dostosowywanych korytarzy może zmniejszyć zużycie paliwa oraz emisję spalin, przyczyniając się do zrównoważonego rozwoju lotnictwa.

Do harmonijnego funkcjonowania systemów ATM na poziomie międzynarodowym niezbędne są globalna koordynacja i standaryzacja. Rozwój globalnych standardów i protokołów wspiera międzynarodowy ruch lotniczy oraz integrację różnych systemów narodowych, takich jak Eurocontrol w Europie czy FAA w USA.

Zrównoważony rozwój, obejmujący optymalizację tras lotniczych oraz wsparcie dla zrównoważonych paliw lotniczych, stanowi nieodzowny element przyszłościowych zmian w ATM. Integracja informacji o tych paliwach w planowaniu lotów może znacząco przyczynić się do zmniejszenia negatywnego wpływu lotnictwa na środowisko.

Realizacja powyższych zmian w zarządzaniu ruchem lotniczym będzie wymagać zaawansowanej technologii, współpracy międzynarodowej oraz odpowiednich regulacji. Kluczowym aspektem będzie także odpowiednie przygotowanie personelu do obsługi nowych technologii oraz systemów, co zapewni efektywne i bezpieczne funkcjonowanie przyszłych systemów ATM.

6.3. Innowacje w projektowaniu i konstrukcji samolotów

Innowacje w projektowaniu i konstrukcji samolotów mają zasadnicze znaczenie dla poprawy wydajności, bezpieczeństwa oraz zrównoważonego rozwoju w lotnictwie. Zmieniają one sposób, w jaki samoloty są projektowane i wykorzystywane, oddziałują bowiem na szereg strategicznych obszarów.

Jednym z najważniejszych aspektów są nowoczesne materiały i technologie konstrukcyjne. Rozwój kompozytów, takich jak włókna węglowe, umożliwi konstruowanie lżejszych i bardziej wytrzymałych struktur, co przekłada się na zmniejszenie masy samolotów i zwiększenie ich efektywności paliwowej oraz zasięgu. Dodatkowo, jak wyżej wspomniano, druk 3D rewolucjonizuje produkcję, umożliwiając tworzenie skomplikowanych komponentów, które tradycyjnie były trudne do wykonania.

Kolejnym ważnym obszarem jest efektywność aerodynamiczna. Nowe technologie skrzydeł, w tym skrzydła o zmiennej geometrii oraz bezszwowe, pozwalają na optymalizację aerodynamiki i zmniejszenie oporu powietrza. Poprawa kształtu kadłuba i elementów strukturalnych dąży do dalszego redukcji oporu aerodynamicznego.

Ewolują również napędy i źródła energii. Nowe generacje silników, charakteryzujące się wyższą efektywnością spalania i możliwością pracy na zrównoważonych paliwach lotniczych, redukują emisję i zwiększają efektywność energetyczną. Elektryfikacja napędów, w tym rozwój systemów hybrydowych i elektrycznych, także przyczynia się do zmniejszenia zależności od tradycyjnych paliw kopalnych.

Technologie informacyjne i autonomia stają się coraz bardziej istotne. Systemy awioniki integrują zaawansowane technologie wspomagające zarządzanie lotami, co zwiększa zarówno bezpieczeństwo, jak i efektywność operacji lotniczych. Rozwój samolotów autonomicznych i półautonomicznych otwiera drogę do większej automatyzacji funkcji lotu.

Projektowanie ukierunkowane na użytkownika koncentruje się na poprawie komfortu pasażerów poprzez nowoczesne wnętrza oraz modularne rozwiązania kabiny, które umożliwiają łatwą adaptację do różnych potrzeb przewoźników.

Aspekty zrównoważonego rozwoju są również priorytetem. Samoloty projektowane są z myślą o redukcji emisji CO₂ i hałasu, a także optymalizacji operacji w celu minimalizacji zużycia paliwa.

Nowe koncepcje, takie jak samoloty o zmiennej konfiguracji czy pojazdy do UAM, reprezentują kolejne etapy innowacji, które mogą rewolucjonizować przyszłość transportu lotniczego.

Każda z tych innowacji wymaga przeprowadzenia szerokich testów, uzyskania odpowiednich certyfikatów oraz akceptacji społecznej i aprobaty regulatorów. Jednakże ich implementacja ma potencjał radykalnej zmiany branży lotniczej w kierunku bardziej efektywnego, bezpiecznego i zrównoważonego wykorzystania samolotów w przyszłości.

6.4. Przegląd dostępnych na świecie konstrukcji cywilnych „ciężkich” dronów

Przegląd dostępnych konstrukcji dronów mających udźwig powyżej 5 kg prezentuje poniższa tabela.

Tabela 14. Dostępne konstrukcje dronów o udźwigu powyżej 5 kg

Model	Maksymalny udźwig	Typ drona	Maksymalny czas lotu	Maksymalny zasięg
DJI Matrice 600	6 kg (13 lbs)	hexacopters	36 min	5 km
Freefly Systems Alta 8	9 kg (20 lbs)	octocopters	6–12 min	5 km
JOUAV CW-40	10 kg (22 lbs)	VTOL	600 min	100/200 km
JOUAV CW-100	25 kg (55 lbs)	VTOL	840 min	100/200 km
Draganfly Heavy Lift Drone	30 kg (66 lbs)	octocopters	55 min	20 km
Ehang 184	100 kg (220 lbs)	octocopters	23 min	30 km
Griff Aviation 300	227 kg (500 lbs)	octocopters	31 min	15 km

Źródło: opracowanie własne.

6.4.1. Griff Aviation 300

Zaprojektowany jako pojazd z 8 śmigłami, Griff Aviation 300 jest najcięższym dronem, który może unieść ładunek o masie około 500 funtów (226 kg) i wytrzymać 31 min lotu. Modułowa konstrukcja umożliwiła szybką wymianę ładunków i akumulatorów w ciągu kilku sekund.



Rysunek 61. Griff Aviation 300

Źródło: <https://www.thecollector.com/griff-300-drone/> (dostęp: 25.01.2024).

Ten dron jest wodoodporny i przeznaczony do przenoszenia zaawansowanych systemów optycznych do zastosowań przemysłowych, wojskowych, organów ścigania oraz poszukiwawczo-ratowniczych. Zgodny ze wszystkimi europejskimi przepisami bezpieczeństwa konstrukcji UAS, Griff Aviation 30 jest w pełni konfigurowalny.

Podstawowa specyfikacja:

- maksymalny udźwig 227 kg (500 funtów);
- czas lotu 31 min;
- maksymalna prędkość 60 km/godz.;
- maksymalna odległość transmisji 15 km;
- rozmiar – długość 3400 m, szerokość 1200 m, wysokość 600 m;
- maksymalna masa startowa 235 kg.

6.4.2. Ehang 184

Ehang 184¹⁷⁶ to autonomiczny, duży dron elektryczny klasy pasażerskiej, który może pomieścić osobę o wadze do 220 funtów (100 kg) w swojej małej kabinie. Jego technologia autonomicznego lotu pozwala uniknąć możliwości nieprawidłowego działania lub awarii spowodowanych błędami ludzkimi. Pasażerowie

¹⁷⁶ Ehang UAVs, lub według innej pisowni EHang – chińskie, bezałogowe statki powietrzne (nazwa potoczna: drony) opracowane i wyprodukowane przez firmę Beijing Yi-Hang Creation Science & Technology Co., Ltd., która w Chinach rozpoczęła działalność w dziedzinie zdjęć lotniczych i w misjach badawczych.

mogą po prostu usiąść i cieszyć się jazdą, nie martwiąc się o kontrolowanie lub obsługę samolotu.



Rysunek 62. Ehang 184

Źródło: <https://elektrowoz.pl/transport/chinski-ehang-pokazal-elektrycznego-drona-lata-z-pasazerami-na-pokladzie-wideo/> (dostęp: 25.01.2024).

Wykorzystując 4G/5G jako kanał szybkiej transmisji bezprzewodowej, dron może płynnie komunikować się z centrum dowodzenia i kontroli oraz umożliwiać w ten sposób zdalne sterowanie samolotem i przesyłanie danych lotu w czasie rzeczywistym.

Podstawowa specyfikacja:

- maksymalny udźwig 100 kg (220 funtów);
- czas lotu 23 min;
- maksymalna prędkość 100 km/godz.;
- maksymalna odległość transmisji 30 km;
- rozmiar – długość kadłuba 4000 mm, rozpiętość skrzydeł 4000 mm, wysokość całkowita 1400 mm;
- waga 260 kg.

6.4.3. Draganfly Heavy Lift

Dron Draganfly Heavy Lift to ciężki dron do dostarczania paczek o wadze do 67 funtów (30 kg) klientom w promieniu 18 mil (30 km). Dzięki skrzyni ładunkowej o wymiarach 15" x 17" x 34" może zmieścić dowolny przedmiot. Obsługuje autonomiczną nawigację LTE i zaawansowany system kontroli lotu, który może automatycznie wysyłać paczki w dowolne miejsce.



Rysunek 63. Draganfly Heavy Lift

Źródło: <https://draganfly.com/products/heavy-lift/> (dostęp: 25.01.2024).

Kompatybilny z różnymi wymiennymi ładunkami dron ten może przenosić wysokiej klasy czujniki, takie jak czujniki LiDAR i kamery hiperspektralne do prowadzenia pomiarów dronów na dużą skalę.

Podstawowa specyfikacja:

- maksymalny udźwig 30 kg (66 funtów);
- czas lotu 55 min;
- maksymalna prędkość 79 km/godz.;
- maksymalna odległość transmisji 20 km;
- rozmiar – średnica po złożeniu 843 mm; wysokość po złożeniu 364 mm; średnica po rozłożeniu, bez śmigieł 2448 mm; wysokość po rozłożeniu, bez podwozia 770 mm;
- waga 44 kg (97 funtów).

6.4.4. JOUAV CW-100

CW-100 może utrzymać się w locie przez ponad 840 min z maksymalną prędkością 135 km/godz. Dzięki udźwigowi do 25 kg dron dalekiego zasięgu pozwala na elastyczne przenoszenie dużych wysokiej klasy czujników, takich jak hiperspektralne i batymetryczne LiDAR oraz radar SAR do badań na dużym obszarze.



Rysunek 64. JOUAV CW-100

Źródło: <https://www.jouav.com/products/cw-100.html> (dostęp: 25.01.2024).

W połączeniu z modułami RTK i PPK, ten dron z kamerą nie tylko zapewnia bardzo dokładne dane, ale także maksymalny możliwy zasięg. Ponadto dron CW-100 RTK wykonuje swoją misję całkowicie autonomicznie od startu do lądowania, nawet poza zasięgiem komunikacji.

Dron CW-100 jest wyposażony we wbudowane oprogramowanie FlightSurv ułatwiające zarządzanie pozyskiwaniem danych. Ta intuicyjna aplikacja pozwala zautomatyzować planowanie lotu UAV, akwizycję danych i transmisję obrazu. Ponadto pomaga tworzyć szczegółowe i dokładne wizualizacje 2D i 3D.

Podstawowa specyfikacja:

- maksymalny udźwig 25 kg (55 funtów);
- czas lotu 840 min;
- maksymalna prędkość 135 km/godz.;
- maksymalna odległość transmisji 100/200 km (opcjonalnie);
- rozmiar – kadłub 3000 mm, rozpiętość skrzydeł 5200 mm;
- maksymalna masa startowa 110 kg;
- temperatura pracy od -20° do 55°C.

6.4.5. JOUAV CW-40

Jako bardzo wszechstronny i wydajny stałopłat VTOL, JOUAV CW-40 jest jednym z najskuteczniejszych autonomicznych dronów bezpieczeństwa na rynku. Ma czas lotu do 400 min, maksymalną prędkość lotu 90 km/godz. i zasięg transmisji do 200 km.



Rysunek 65. JOUAV CW-40

Źródło: <https://rcdrone.top/pl/products/jouav-cw-15-uav> (dostęp 25.01.2024).

Dzięki wbudowanej kamerze gimbalewej MG-170E z podwójnym EO/IR, CW-40 może automatycznie identyfikować, śledzić oraz pozycjonować ludzi i obiekty, a także przesyłać przekaz wideo w czasie rzeczywistym do centrum dowodzenia. Ten termiczny dron był szeroko stosowany w patrolach granicznych, reagowaniu kryzysowym, inspekcji energetycznej, zapobieganiu pożarom lasów, poszukiwaniach, ratownictwie itp.

Duży dron CW-40 z kamerą jest bardzo łatwy w użyciu dzięki systemom autopilota i unikania przeszkód, które pozwalają urządzeniu na pobieranie danych przechwytywania oraz samodzielne lądowanie.

Podstawowa specyfikacja:

- maksymalny udźwig 10 kg (22 funty);
- czas lotu 600 min;
- maksymalna prędkość 90 km/godz.;
- maksymalna odległość transmisji 100/200 km (opcjonalnie);
- rozmiar – kadłub 2300 mm, rozpiętość skrzydeł 4600 mm;
- maksymalna masa startowa 45 kg;
- temperatura pracy od -20° do 55°C.

6.4.6. Freestyle Systems Alta 8

Freestyle Alta 8 to pierwszorzędna konfiguracja UAS z 8 wirnikami przeznaczona dla filmowców. Maksymalna prędkość wynosi 35 mil/godz., a maksymalny czas lotu to 12 min. W połączeniu z Gimbalem MoVi (dostępnym osobno) ten duży

komercyjny dron ma ładowność 20 funtów, co oznacza, że można łatwo podłączyć do niego kamerę dowolnej wielkości.



Rysunek 66. Freefly Systems Alta 8

Źródło: <https://freeflysystems.com/alta-x> (dostęp: 25.01.2024).

Łącząc dane GPS z IMU i barometrem, Alta 8 utrzymuje pozycję nawet w trudnych warunkach pogodowych. Zawiera kontroler lotu SYNAPSE, który pozwala pilotowi zmieniać prędkość pionową i względem ziemi, aby zapewnić precyzyjne, powtarzalne ruchy kamery.

Podstawowa specyfikacja:

- maksymalny udźwig 9 kg (20 funtów);
- czas lotu 6–12 min (w zależności od ładunku i środowiska);
- maksymalna prędkość 56 km/godz.;
- maksymalna odległość transmisji 5 km;
- rozmiar – średnica po złożeniu 660 mm; średnica po rozłożeniu 1325 mm (bez podpórek); wysokość do podstawy 263 mm;
- typowa standardowa masa własna 6,2 kg;
- temperatura pracy od -10° do 40°C .

6.4.7. DJI Matrice 600

Matrice 600 to pierwszy wytrzymały, sześciowirnikowy dron firmy DJI stworzony z myślą o profesjonalnym kręceniu filmów i fotogrametrii w najlepszym wydaniu. Chociaż jest większy niż inne drony, został zaprojektowany tak, aby był równie łatwy w konfiguracji i lataniu. Zasilany sześcioma bateriami Matrice 600 ma czas lotu do 36 min i zapewnia dodatkowe bezpieczeństwo w powietrzu.



Rysunek 67. DJI Matrice 600

Źródło: <https://www.dji.com/pl/matrice600> (dostęp: 25.01.2024).

Matrice 600 może obsługiwać kamery o wadze do 6 kg i jest kompatybilny ze wszystkimi kamerami oraz gimbalami z serii DJI Zenmuse, co oznacza, że może przenosić wiele czujników obrazu – IR, NIR, FLIR, a nawet LiDAR. Wyposażony w rewolucyjny system sterowania lotem A3 i zaawansowany system transmisji wideo Lightbridge 2, Matrice 600 może przysyłać strumieniowo materiał na żywo w rozdzielczości 1080p z odległości do 5 km.

Podstawowa specyfikacja:

- maksymalny udźwig 6 kg (13 funtów);
- czas lotu 36 min;
- maksymalna prędkość 65 km/godz. (bez wiatru);
- maksymalna odległość transmisji 5 km;
- wymiary – 1668 mm x 1518 mm x 759 mm (śmigła, ramiona ramy i mocowanie GPS rozłożone); 640 mm x 582 mm x 623 mm (ramiona ramy i mocowanie GPS złożone);
- waga (z 6 akumulatorami TB47S) 9,1 kg;
- temperatura pracy od -10° do 40°C.

6.5. Najnowsze technologie „ciężkich” dronów w procesie badań

6.5.1. Chiński dron do podnoszenia ciężarów

Firma z południowo-zachodniej prowincji Yunnan w Chinach testuje nowego drona do podnoszenia ciężarów, który może być używany w projektach budowlanych.



Rysunek 68. Dron do podnoszenia ciężarów

Źródło: <https://spidersweb.pl/2022/10/chinski-dron-transportowiec.html> (dostęp: 25.01.2024).

Bezzałogowy statek powietrzny może przenosić ładunki o masie do około 300 kg (660 funtów), co pozwala na dostarczanie materiałów budowlanych do miejsc infrastruktury elektroenergetycznej na wysokości 3000 m (9842 stóp).

6.5.2. Brytyjski dron

Brytyjska firma doradcza w zakresie inżynierii i projektowania Plextek współpracuje ze specjalistą od bezzałogowych systemów powietrznych norweskim Griff Aviation nad tym, aby umieścić mikroradary i czujniki w swoich innowacyjnych dronach do podnoszenia ciężarów.

Drony będą mogły przenosić ładunki o masie do 250 kg i są opracowywane do przenoszenia sprzętu budowlanego oraz materiałów w trudnych terenach, w tym krajobrazach górskich i leśnych.

Plextek współpracuje obecnie z Griff Aviation nad próbami na miejscu, w Norwegii, zanim drony zostaną wykorzystane przez wiodącego dostawcę energii w Japonii i firmę zajmującą się liniami energetycznymi w Australii.

Projekt Griff Aviation jest szczególnie wymagający, ponieważ do tej pory większość dronów była używana do przenoszenia lekkich ładunków, a ciężkie drony wymagają bardzo precyzyjnego i niezawodnego sterowania lotem.

Radar e-scan podłączony do drona jest w stanie wykryć zagrożenia, takie jak linie energetyczne z odległości do 60 m, a także budynki, mosty, roślinność i inne obiekty zarówno przed, jak i pod dronem, z zasięgiem do 300 m.

Zapewnia wykrywanie zagrożeń w dzień i w nocy, w każdych warunkach pogodowych.

Mikroradar Plextek umożliwi dronom latanie na określonej wysokości po zintegrowaniu z kontrolerem lotu Micro Pilot.

6.5.3. Amerykański Boeing

Boeing zbudował prototyp sprzętu, który ma 8 śmigieł, waży ponad 300 kg i jest w stanie unieść w powietrze 200-kilogramowy ładunek.

Według Boeinga zaprezentował on maszynę, która może zmienić sposób, w jaki ludzie przenoszą ciężkie ładunki na stosunkowo krótkie dystanse. Prototyp opisuje się jako bezzałogowy elektryczny pojazd lotniczy (CAV) pionowego startu i lądowania (eVTOL).



Rysunek 69. Amerykański Boeing

Źródło: <https://trans.info/pl/dron-boinga-to-prawdziwa-bestia-o-niesamowitych-parametrach-78194> (dostęp: 25.01.2024).

Budowa drona zajęła trzy miesiące. Mierzy on 4,57 m x 5,49 m, waży ponad 315 kg i może przenosić ładunki nieprzekraczające 220 kg.

Oktokopter Boeinga jest w pełni elektryczny, a niektóre akumulatory zostały zaprojektowane specjalnie dla celów tego projektu. Firma nie ukrywa, że to dopiero początek. Zamierza rozwijać pomysł ciężkiego drona, tak by dostarczać ładunki sięgające 220 kg na odległość 30 kilometrów.

6.5.4. Chiński Ehang 216

Ehang 216 AAV to dron wykonany z kompozytu węglowego i metali, aby osiągnąć wymagany stosunek wytrzymałości do masy.

Jego długość wynosi 5,61 m, wysokość 1,76 m, a masa własna 360 kg. Samolot może przenosić ładunki o masie do 260 kg.

Ehang 216 ma niewielką kabinę, która może pomieścić do dwóch pasażerów, z wystarczającą ilością miejsca na nogi i bagaż. Jego kadłub jest wsparty na sztywnym podwoziu typu płozowego, które zapewnia wystarczający prześwit między ziemią a wirnikami.

Kadłub jest wyposażony w 4 wysunięte rozpórki w kształcie litery V, które rozchodzą się w równych odległościach, pozostawiając miejsce na wejście i wyjście pasażerów. Jest wyposażony w światło kołowania/lądowania z przodu.



Rysunek 70. Ehang 216

Źródło: <https://www.aerospace-technology.com/projects/ehang-216-autonomous-aerial-vehicle/> (dostęp: 25.01.2024).

Dron jest wyposażony w dwoje drzwi z zawiasami u góry, które zajmują mniej miejsca i zapewniają aerodynamiczny kształt. Kabina samolotu jest klimatyzowana. We wnętrzu jest dostęp do Internetu, są one dobrze wyposażone.

9 kwietnia 2022 r. umowę na dostawę autonomicznego pojazdu latającego Ehang 216 podpisała z chińskim producentem Polisi Udara (policja indonezyjska). Ten napędzany elektrycznie wielowirnikowiec ma możliwość przewozu dwóch osób. Może być sterowany z ziemi lub latać bez ingerencji człowieka.



Rysunek 71. Ehang 216 w czasie lotu

Źródło: <https://whatnext.pl/latajacy-samochod-ehang-216-w-akcji/> (dostęp: 25.01.2024).

Początkowo Polisi Udara ma go używać jako bezzałogowca rozpoznawczego. W 2022 r. miał on uzyskać certyfikat pozwalający na przewóz ludzi. Ehang 216 przeszedł ostatnio szereg testów w locie na Bali.

Bezzałogowe pojazdy Etole Hang 216 są oferowane podmiotom w Indonezji za pośrednictwem Prestige Aviation. To przedsiębiorstwo, które jest też importem samochodów elektrycznych Tesli, zawarło umowę na sprowadzenie 100 chińskich bezzałogowców. W pierwszej kolejności Ehang 216 będzie oficjalnym samolotem Indonezyjskiego Stowarzyszenia Motorowego. Bezzałogowce tego typu będą też wykorzystywane przez Black Stone Airline.

6.5.5. Niemiecki Volodrone – dron rolniczy John Deere i Volocopter

Volocopter oraz John Deere postanowiły połączyć swoje siły i stworzyć dużych rozmiarów wielowirnikowiec przeznaczony do działań rolniczych. W efekcie powstał dron o średnicy ponad 9 m i udźwigu nawet do 200 kg.



Rysunek 72. Dron rolniczy John Deere i Volocopter

Źródło: <https://www.volocopter.com/en/newsroom/john-deere-and-volocopter-cooperate-on-cargo-drone-technology> (dostęp: 25.01.2024).

Volocopter to nazwa, którą powinien znać każdy pasjonat statków powietrznych, zwłaszcza wielowirnikowców załogowych, które różnią się od dronów. Firma, znana formalnie jako e-volo GmbH, jest jednym z pionierów w dziedzinie nowoczesnych, elektrycznych wielowirnikowców przeznaczonych dla dwóch osób.

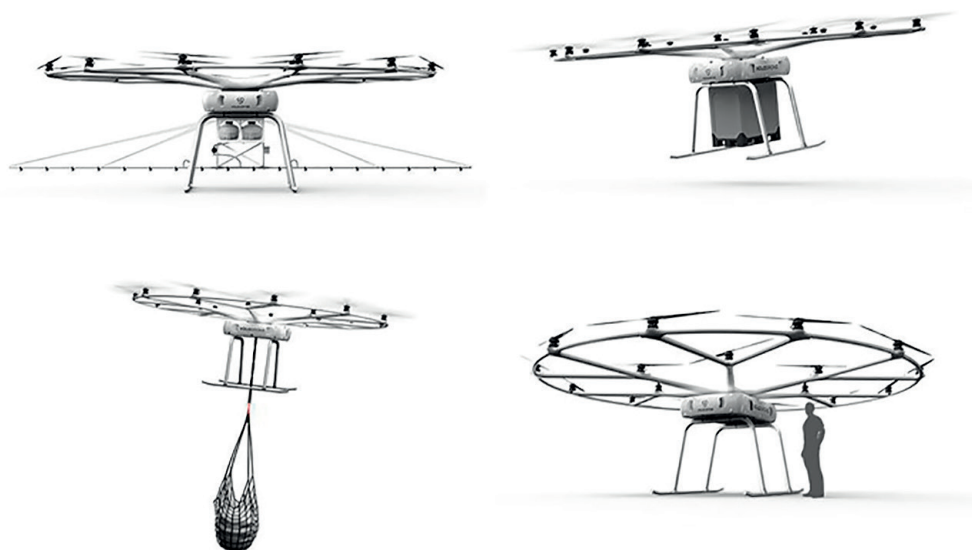
Pomysł na Volocopter zrodził się w 2010 r., a już rok później firma zaprezentowała prototyp swojego urządzenia. Choć wówczas nie przypominał on dzisiejszej wersji i miał liczne problemy z bezpieczeństwem, w 2013 r. zaprezentowano nową wersję statku, która była w pełni operacyjna i mogła być sterowana zarówno z ziemi, jak i przez pilota na pokładzie. W 2016 r. model Volocopter VS200 otrzymał formalną zgodę niemieckiego urzędu lotniczego na przeprowadzanie lotów i wykonał swoje pierwsze loty z założycielem firmy jako pilotem.



Rysunek 73. Dron rolniczy John Deere i Volocopter – konstrukcja

Źródło: <https://www.volocopter.com/en/newsroom/john-deere-and-volocopter-cooperate-on-cargo-drone-technology> (dostęp: 25.01.2024).

Ponieważ przewóz pasażerów za pomocą tego rodzaju statków powietrznych wciąż pozostaje w fazie testów (z wyjątkiem prób oraz działalności chińskiej firmy Ehang, która już stworzyła kilka egzemplarzy swojego modelu Ehang 216 w ramach pionierskiej floty latających taksówek), firma e-volo zdecydowała się na współpracę z amerykańskim gigantem w dziedzinie sprzętu rolniczego firmą John Deere. Efektem tej współpracy jest VoloDrone – dron zaprojektowany m.in. do zastosowań w rolnictwie precyzyjnym, ale nie tylko.



Rysunek 74. Dron rolniczy John Deere i Volocopter – opcje wyposażenia

Źródło: <https://www.volocopter.com/en/newsroom/john-deere-and-volocopter-cooperate-on-cargo-drone-technology> (dostęp: 25.01.2024).

Do celów rolnictwa precyzyjnego VoloDrone został wyposażony w dwa zbiorniki na ciecz, pompę i listwę natryskową. Jednakże, dzięki swojej dużej nośności i zdolności do łatwej wymiany zamontowanych modułów, może być również wykorzystywany do transportu paczek, ładunków medycznych czy elementów budowlanych (np. jako wsparcie w pracach budowlanych na dużych wysokościach).

ROZDZIAŁ 7

PROPOZYCJA WDROŻENIA PRZEWOZU PASAŻERÓW I ŁADUNKÓW W SAMOLOTACH BEZZAŁOGOWYCH I Z ZAŁOGĄ JEDNOOSOBOWĄ UWZGLĘDNIAJĄCA M.IN. BEZPIECZEŃSTWO TRANSPORTU LOTNICZEGO

Autonomiczne pojazdy komercyjne, takie jak helikoptery i taksówki powietrzne, mają już wcześniejsze przykłady zastosowań, jednak napotykają na wyzwania, zwłaszcza w opracowywaniu opłacalnych modeli biznesowych szczególnie w kontekście transportu lotniczego w miastach.

W latach 1949–1979 New York Airways (NYA) działało jako międzymiastowy komercyjny przewoźnik lotniczy w Nowym Jorku. Początkowo zajmowało się usługami pocztowymi i towarowymi, a w 1953 r. rozpoczęło planowanie przewozów pasażerskich. Siedziba NYA znajdowała się na lotnisku LaGuardia we Flushing (Nowy Jork), a samoloty VTOL (np. helikoptery Sikorsky S-61L i Boeing Vertol 107) mogły przewozić klientów między kilkoma heliportami na Manhattanie a lotniskami w Newark i Idlewild (obecnie JFK). Podróż trwała zaledwie 10 minut, co pozwalało pasażerom dotrzeć na Manhattan 40 minut przed planowanym odlotem z Idlewild. Miasto Nowy Jork zarabiało na tym co najmniej 3 miliony dolarów rocznie z federalnych dotacji i opłat, ale działalność tę zakończono z powodu reakcji społeczeństwa na kilka wypadków, które nastąpiły w ciągu 15 lat. Ustalono, że wypadki były spowodowane awariami technicznymi podczas startu lub lądowania, co doprowadziło do śmierci nie tylko pasażerów, ale także osób postronnych na lotnisku oraz pieszych na Manhattanie¹⁷⁷.

Pojawienie się małych bezzałogowych statków powietrznych wraz z przepisami wspierającymi komercyjne operacje dronami odnowiło nadzieje związane z koncepcją mobilności na żądanie (ODM, On-Demand Mobility). Celem ODM nie jest koniecznie zapewnienie połączeń między portami lotniczymi, ale raczej skrócenie czasu podróży w obrębie regionów metropolitalnych i pomiędzy nimi.

¹⁷⁷ V.Ch. Nneji, A. Stimpson, M. Cummings, K.H. Goodrich, *Exploring Concepts of Operations for On-Demand Passenger Air Transportation*, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20170006498/downloads/20170006498.pdf> (dostęp: 18.10.2024).

Wykorzystuje się do tego zaawansowane projekty VTOL oraz inne technologie, takie jak autonomiczność pojazdów i rozproszony napęd elektryczny, które wcześniej nie były wystarczająco dojrzałe w momencie rozwoju koncepcji transportu małymi samolotami (SATS-Small Aircraft Transportation System).

Choć linia lotnicza NYA ostatecznie zakończyła działalność, istnieją inne miejsca, w których operacje helikopterowe okazały się bardziej możliwe. W São Paulo, w Brazylii duża gęstość zabudowy, liczne lądowiska dla helikopterów, duży ruch drogowy i baza klientów regularnie korzystających z podróży lotniczych stworzyły dobrze prosperujący przemysł taksówek helikopterowych. W Stavanger, w Norwegii usługi helikopterów zapewniają regularny transport między lądem a platformami wiertniczymi na morzu. Jednak nawet w tych przypadkach transport lotniczy pozostaje stosunkowo kosztowną opcją.

Wysokie koszty eksploatacji statków powietrznych można zmniejszyć dzięki ich automatyzacji i autonomiczności oraz poprzez redukcję lub wyeliminowanie kosztów utrzymania załóg latających. Tego typu pojazdy sprawdziły się już w modelu transportu naziemnego na żądanie. Jednak oczywiście istnieją różnice między koncepcjami autonomicznych operacji dla samolotów i samochodów, co stwarza również wyzwania w zakresie przeskalowania tego modelu biznesowego na większe rynki. Ponadto ostatnie badania wykazały, że ankietowani w Stanach Zjednoczonych preferowali model latającego samochodu jako „pojazdu osobistego”. Nie zyskała większej akceptacji opcja wspólnych przejazdów.

Kolejnym istotnym zagadnieniem wymagającym dokładnej analizy jest rola pilota oraz możliwość realizacji lotów bez załogi. Piloci i kontrolerzy ruchu lotniczego odpowiadają za bezpieczeństwo lotów i reagowanie na rzadkie oraz nieprzewidywalne sytuacje. Jednak w zależności od konstrukcji systemu przyszłych operacji autonomicznych pewne obowiązki związane z bezpieczeństwem mogą zostać inaczej rozdzielone między ludzi a systemy sztucznej inteligencji (jak pokazano w tab. 15).

Tabela 15. Funkcje zapewniające bezpieczeństwo latających statków powietrznych

Funkcja bezpieczeństwa	Opis
Zachowanie bezpiecznej separacji:	
od innych statków powietrznych	1. Zachowanie bezpiecznej separacji od innych statków powietrznych i niestwarzanie nadmiernego ryzyka. Oczekuje się, że pojazdy autonomiczne będą zachowywać się zgodnie z określonymi zasadami i adekwatnie do bieżących działań innych statków powietrznych.

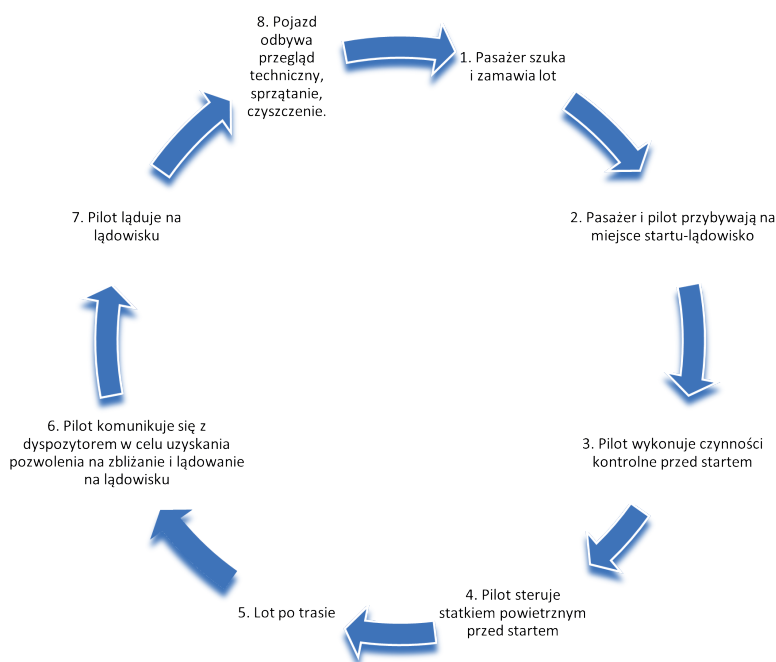
Funkcja bezpieczeństwa	Opis
od innych zagrożeń	2. Utrzymywanie bezpiecznej separacji od zagrożeń/przeszkód stałych (budynki, drzewa) i dynamicznych (piesi, zwierzęta, poruszające się pojazdy naziemne), które znajdują się poza „systemem” i od których nie można w sposób niezawodny oczekiwać, że będą dzielić obowiązki związane z separacją, przekazywać dane o swojej pozycji i zamiarach.
Utrzymywanie kontroli nad pojazdem:	
operacje standardowe i awaryjne	3. Utrzymywanie kontroli nad pojazdem w taki sposób, aby można było wiarygodnie przewidzieć jego przyszły stan i trajektorię oraz wyznaczyć kierunek, nawet w niesprzyjających warunkach, takich jak silny wiatr, burza itp.
bezpieczeństwo fizyczne i cybernetyczne	4. Zachowanie fizycznego bezpieczeństwa lotu i cyberbezpieczeństwa pojazdu polega na zapewnieniu, że sterowanie i manewrowanie pojazdem będzie możliwe wyłącznie przez upoważnionych operatorów. Ważne jest także, aby pasażerowie byli chronieni przed celowymi, złośliwymi zagrożeniami, takimi jak np. ataki hakerskie.
Utrzymywanie zarządzania misją i pojazdami:	
zarządzanie paliwem/ energią (dla pojazdów elektrycznych)	5. Utrzymywanie zasobów energii wystarczających do bezpiecznego ukończenia podróży. Zasoby energii muszą być utrzymywane na poziomie umożliwiającym bezpieczne zakończenie podróży. Operatorzy pojazdów powinni być świadomi zarówno zużycia paliwa, jak i dostępności energii na pokładzie oraz na trasie, aby zapewnić możliwość ukończenia podróży z zachowaniem niezbędnej rezerwy.
nawigacja	6. Utrzymywanie odpowiedniej dokładności nawigacji, aby bezpiecznie zakończyć podróż; świadomość własnej pozycji, innych statków powietrznych oraz otaczającej infrastruktury (tj. dróg lub procedur według przyrządów), tak aby można było zaplanować i podążać odpowiednią trasą.
komfort lotu oraz możliwość unikania niekorzystnych zjawisk pogodowych	7. Utrzymywanie odpowiedniego komfortu, bezpieczeństwa oraz jakości podróży, w tym unikanie niebezpiecznych i niekorzystnych warunków pogodowych oraz innych okoliczności, które mogą powodować dyskomfort; np. przyspieszenie > 2 g jest uważane za niedopuszczalne w warunkach innych niż awaryjne.
zarządzanie systemami	8. System w pojeździe musi być odpowiednio zarządzany, aby utrzymać wydajność i oczekiwany poziom bezpieczeństwa. Awaryjne podsystemy mogą wymagać zmiany bieżącego działania w celu utrzymania bezpieczeństwa, przykładowo wykonania lądowania zapobiegawczego lub awaryjnego, m.in. jeśli stan silnika stanie się niepewny.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: V.Ch. Nneji, A. Stimpson, M. Cummings, K.H. Goodrich, *Exploring Concepts of Operations for On-Demand Passenger Air Transportation*, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20170006498/downloads/20170006498.pdf> (dostęp: 18.10.2024).

7.1. Opcja przewozu pasażerów statkiem powietrznym z jednym pilotem

Koncepcja przewozu pasażerów jednopilotowym statkiem powietrznym jest najbliższa współczesnym komercyjnym podróżom lotniczym na żądanie i zakłada świadczenie usług pomiędzy węzłami metropolitalnymi a przedmieściami z wykorzystaniem jednej z wersji lądowiska dla helikopterów. Pojazd miałby co najmniej dwa siedzenia, jedno dla pilota i drugie dla pasażerów. Wycieczki mogą obejmować odległości do 300 mil (ok. 500 km) na wysokości 3000 m. W tym modelu uwzględnia się zarówno tranzyt między miastami, jak i wewnątrz miast; zazwyczaj stosuje się go, jeśli całkowity czas podróży „od drzwi do drzwi” jest krótszy niż w przypadku samochodu.

Typowa podróż pojedynczego pojazdu składałaby się z 8 faz, z możliwością uwzględnienia ewentualnych sytuacji awaryjnych.



Rysunek 75. Podróż pojedynczego statku powietrznego

Źródło: opracowanie własne na podstawie: V.Ch. Nneji, A. Stimpson, M. Cummings, K.H. Goodrich, *Exploring Concepts...*, op. cit.¹⁷⁸

¹⁷⁸ Fazy typowej podróży: 1. Pasażer szuka lotu i dokonuje zamówienia. a. Pasażer składa zamówienie za pośrednictwem aplikacji mobilnej. b. Pilot akceptuje zamówienie. c. Pasażer potwierdza

Faza pierwsza operacyjnej obejmowałaby następujące elementy:

1. pasażera zamawiającego lot za pośrednictwem platformy aplikacji mobilnej;
2. platformę aplikacji mobilnej wskazującą możliwość akceptacji lotu dostępnemu pilotowi;
3. pilota przyjmującego zamówienie;
4. aplikację wyświetlającą trasę lotu zarówno pasażerowi, jak i pilotowi, gdy pasażer potwierdzi zamówienie.

Faza druga obejmuje:

1. przybycie pasażera i pilota do bazy (co może odbywać się drogą powietrzną lub transportem naziemnym);
2. sprawdzenie pasażera i pilota w ramach procesu bezpieczeństwa;
3. po weryfikacji pilota, wypełnienie przez niego listy kontrolnej przed lotem i w tym celu m.in. obchód (*walk around*) dla sprawdzenia, czy statek powietrzny jest bezpieczny i zdatny do lotu.

Faza trzecia rozpoczyna się po sprawdzeniu wszystkich elementów systemu.

Następnie:

1. pilot upewnia się, że pasażer rozumie instrukcje bezpieczeństwa dotyczące wchodzenia na pokład i stosuje się do nich;
2. pilot informuje swoje centrum operacyjne, że systemy są gotowe do pracy;
3. pilot przekazuje niezbędne informacje ATC, aby uzyskać ostateczną zgodę/ pozwolenie na dostęp do określonej przestrzeni powietrznej;
4. dyspozytor/pracownik operacyjny zdalnie monitoruje stanowisko startu statku powietrznego, aby zapewnić spełnienie warunków bezpieczeństwa podczas pionowego startu;
5. ATC komunikuje się z pilotem, aby umożliwić start i otrzymać pozwolenie.

zamówienie. d. Aplikacja wyświetla trasę pilotowi oraz pasażerowi. 2. Pasażer i pilot przybywają na miejsce startu – lądowisko. a. Pasażer i pilot przechodzą weryfikację bezpieczeństwa i/lub identyfikację. b. Samolot przechodzi weryfikację sprawności technicznej przed lotem. 3. Pilot wykonuje czynności kontrolne przed startem. a. Pilot komunikuje gotowość do lotu centrum dyspozytorskiemu i przekazuje odpowiednie informacje do ATC. b. Dyspozytor zdalnie sprawdza statek powietrzny pod kątem warunków bezpieczeństwa. c. Dyspozytor zatwierdza pilota do startu. 4. Pilot steruje statkiem powietrznym przed startem. 5. W trakcie lotu po trasie. a. Dyspozytor utrzymuje łączność z pilotem. b. System statku powietrznego automatycznie przekazuje lokalizację do ATC. 6. Pilot komunikuje się z dyspozytorem w celu uzyskania pozwolenia na zbliżanie i lądowanie na lądowisku. a. Dyspozytor koordynuje bezpieczną separację i sprawdza możliwość lądowania na lądowisku. b. Pilot zbliża się i wykonuje zawis nad lądowiskiem. 7. Pilot ląduje na lądowisku. a. Pilot dokonuje kontroli bezpieczeństwa i przeglądu sprawności technicznej pojazdu. b. Pilot pomaga pasażerom przy wysiadaniu. 8. Pojazd odbywa przegląd techniczny, jest sprzątny, czyszczony. a. Samolot jest weryfikowany pod kątem bezpieczeństwa lotu, zużycia energii, osiągnięć i wymagań nawigacyjnych, aby móc realizować kolejne zamówienie i lot.

Faza czwarta polega na manewrowaniu przez pilota statkiem powietrznym w taki sposób, że w przypadku niesprawności, np. jednego silnika, statek może:

1. bezpiecznie zatrzymać się na płycie lotniska;
2. kontynuować podróż po torze wznoszenia po starcie z wymaganą prędkością, wznieść się na wymaganą wysokość i odlecieć w trybie normalnym – rejsowym na określonej wysokości.

Faza piąta rozpoczyna się po wystartowaniu samolotu. W jej ramach:

1. pilot otrzymuje pomoce nawigacyjne umożliwiające kierowanie lotem;
2. centrum operacyjne – dyspozytorskie pozostaje w kontakcie z pilotem;
3. system statku powietrznego automatycznie przekazuje lokalizację ATC.

Faza szósta następuje, gdy statek powietrzny zbliża się na pewną odległość od bazy lotniska docelowego. Wówczas:

1. pilot komunikuje się z ATC lub swoim centrum operacyjnym, aby upewnić się, że lądowisko jest dopuszczone do użytku;
2. centrum operacyjne koordynuje współrzędne, lokalizacje oraz zapewnia separację od innych operujących statków powietrznych;
3. pilot utrzymuje statek w zawisie lub ląduje pionowo.

W przypadku lądowania awaryjnego pilot będzie zobowiązany, by:

1. postępować zgodnie z procedurami otrzymanymi podczas szkolenia i z instrukcją obsługi statku powietrznego;
2. jeśli to możliwe, skonsultować się z dyspozytorami i/lub ATC w celu uzyskania dodatkowych informacji;
3. poinformować pasażera, aby postępował zgodnie z procedurami awaryjnymi w celu przygotowania się do lądowania.

Jeśli statek powietrzny znajduje się blisko lotniska bazy, z której wystartował (baza macierzysta), pilot może zostać poinstruowany, aby wrócił do niej lub innego miejsca lądowania, jeśli baza macierzysta jest niedostępna ze względu na pogodę lub inne problemy. W sytuacjach awaryjnych, w których statek powietrzny nie znajduje się blisko bazy macierzystej i nie jest w stanie dotrzeć do lotniska docelowego, pilot identyfikuje realne miejsca lądowania awaryjnego, komunikując się z centrum operacyjnym, ATC i innymi lokalnymi kontrolami przestrzeni powietrznej/lądowania.

Scenariusz awaryjny obejmuje niezdolność pilota do pracy, w związku z tym system statku powietrznego będzie wyposażony w swego rodzaju włącznik awaryjny, działający automatycznie, zapewniający pasażerom alternatywną opcję ucieczki, która może obejmować uruchomienie spadochronu awaryjnego dla osób lub całego samolotu.

Faza siódma następuje, gdy pilot:

1. wyląduje statkiem powietrznym na lądowisku;

2. dokona kontroli systemu statku powietrznego pod kątem bezpiecznego opuszczenia go;
3. pomoże pasażerowi w upewnieniu się, że wszystkie jego rzeczy osobiste zostały zabrane;
4. odprowadzi pasażera bezpieczną drogą i w bezpiecznej odległości, aby uniknąć ewentualnego zagrożenia ze strony statku powietrznego (np. wirników itp.).

Faza ósma obejmuje ponowne tankowanie czy też ładowanie baterii statku powietrznego, sprzątanie, czyszczenie (w razie potrzeby) i weryfikację sprawności technicznej, aby upewnić się, że jest on sprawny technicznie, gotowy do ponownego bezpiecznego i komfortowego lotu również w zakresie spełnienia wymagań dotyczących precyzji systemów nawigacyjnych, osiągow itp.

7.2. Opcja przewozu pasażerów i towarów za pomocą BSP

Obecnie, w związku z tym, że trwają już testy, a także następuje szybki rozwój dronów oraz samochodów bez kierowcy, można sobie wyobrazić opracowanie statku powietrznego – samolotu wykonującego przewóz pasażerski i towarów z pełną autonomią. Systemy takich w pełni zautomatyzowanych pojazdów będą musiały spełniać wszystkie funkcje lotnicze, nawigacyjne i komunikacyjne, które obejmują pilotowanie statku powietrznego w taki sposób, aby jego położenie, kąt nachylenia, pochylenia i tory lotu były ustabilizowane oraz prowadziły statek powietrzny w pionie/boku we właściwym kierunku na bezpiecznej wysokości, unikając przeszkód. System ten może w różny sposób współpracować z ATC, wykorzystując koncepcję zarządzania ruchem bezzałogowych UTM. W tej opcji przewozów pasażerów i towarów operatorzy-dyspozytorzy statków powietrznych mogliby pełnić rolę nadzorczą, aby zdalnie zarządzać operacjami i zapewniać możliwość przejęcia kontroli w przypadku zaistnienia nieoczekiwanych i nieprzewidywanych scenariuszy, z którymi systemy autonomiczne nie są w stanie poradzić sobie same.

Fazy od pierwszej do trzeciej tej koncepcji operacyjnej przypominają etapy przygotowania lotu konwencjonalnych, pilotowych taksówek powietrznych, które zostały opisane powyżej. Jednakże różnicą i dodatkową zaletą w tym przypadku byłaby możliwość wymiany statku powietrznego, ponieważ obecność, godziny pracy załogi i przeszkolenie pilota nie będą już ograniczeniami. Od weryfikacji, przyjęcia na pokład, do startu pasażerowie i samoloty przechodziliby te same kontrole. Jednak w przypadku BSP kontrolę sprawowałyby zautomatyzowane technologie, które pomagałyby pasażerom we wsiadaniu i przygotowaniach do startu pod zdalnym nadzorem dyspozytora.

Fazy czwarta i piąta zakładają, że autonomiczne statki powietrzne będą samodzielnie startować pionowo i lądować trasą wyznaczoną przez centrum dyspozytorskie do lotniska lub lądowiska docelowego. W tym modelu centrum dyspozytorskie odgrywałoby bardziej aktywną rolę, utrzymując stały kontakt z pasażerem oraz monitorując postęp i stan pojazdu na bieżąco.

W fazie szóstej, czyli podejścia do lądowania, autonomiczny statek powietrzny wykorzystywałby zautomatyzowany system nadzoru lotniska/lądowiska docelowego i cyfrowy system zapewnienia bezpiecznej separacji poruszających się statków powietrznych oraz przeszkód naziemnych w celu m.in. ustalenia czy lądowisko, lotnisko jest dostępne i czy można na nim lądować.

Fazy siódma i ósma przebiegałyby zgodnie z wcześniejszym opisem, z tą różnicą, że lądowanie byłoby całkowicie zautomatyzowane, a wysiadanie ze statku powietrznego i schodzenie pasażerów na lądowisko wymagałoby dodatkowej asysty personelu naziemnego. Obsługę techniczną statków powietrznych, przynajmniej w zakresie podstawowym, można będzie zautomatyzować z wykorzystaniem np. robotów i zdalnego monitorowania przez centrum operacyjne, jednakże na obecnym etapie jest to jeszcze futurystyczny i dopiero rozpoznawany obszar badań.

W przypadku potrzeby awaryjnego lądowania autonomiczny statek powietrzny poinformuje pasażera o:

- konieczności zastosowania się do procedur awaryjnych w celu przygotowania się do lądowania lub
- zaplanowanej wcześniej alternatywnej opcji ewakuacji; to samo drzewo decyzyjne, które przedstawiono powyżej dla pilotów konwencjonalnych statków powietrznych, zostanie wykorzystane do określenia alternatywnych miejsc lądowania, w tym za pomocą map i wizji komputerowej, w celu zidentyfikowania realnych miejsc lądowania awaryjnego podczas komunikacji z dyspozytorem, ATC i innymi lokalnymi kontrolerami przestrzeni powietrznej/lądowań.

7.3. Opcja przejściowa przewozu pasażerów i towarów za pomocą BSP

Najbardziej efektywnym podejściem do przewozu pasażerów i towarów będzie wykorzystanie w początkowym okresie jednopilotowych statków powietrznych. W miarę rozwoju technologii pojazdy będą stopniowo zyskiwać coraz większą autonomię, a kontrola dokonywana przez człowieka będzie sukcesywnie zmniejszana. Ostatecznie pilot zostanie całkowicie odsunięty od kierowania statkiem powietrznym, a pojazd osiągnie pełną autonomię.

Obecnie mamy do czynienia z koncepcją przejściową. Na niej skupiają się teraz twórcy statków powietrznych budujący „opcjonalnie pilotowane” pojazdy, które mogą samodzielnie latać, ale mogą być również pilotowane przez człowieka w warunkach wymagających takiej kontroli (zazwyczaj ze względu na ograniczenia regulacyjne).

W przypadku statku powietrznego „opcjonalnie pilotowanego” fazy pierwsza i druga będą przebiegały zgodnie z powyżej opisanym scenariuszem. W fazie trzeciej głównym obowiązkiem pilota będzie asystowanie i pomoc pasażerowi wchodzącemu na pokład. Pilot będzie nadzorował proces startu pojazdu w fazie czwartej. W piątej dron (pojazd bezpilotowy) poleci sam, co będzie wymagało od pilota zachowania uwagi, tak jak podczas zwykłych operacji lotniczych. Centrum dyspozytorskie pozostanie w kontakcie z pilotem, podczas gdy statek powietrzny automatycznie przekaże ATC swoją lokalizację. Gdy samolot automatycznie wylądował, pilot przeprowadzi kontrolę po locie oraz bezpiecznie, wraz z pasażerem, opuści pojazd.

W sytuacjach awaryjnych pilot byłby instruowany przez centrum operacyjne, które zapewniłoby trasę statku powietrznego do optymalnego lądowiska/lotniska. Jeżeli konieczne byłoby awaryjne lądowanie, pilot miałby możliwość przejęcia kontroli nad lotem statku powietrznego. Scenariusz awaryjny obejmuje niezdolność pilota do pracy; w takich sytuacjach statek powietrzny zapewni pasażerowi alternatywne możliwości ucieczki, które opisano powyżej, czyli możliwość awaryjnego uruchomienia automatycznego lądowania lub spadochronu.

Powyżej zostały zidentyfikowane trzy opcje – koncepcje systemowe operacji lotniczych przewozów pasażerskich oraz cargo, zaczynając od operacji z jednym pilotem (konwencjonalne), które mogłyby mieć miejsce już w dzisiejszym środowisku technologicznym i regulacyjnym, po futurystyczne, bezpilotowe, wykorzystujące pełną autonomię. Chociaż w przyszłości takie pojazdy autonomiczne będą mogły być własnością osób fizycznych, prawdopodobnie dominującym modelem biznesowym będą programy pojazdów sieci transportowej, w których pasażerowie nie będą właścicielami ani operatorami statków powietrznych ze względu na koszty i złożoność operacji. Jednak niedawno przeprowadzone badanie wykazało, że ludzie woleliby być posiadaczami osobistych autonomicznych samochodów latających, które mogą przewozić do czterech osób, niż użytkownikami sterowanych przez pilota pojazdów do wspólnych przejazdów¹⁷⁹.

Małe, kilkoosobowe VTOL-e zapewniają opcje transportu, które są bardziej elastyczne niż transport masowy, a jednocześnie w zakresie eksploatacji

¹⁷⁹ M. Sivak, B. Schoettle, *A Survey of Public Opinion about Flying Cars*, Michigan 2017.

prawdopodobnie w większym stopniu ekonomiczne niż prywatne duże pojazdy powietrzne. VTOL-e umożliwiają realizację transportu wewnątrzmijskiego. Pasażerowie mogliby potencjalnie korzystać ze swoich smartfonów, aby zamówić usługę, kiedy chcą, gdzie i u kogo chcą, bez konieczności większego planowania. Takie operacje transportowe mogłyby ominąć ruch uliczny i skrócić czas podróży, nie będąc jednocześnie znacznie droższe niż adekwatne podróże drogowe. Choć gdyby rzeczywiście stały się opcją dla osób codziennie dojeżdżających do pracy, zatory komunikacyjne mogłyby przenieść się z ziemi w powietrze. Pojawienie się technologii sztucznej inteligencji, które umożliwiają autonomiczność pojazdów, stwarza szansę na poszerzenie zakresu tych usług poprzez zmniejszenie zależności od pilotów i kontrolerów ruchu lotniczego.

Przyszłe badania nad wdrożeniem omawianych technologii skupią się również na określeniu zakresu zadań i kompetencji oraz na kwestii podziału odpowiedzialności pomiędzy operatorem, pasażerem, pojazdem, a także wymaganiami i potrzebą stworzenia zdalnego centrum operacyjnego. Zarówno technologie, jak i przepisy, mogą ostatecznie określić tempo i wielkość sukcesu tych koncepcji.

ROZDZIAŁ 8

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Okres pandemii COVID-19 stanowił poważne wyzwanie dla sektora przewoźników lotniczych, pozostawiając długotrwałe negatywne skutki. Ograniczenia dotyczące pracy, redukcja personelu latającego i naziemnego oraz zmniejszenie aktywności kontroli ruchu lotniczego spowodowały potrzebę poszukiwania nowych rozwiązań mających na celu uzupełnienie braków kadrowych.

Jedną z potencjalnych koncepcji może być wprowadzenie komercyjnych lotów pasażerskich i towarowych z minimalną załogą składającą się z jednego pilota, a ostatecznie rozwinięcie w pełni autonomicznych lotów bezzałogowych. Analiza aktualnych rozwiązań pod kątem aspektów społecznych, technicznych, technologicznych, bezpieczeństwa, prawnych i ekonomicznych pokazuje, że wprowadzenie takich technologii, mimo licznych testów, jest nadal odległe dla całej branży lotniczej. Potwierdzają to wyniki badań ankietowych przeprowadzonych w ramach niniejszego badania, które wskazują, że wprowadzenie technologii pozwalającej na realizację lotów komercyjnych, to istniejące ograniczenia prawne związane z redukcją załogi do jednego pilota stanowią większy problem niż w odniesieniu do lotów bez pilota na pokładzie.

Problemy związane z wprowadzeniem lotów bez pilota są znaczące. Analiza literatury wskazuje na wiele ograniczeń, które wykraczają poza kwestie prawne, takich jak monitorowanie parametrów lotu w czasie rzeczywistym przez przewoźników, zarządzanie operacyjne flotą oraz manewrowanie na płycie lotniska. Ponadto wyzwaniem pozostaje proces szkolenia pilotów oraz zdobywanie przez nich doświadczenia w zakresie samodzielnych lotów.

Jednakże powyższe rozważania dotyczą głównie statków powietrznych obsługujących długie trasy i realizujących przewozy dużej liczby pasażerów i towarów. W bliższej perspektywie znajduje się rozwój floty lokalnej, która obsługuje krótsze odległości i przewozi mniejszą liczbę pasażerów czy towarów. Aktualnie przeprowadzane testy pokazują, że loty autonomiczne mogą już obejmować odległości do 200 km. Pionowzloty z nowymi napędami elektrycznymi nie będą wymagały dużych lądowisk, co umożliwi ich lokalizację w pobliżu centrów logistycznych, zwiększając efektywność transportu medycznego i pasażerskiego.

W związku z tym lokalny transport powietrzny ma znacznie większą szansę na szybkie wdrożenie w porównaniu do międzynarodowego transportu lotniczego.

Należy pamiętać, że dynamicznie rozwijająca się dziedzina bezzałogowych i zautomatyzowanych systemów transportu lotniczego jest przedmiotem bieżących badań i publikacji, dlatego warto zapoznawać się z najnowszymi artykułami i raportami branżowymi, aby uzyskiwać aktualne informacje na ten temat. Ponadto w tym obszarze mogą szybko zmieniać się regulacje, więc istotne jest śledzenie najnowszych aktów prawnych i rekomendacji międzynarodowych organizacji lotniczych, takich jak ICAO czy EASA.

Odnosząc się do przedstawionych w rozdziale 1. hipotez badawczych dotyczących wdrożenia pojazdów bezpilotowych i jednoosobowych składów załóg w branży lotniczej, w przypadku pierwszej hipotezy, zakładającej, że wprowadzenie tych technologii znacząco zmniejszy koszty operacyjne linii lotniczych pomimo wymaganych znaczących inwestycji początkowych, należy stwierdzić, że jest ona wysoce prawdopodobna. Można oczekiwać, że inwestycje te będą stopniowo przekładały się na obniżenie kosztów pracy i efektywniejsze wykorzystanie floty, co jest obiecujące zarówno dla linii lotniczych, jak i dla pasażerów.

Druga hipoteza podkreśla konieczność opracowania nowych protokołów bezpieczeństwa i szkoleń, które w długim terminie mogą znacznie zwiększyć bezpieczeństwo lotów. To podejście wydaje się szczególnie ważne, ponieważ innowacje w zakresie bezpieczeństwa i szkolenia mają kluczowe znaczenie dla utrzymania oraz podnoszenia standardów bezpieczeństwa w lotnictwie, co z kolei może przyczynić się do wzrostu zaufania konsumentów do nowych technologii.

Trzecia hipoteza dotyczy początkowego sceptycyzmu społeczeństwa wobec bezzałogowych lotów pasażerskich, który ma stopniowo ustępować miejsca akceptacji. Taki stosunek wydaje się być realistycznym odzwierciedleniem naturalnej ludzkiej reakcji na nową technologię. Jest podobny do reakcji towarzyszącej innym przełomom technologicznym, w których początkowy opór ustępuje miejsca akceptacji, gdy zostaje udowodniona wartość i niezawodność technologii.

Hipoteza czwarta, zakładająca, że rozwój regulacji dotyczących nowych składów załóg będzie postępował wolniej niż rozwój technologiczny, jest ważnym przypomnieniem o potrzebie zrównoważonego podejścia do innowacji. Rzeczywiście regulacje muszą nadążyć za postępem technologicznym, aby zapewnić bezpieczne i skuteczne wdrożenie tych technologii.

Ostatnia hipoteza dotycząca wpływu bezzałogowych i jednoosobowych operacji na rynek pracy w lotnictwie wskazuje na istotne zmiany, które mogą nastąpić w zakresie wymaganych szkoleń i zawodowych ról. Wprowadzenie tych technologii może nie tylko zmniejszyć zapotrzebowanie na niektóre tradycyjne

role, ale jednocześnie otworzyć nowe możliwości kariery związane z obsługą systemów autonomicznych i nadzorem nad nimi. Adaptacja do tych zmian będzie wymagała rozwinięcia nowych umiejętności, co jest naturalnym procesem w każdej branży, która przechodzi transformacje technologiczne.

Podsumowując odpowiedzi na postawione pytania badawcze, należy stwierdzić, że wdrożenie bezpilotowych i jednoosobowych składów załóg w transporcie pasażerskim oraz cargo stawia przed branżą lotniczą szereg wyzwań technologicznych. Obejmują one rozwój zaawansowanych systemów automatyzacji, zapewnienie niezawodnej komunikacji zdalnej oraz integrację z istniejącymi systemami zarządzania ruchem lotniczym. Ważne jest również zagwarantowanie wysokiego poziomu redundancji i niezawodności systemów w celu minimalizacji ryzyka awarii.

Zmiana składu załogi będzie miała istotny wpływ na bezpieczeństwo operacji lotniczych. Redukcja załogi do jednej osoby lub całkowite przejście na operacje bezzałogowe wymagać będzie nie tylko zaawansowanych systemów monitorowania i kontroli, ale również nowych procedur awaryjnych oraz zwiększonego zaufania do technologii automatycznych.

W zakresie wymogów regulacyjnych wprowadzenie oraz efektywne zarządzanie bezpilotowymi i jednoosobowymi operacjami lotniczymi będą wymagały istotnych zmian w przepisach dotyczących certyfikacji, standardów bezpieczeństwa, procedur operacyjnych oraz zasad zarządzania ruchem lotniczym. Te zmiany będą kluczowe dla zapewnienia bezpiecznego i skutecznego funkcjonowania nowych modeli operacyjnych.

Z perspektywy ekonomicznej wprowadzenie bezzałogowych przewozów lotniczych i załóg jednoosobowych zapewnia zmniejszenie kosztów operacyjnych, zwiększenie efektywności oraz potencjalne otwarcie nowych możliwości rynkowych. Jednakże te korzyści ekonomiczne mogą być zrównoważone przez początkowe koszty wdrożenia, konieczność rozwoju infrastruktury i potrzebę spełnienia surowszych wymogów bezpieczeństwa.

W kontekście percepcji społecznej należy stwierdzić, że przedmiotowe operacje lotnicze budzą różne reakcje. Istnieją obawy dotyczące bezpieczeństwa, niezawodności i prywatności, a także wpływu na rynek pracy. Ważne będzie zatem prowadzenie działań edukacyjnych i komunikacyjnych mających na celu zwiększenie zaufania społecznego do tych technologii.

W ostatnich latach rosnące zainteresowanie „latającymi pojazdami” do przemieszczania się po miastach przyczyniło się do szybkiego rozwoju nowych technologii, które mają na celu realizację takich platform mobilności na żądanie. W monografii przedstawiono analizy różnych koncepcji operacyjnych zaproponowanych przez zaangażowane strony oraz omówiono zagrożenia i przepisy, które muszą zostać uwzględnione. W wyniku tych analiz zidentyfikowano trzy

główne architektury systemów: od tradycyjnej taksówki powietrznej z jednym pilotem po nowatorskie, w pełni autonomiczne operacje bezpilotowe. Postępy w technologiach wspierających rozwój, takie jak elektryczny napęd rozproszony i sztuczna inteligencja, przyciągnęły znaczne inwestycje i przyniosły pierwsze sukcesy eksperymentów. Mimo to może minąć jeszcze kilka lat, zanim te rozwiązania zostaną wdrożone na dużą skalę, szczególnie w transporcie pasażerskim.

Najbardziej efektywnym podejściem będzie rozpoczęcie przewozów pasażerów i towarów przy użyciu statków powietrznych z jednym pilotem. W miarę postępu technologii pojazdy będą stopniowo zyskiwać na autonomii, a rola pilota będzie coraz bardziej ograniczana. Ostatecznie pilot zniknie z kokpitu, a pojazd osiągnie pełną autonomię.

Obecnie mamy do czynienia z koncepcją przejściową, na której koncentrują się twórcy statków powietrznych. Budują oni „opcjonalnie pilotowane” pojazdy, które mogą latać autonomicznie, ale w sytuacjach tego wymagających mogą być również obsługiwane przez pilota, zazwyczaj z uwagi na regulacje prawne.

Potencjalne ścieżki rozwoju technologii i operacji bezzałogowych w lotnictwie cywilnym skupiają się na dalszej automatyzacji, integracji z globalnymi systemami zarządzania ruchem lotniczym oraz opracowaniu nowych modeli biznesowych, które będą mogły wykorzystać ich zalety. Przyszły rozwój będzie wymagał ścisłej współpracy między regulatorami, producentami sprzętu lotniczego, operatorami lotniczymi oraz innymi zainteresowanymi stronami, aby zapewnić bezpieczne, efektywne, a także akceptowane społecznie wdrożenie bezzałogowych i jednoosobowych operacji lotniczych.

ZAŁĄCZNIK

Ankieta badań „Możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji przewozów pasażerskich oraz cargo”

Szanowni Państwo,

zapraszamy do udziału w wypełnieniu ankiety badań możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich oraz cargo przy wykorzystaniu bezzałogowych statków powietrznych oraz z załogą jednoosobową.

Ankieta jest realizowana w ramach projektu Sektorowej Rady Kompetencji przemysłu lotniczo-kosmicznego, działającej na podstawie Ustawy z 9 listopada 2000 roku, pod auspicjami Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości.

Projekt ten realizowany jest w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój, działanie 2.12 – Zwiększenie wiedzy o potrzebach kwalifikacyjno-zawodowych ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.

Informujemy, że zebrane dane:

1. nie obejmują danych osobowych w rozumieniu przepisów o ochronie danych osobowych, w szczególności Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/79 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w sprawie ochrony osób fizycznych w związku z przetwarzaniem danych osobowych i w sprawie przepływu takich danych oraz uchylenia dyrektywy 95/46/WE oraz ustawy o ochronie danych osobowych;
2. będą służyć do realizacji niniejszego projektu badawczego;
3. nie będą wykorzystywane do celów innych niż cel niniejszego projektu, a w trakcie ich przetwarzania zapewniamy im właściwą ochronę;
4. mogą być udostępnione na potrzeby podmiotu zamawiającego, jakim jest Sektorowa Rada Kompetencji ds. Sektora Lotniczo-Kosmicznego [SRK], organu nadzorczego SRK, tj. Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości [PARP] oraz w razie konieczności dla uprawnionych z mocy prawa organów kontrolnych. Jednocześnie informujemy, że posiadają Państwo prawo wnoszenia uwag lub zmian w zakresie przekazanych danych.

W efekcie badania zostanie opracowana analiza, stanowiąca sprawozdanie z przeprowadzonych badań, która będzie dostępna na stronie Sektorowej Rady

ds. Kompetencji Przemysłu Lotniczo-Kosmicznego pod adresem: <http://rada-przemyslu-lot-kos.pl/raporty-z-badan>

Wypełnienie ankiety powinno zająć ok. 20 minut, dziękując z góry, bardzo prosimy o jej wypełnienie do 12 lipca 2022 r.

Przewozy pasażerskie – aspekty technologiczne

1. Czy Pani/Pana zdaniem istnieją technologiczne możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM
2. Czy Pani/Pana zdaniem istnieją technologiczne możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM

Przewozy cargo – aspekty technologiczne

1. Czy Pani/Pana zdaniem istnieją technologiczne możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów cargo przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE

- g. INNE...
 - h. NIE WIEM
2. Czy Pani/Pana zdaniem istnieją technologiczne możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów cargo przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
- a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM

Przewozy pasażerskie – czynniki społeczne

1. Czy Pani/Pana zdaniem istnieją bariery społeczne możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
- a. TAK – OBECNIE
 - b. NIE – ZA 5 LAT
 - c. NIE – ZA 10 LAT
 - d. NIE – ZA 15 LAT
 - e. NIE – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM
2. Czy Pani/Pana zdaniem istnieją bariery społeczne możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
- a. TAK – OBECNIE
 - b. NIE – ZA 5 LAT
 - c. NIE – ZA 10 LAT
 - d. NIE – ZA 15 LAT
 - e. NIE – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM

Przewozy cargo – czynniki społeczne

1. Czy Pani/Pana zdaniem istnieją obecnie bariery społeczne możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów cargo przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. NIE – ZA 5 LAT
 - c. NIE – ZA 10 LAT
 - d. NIE – ZA 15 LAT
 - e. NIE – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM
2. Czy Pani/Pana zdaniem istnieją obecnie bariery społeczne możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów cargo przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. NIE – ZA 5 LAT
 - c. NIE – ZA 10 LAT
 - d. NIE – ZA 15 LAT
 - e. NIE – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM

Przewozy pasażerskie – bezpieczeństwo

1. Czy Pani/Pana zdaniem zapewnione byłoby bezpieczeństwo możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM

2. Czy Pani/Pana zdaniem zapewnione byłoby bezpieczeństwo możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
- TAK – OBECNIE
 - TAK – ZA 5 LAT
 - TAK – ZA 10 LAT
 - TAK – ZA 15 LAT
 - TAK – ZA 20 LAT
 - NIE
 - INNE...
 - NIE WIEM

Przewozy cargo – bezpieczeństwo

1. Czy Pani/Pana zdaniem zapewnione byłoby bezpieczeństwo możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów cargo przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
- TAK – OBECNIE
 - TAK – ZA 5 LAT
 - TAK – ZA 10 LAT
 - TAK – ZA 15 LAT
 - TAK – ZA 20 LAT
 - NIE
 - INNE...
 - NIE WIEM
2. Czy Pani/Pana zdaniem zapewnione byłoby bezpieczeństwo możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów cargo przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
- TAK – OBECNIE
 - TAK – ZA 5 LAT
 - TAK – ZA 10 LAT
 - TAK – ZA 15 LAT
 - TAK – ZA 20 LAT
 - NIE
 - INNE...
 - NIE WIEM

Przewozy pasażerskie – przesłanki (uzasadnienie) ekonomiczne

1. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje uzasadnienie ekonomiczne możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM
2. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje uzasadnienie ekonomiczne możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM

Przewozy cargo – przesłanki (uzasadnienie) ekonomiczne

1. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje uzasadnienie ekonomiczne możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów cargo przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM

2. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje uzasadnienie ekonomiczne możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów cargo przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
- TAK – OBECNIE
 - TAK – ZA 5 LAT
 - TAK – ZA 10 LAT
 - TAK – ZA 15 LAT
 - TAK – ZA 20 LAT
 - NIE
 - INNE...
 - NIE WIEM

Przewozy pasażerskie – podstawa prawna

3. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje podstawa prawna możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
- TAK – OBECNIE
 - TAK – ZA 5 LAT
 - TAK – ZA 10 LAT
 - TAK – ZA 15 LAT
 - TAK – ZA 20 LAT
 - NIE
 - INNE...
 - NIE WIEM
4. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje podstawa prawna możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
- TAK – OBECNIE
 - TAK – ZA 5 LAT
 - TAK – ZA 10 LAT
 - TAK – ZA 15 LAT
 - TAK – ZA 20 LAT
 - NIE
 - INNE...
 - NIE WIEM

Przewozy cargo – podstawa prawna

3. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje podstawa prawna możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów cargo przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM
4. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje podstawa prawna możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów cargo przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM

Przewozy pasażerskie – akceptacja pasażerów

1. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje akceptacja pasażerów możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM

2. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje akceptacja pasażerów możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
- a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM

Przewozy pasażerskie – akceptacja kontrolerów ruchu lotniczego oraz załóg statków powietrznych

1. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje akceptacja kontrolerów ruchu lotniczego oraz załóg statków powietrznych możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
- a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM
2. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje akceptacja kontrolerów ruchu lotniczego oraz załóg statków powietrznych możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów pasażerskich przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
- a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM

Przewozy cargo – akceptacja kontrolerów ruchu lotniczego oraz załóg statków powietrznych

1. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje akceptacja kontrolerów ruchu lotniczego oraz załóg statków powietrznych możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów cargo przy wykorzystaniu jednoosobowej załogi lotniczej (jeden pilot w kokpicie)?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM
2. Czy Pani/Pana zdaniem istnieje akceptacja kontrolerów ruchu lotniczego oraz załóg statków powietrznych możliwości redukcji personelu lotniczego w realizacji komercyjnych przewozów cargo przy wykorzystaniu bezpilotowych statków powietrznych?
 - a. TAK – OBECNIE
 - b. TAK – ZA 5 LAT
 - c. TAK – ZA 10 LAT
 - d. TAK – ZA 15 LAT
 - e. TAK – ZA 20 LAT
 - f. NIE
 - g. INNE...
 - h. NIE WIEM

BIBLIOGRAFIA

1. Allison I.K., Hobbs A., *The Future of Aircraft: The Move Towards Pilotless Commercial Flights and the Impact on Pilot Training*, „Aviation Psychology and Applied Human Factors”, 2021, 11(1).
2. Anderson P., *Unmanned Aircraft Systems for Cargo Delivery: A Review of Current Operations and Future Prospects*, „Journal of Air Transport Management”, 2022, 89.
3. Aomar H., Bentley P.J., *Autonomous flight cycles and extreme landings of airliners beyond the current limits and capabilities using artificial neural networks*, „Applied Intelligence”, 2021, 51.
4. Balcerzak T., *A „just culture”? Conflicts of interest in the investigation of aviation accidents*, „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport”, 2017, 94.
5. Balcerzak T., *A new generation of disruptors is planning to redefine air travel – so what does this mean for airlines and airports?*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2018.
6. Balcerzak T., *An examination of aviation accidents in the context of a conflict of interests between law enforcement, insurers, commissions for aircraft accident investigations and other entities*, „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport”, 2017, 95.
7. Balcerzak T., *Bezpieczeństwo komercyjnych przewozów lotniczych w jednoosobowym składzie załogi lotniczej*, w: A. Konert (red.), *Rola Instytutu Prawa Lotniczego i Kosmicznego w procesie budowy bezpieczeństwa transportu lotniczego*, Warszawa 2021.
8. Balcerzak T., *Chances and challenges of the Polish Central Airport Project – time for decisions. Szanse i wyzwania Centralnego Portu Lotniczego (Komunikacyjnego) – czas na decyzje*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2018.
9. Balcerzak T., *Cyberbezpieczeństwo w lotnictwie cywilnym*, [w:] E. Dynia, S. Kubas (red.), *Bezpieczeństwo w międzynarodowym i krajowym prawie lotniczym i kosmicznym*, Rzeszów 2018.
10. Balcerzak T., *Flight simulation in civil aviation-advantages and disadvantages*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2018.

11. Balcerzak T., *Global aerospace industry risks*, „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport”, 2018, 102.
12. Balcerzak T., *Investigation into the production flaws in thin solid carbon laminates by using the ultrasonic phased array method*, „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport”, 2018, 101.
13. Balcerzak T., *Investigation of aviation accidents in the context of a conflict of interests between Law Enforcement, Insurers, The Commission on Aircraft Accident Investigation and other entities*, „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport”, 2015, 88.
14. Balcerzak T., Kostur K., *A new generation of disruptors is planning to redefine air travel – so what does this mean for airlines and airports?*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2019.
15. Balcerzak T., *Możliwości technologiczne i prawne realizacji przewozów cargo z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych*, [w:] A. Konert (red.), *Prawne aspekty użytkowania bezzałogowych statków powietrznych*, Warszawa 2020.
16. Balcerzak T., *Możliwości współczesnej technologii lotniczej w świetle realizacji turystyki kosmicznej*, [w:] E. Dynia, L. Brodowski (red.), *Prawo lotnicze i kosmiczne oraz technologie*, Rzeszów 2017.
17. Balcerzak T., Łach A., *Podejścia GNSS szansą na zwiększenie ruchu w sektorze GA*, [w:] L. Bukowski, P. Sobczak (red.), *Współczesne problemy logistyki stosowanej*, Dąbrowa Górnicza 2017.
18. Balcerzak T., *Procedury operacyjne przewoźnika lotniczego*, Dęblin 2019.
19. Balcerzak T., *Research on drone technology for the International Space Station*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2018.
20. Balcerzak T., *Safety and Quality in Aviation Training with Virtual Reality [Bezpieczeństwo i jakość prowadzonych szkoleń z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości]*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2019.
21. Balcerzak T., *The possibilities of modern aviation technology in the light of implementation of space tourism*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2018.
22. Balcerzak T., *The safety of passengers, aircraft and infrastructure against current threats-solutions and technologies*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2017.
23. Balcerzak T., *Transport Concepts in Air Transport [Koncepcje transportowe w transporcie lotniczym]*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2019.
24. Balcerzak T., *What are the risks associated with today's ever-increasing air traffic in the world?*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2017.

25. Balcerzak T., *Zero Flight Time (ZTF) training for civil pilots-advantages and disadvantages*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2018.
26. Bier N., *Single-Pilot Operations in Commercial Aviation: Feasibility and Challenges*, „Safety Science”, 2021, 135.
27. Bogusz D., *Diamond flight training system. DART project*, „Scientific Journal of Safety and Logistics”, 2024, 1.
28. Bogusz D., *Kształcenie i szkolenie lotnicze pilotów wojskowych. Problemy definicyjne*, „Journal of Modern Science”, 2024, 1.
29. Bogusz D., *Symulatory i trenażery lotnicze w szkoleniu pilotów wojskowych w Polsce*, Dęblin 2022.
30. Bogusz D., *System szkolenia lotniczego Grob 120*, „Aviation and Security Issues”, 2023, 3(1).
31. Bogusz D., *Szkolenie selekcyjne kandydatów na pilotów wojskowych w Siłach Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej*, Dęblin 2020.
32. Brzeska K., Balcerzak T., *Wpływ raportowania na poziom bezpieczeństwa w lotnictwie*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2020.
33. Cant T., *Autonomous Flying: The Next Frontier in Air Cargo*, „Air Cargo World”, 2023, 81(4).
34. Cobel-Tokarska M., *Przestrzeń społeczna. Krótkie wykłady z socjologii*, [w:] A. Firakowska-Mankiewicz, T. Kanash, E. Tarkowska (red.), *Krótkie wykłady z socjologii. Przegląd problemów i metod*, Warszawa 2011.
35. Compa T., Rajchel J.B., *Wypadki i incydenty lotnicze: przyczyny – badanie – profilaktyka*, Dęblin 2018.
36. Crane B., Vicroy D.D. (red.), *Advances in Aerospace Guidance, Navigation and Control: Selected Papers of the Third CEAS Specialist Conference on Guidance, Navigation and Control*, [b.m.w.] 2023.
37. Cummings M.L., *Man vs. Machine: The Future of Pilots in the Unmanned Aerial System Era*, „The International Journal of Aviation Psychology”, 2020, 30(2).
38. Dalamagkidis K., Valavanis K.P., Piegł L.A., *On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System: Issues, Challenges, Operational Restrictions, Certification, and Recommendations*, Dordrecht 2011.
39. Dehais F., Hasan A., *Neuroergonomics: The Brain at Work in Aviation*, https://www.researchgate.net/publication/329540042_Neuroergonomics_The_Brain_at_Work_and_in_Everyday_Life (dostęp: 20.10.2024).
40. Durso F.T., Hackworth C.A., *Cognitive Challenges of Single Pilot Operations*, „International Journal of Aviation Psychology”, 2021, 31(1–2).
41. *E-Planes and Drones: Flying with Electricity*, <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/electrified-aircraft/> (dostęp: 20.10.2024).

42. *Encyklopedia zarządzania*, https://mfiles.pl/pl/index.php/Kultura_organizacyjna (dostęp: 20.10.2024).
43. European Aviation Safety Agency (EASA). *Roadmap for the Integration of Civil Drones into the European Aviation System*, [b.m.w.] 2022.
44. European Commission, *Study on the Future of UAV in Europe*, [b.m.w.] 2022.
45. FAA, *Concept of Operations for Commercial and Civil Unmanned Aircraft Systems*, [b.m.w.] 2020.
46. Fellner A., Mańka A., Fellner R., *Drony – bezpieczeństwo i zagrożenia*, „Komunikacja Publiczna”, 2016, 1.
47. GUS, *Prognoza ludności na 2014–2050*, https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5469/1/5/1/prognoza_ludnosci_na_lata_2014_-_2050.pdf (dostęp: 11.07.2023).
48. Harris D., *Human Performance on the Flight Deck*, London 2016.
49. Hellekson D., *Drone Technology in Logistics and Transportation Industries*, „Transportation Research Part C: Emerging Technologies”, 2022, 125.
50. <http://uavo.com.pl/bez-kategorii/najnowsze-statystyki-uavo-okres-2013-2017>, (dostęp: 20.10.2024).
51. <http://www.coslychacwbiznesie.pl/gospodarka/bezalogowe-samoloty-pasazerskie-juz-lataja> (dostęp: 20.10.2024).
52. <https://biznes.interia.pl/gospodarka/news-lotnictwo-z-bezalogowym-samolotem,-nld,5222769> (dostęp: 20.10.2024).
53. <https://biznes.newseria.pl/news/drony-realizuja-coraz,p324112633> (dostęp: 20.10.2024).
54. <https://dlapilota.pl/wiadomosci/dlapilota/ponad-8-dni-w-powietrzu-rekordowa-dlugotrwalosc-lotu-drona> (dostęp: 20.10.2024).
55. <https://elektrotechnikautomatyk.pl/artykuly/bezalogowe-taksowki-powietrzne-to-przyszlosc-transportu> (dostęp: 20.10.2024).
56. <https://innowacje.newseria.pl/news/bezalogowe-drony,p360465128> (dostęp: 20.10.2024).
57. <https://kopalniawiedzy.pl/samolot-pasazerski-katastrofa-Alpy-zaloga-pilot-samolot-bezalogowy,22180> (dostęp: 20.10.2024).
58. <https://kwalifikacje.gov.pl/57-podstawowe-pojecia/225-kwalifikacje-czastkowe> (dostęp: 20.10.2024).
59. <https://kwalifikacje.gov.pl/k> (dostęp: 20.10.2024).
60. <https://medianarodowe.com/2017/09/23/przyszloscia-sa-bezalogowe-samoloty-pasazerskie/> (dostęp: 20.10.2024).
61. <https://mlodytechnik.pl/technika/28737-bezpilotowe-samoloty-pasazerskie> (dostęp: 20.10.2024).
62. <https://www.iaea.org/search/google/safety%20culture> (dostęp: 20.10.2024).

63. <https://www.meil.pw.edu.pl/zsis/ZSiS/Programy-Badawcze/Projekty-krajowe/SAMONIT2> (dostęp: 20.10.2024).
64. https://www.pansa.pl/wp-content/uploads/2022/01/SafeSky_NR15.pdf (dostęp: 20.10.2024).
65. <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2022/16-02-2022-rr-and-roland-berger-forecast-advanced-air-mobility-market-opportunity.aspx> (dostęp: 20.10.2024).
66. <https://www.scribd.com/document/567121635/Volocopter-Whitepaper-Singapore-Roadmap-Web-2> (dostęp: 20.10.2024).
67. *Safety Culture. A Report by the International Nuclear Safety Advisory Group*, Safety Series No 75-INSAG-4, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub882_web.pdf (dostęp: 20.10.2024).
68. Insight, Aerospace Technology Institute, <https://www.ati.org.uk/resources/publications/#insight> (dostęp: 20.10.2024).
69. IAEA, *Safety culture in nuclear installations: Guidance for use in the enhancement of safety culture*, Vienna 2002.
70. International Civil Aviation Organization (ICAO), *Unmanned Aircraft Systems (UAS) Traffic Management (UTM) Systems*, [b.m.w.] 2021.
71. Jafernik H., Balcerzak T., Kubicki J., *Returning to the airport after a drive failure during the take-off – mathematical analysis – Powrót na lotnisko po awarii napędu podczas startu – analiza matematyczna*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2019.
72. Jones D.R., Roach A.T., *Operational and Regulatory Considerations for Cargo Unmanned Aerial Vehicles*, „Journal of Air Law and Commerce”, 2023, 88(1).
73. Karwowski W., Ahram T. (red.), *Advances in Human Factors in Robots, Drones and Unmanned Systems*, [b.m.w.] 2020.
74. Konert A., Balcerzak T., Kunert-Diallo A., *Unmanned Aircraft Systems (UAS) safety and security aspects in the regulatory framework*, „Scientific Journal of Safety and Logistics”, 2024, 1.
75. Konwencja o międzynarodowym lotnictwie cywilnym podpisana w Chicago dnia 7 grudnia 1944 r., Dz.U. z 1959 nr 35, poz. 212 ze zm.
76. Kopardekar P., Rios J., Robinson J. i in., *Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) Concepts of Operations*, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190000370/downloads/20190000370.pdf> (dostęp: 2.11.2024).
77. Kostur K., Balcerzak T., *Evolution of safety culture in civil aviation*, „Scientific Journal of Safety and Logistics”, 2023, 1.
78. Kostur K., Rajchel J., Balcerzak T., *Beyond predictability-black swan theory and its implications for aviation safety*, „Scientific Journal of Safety and Logistics”, 2023, 1.
79. Kostur K., Żmigrodzka M., Balcerzak T. i in., *Composites technology in aviation*, „Scientific Journal of Safety and Logistics”, 2024, 1.

80. Kostur K., Żmigrodzka M., Balcerzak T., *Unmanned aerial vehicles in fire protection [Bezzałogowe statki powietrzne w ochronie przeciwpożarowej]*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2020.
81. Kostur K., Żmigrodzka M., Balcerzak T., *Wpływ nowego koronawirusa (COVID-19) na światowe lotnictwo cywilne. The Impact of the New Coronavirus (COVID-19) on Global Civil Aviation*, „Revista Europea De Derecho De La Navegacion Maritima y Aeronautica”, 2019.
82. Kranz V., *UAVs in Civil Applications: A Guide to Current Market Trends and Future Opportunities*, „Journal of Unmanned Systems Technology”, 2023, 29(3).
83. Kraus H., *Pilotless Commercial Aircraft: Technical and Regulatory Challenges*, [b.m.w.] 2022.
84. Kulik T., Kaźmierczak H., *Charakterystyka wybranych bezzałogowych statków powietrznych przeznaczonych do rozpoznania powietrznego*, „Aviation and Security Issues”, 2022, 2.
85. Kuratorium Oświaty w Katowicach, *Sposoby uzyskiwania kwalifikacji zawodowych w Polsce*, www.kuratorium.katowice.pl (dostęp: 11.07.2022).
86. Marsh G.E., *Automation in Single Pilot Operations: Human Factors and Technological Solutions*, „International Journal of Aerospace Psychology”, 2022, 32(4).
87. Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, *Kultura bezpieczeństwa w organizacjach*, 2012, <https://www.mrr.gov.pl> (dostęp: 20.10.2024).
88. National Aeronautics and Space Administration (NASA), *UAS Integration in the National Airspace System Project*, 2021, <https://www.nasa.gov/aeroresearch/programs/aosp/uas> (dostęp: 20.10.2024).
89. Nowakowski T., *Systemy autonomiczne w lotnictwie: przegląd rozwiązań technologicznych i perspektywy rozwoju*, „Przegląd Lotniczy”, 2023, 11(2).
90. Nowakowski T., *Zintegrowany system sterowania bezzałogowymi statkami powietrznymi – projekty badawcze na MEiL*, <https://www.rp.pl/arttykul/1018286.html> (dostęp: 20.10.2024).
91. Orlady H.W., Orlady L.M., *Human Factors in Multi-Crew Flight Operations*, San Diego 1999.
92. Podraza M., *Aktualne regulacje prawa międzynarodowego i unijnego dotyczące eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych*, „Roczniki Administracji i Prawa”, 2023, 1(XXIII).
93. Polska Agencja Żeglugi Powietrznej (PAŻP), *Bezzałogowe statki powietrzne w przestrzeni powietrznej – regulacje i wyzwania*, <https://www.pansa.pl> (dostęp: 20.10.2024).
94. Popławski R., *Bezzałogowe systemy powietrzne w polskim prawie lotniczym*, „Prawo Lotnicze”, 2022, 4(1).

95. Pratt G., *Building Trust in Automated Aviation Systems*, „IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine”, 2021, 36(9).
96. Rachwał M., *Rola AI w przyszłości lotnictwa cywilnego: korzyści i wyzwania*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej”, 2022, 15(3).
97. Rajchel J., Jafernik H., Balcerzak T., *Psycho-physiological stress of operators as an indicator of efficiency of ergatic systems in aviation*, „Scientific Journal of Safety and Logistics”, 2023, 1(1).
98. Rajchel J., *System szkolenia podstawowego Sił Powietrznych RP. Projekt NEPTUNE*, Warszawa 2018.
99. Reichmann W., *Automatyzacja procesów decyzyjnych w lotnictwie cywilnym*, „Przełęcz Techniczny”, 2023, 89(2).
100. Ruiz J.M., *Unmanned Aircraft Systems: Legal Frameworks and Operational Guidelines*, „Journal of Air Law and Commerce”, 2022, 87(2).
101. Schmidt D., *Safety and Reliability of Autonomous Systems in Aviation*, „Journal of Aerospace Engineering”, 2021, 34(8).
102. Shaw T., *Automation and Human Factors in Single-Pilot Operations: Research and Future Directions*, „Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings”, 2021, 65(1).
103. Singh P., *Advanced Air Mobility: Regulatory Challenges and Opportunities*, „Aerospace Policy Journal”, 2023, 10(1).
104. Smith R., *Emerging Technologies in Aviation and Their Impact on Single-Pilot Operations*, „International Journal of Aviation Technology”, 2023, 29(4).
105. Stelios L., *Autonomous Airliners: The Road to Fully Automated Commercial Flights*, „Aerospace Science and Technology”, 2022, 98.
106. Sternberg H., *Single-Pilot Cockpit Operations: Reducing Workload and Enhancing Safety*, „Flight Safety Foundation Journal”, 2023, 78(5).
107. Taylor J., *UAV Traffic Management in Urban Air Mobility*, „Urban Aviation Journal”, 2023, 12(3).
108. Turk M., *Artificial Intelligence in Aviation: Integrating AI for Safer Skies*, „AI and Society”, 2022, 37(1).
109. Urbanowski P., *Zastosowanie algorytmów uczenia maszynowego w systemach zarządzania lotem*, „Inżynieria Systemów”, 2023, 20(4).
110. World Economic Forum, *Advancing Autonomous Aviation: Policy Framework and Recommendations*, <https://www.weforum.org> (dostęp: 20.10.2024).
111. Żmigrodzka M., Kostur K., Rajchel J., *Development of training methods in aviation*, „Scientific Journal of Safety and Logistics”, 2024, 1(2).
112. Żmigrodzka M., Kostur K., Uchoński P. i in., *Safely integrating crew aviation and unmanned aviation in the Polish sky*, „Scientific Journal of Safety and Logistics”, 2024, 1(2).

STRESZCZENIE

Bezpieczeństwo przewozu pasażerów oraz ładunków w jednoosobowych i bezpilotowych statkach powietrznych

Monografia porusza temat nowoczesnych form transportu lotniczego, które są coraz bardziej popularne z powodu ich efektywności i potencjalnie niższych kosztów. Omawia korzyści i wyzwania związane z przewozami cargo i pasażerskimi bez załogi oraz lotami z załogą jednoosobową, skupiając się na aspektach technologicznych, operacyjnych, bezpieczeństwa i społecznych.

Bezpieczeństwo przewozu pasażerów i ładunków w samolotach bezzałogowych i z załogą jednoosobową jest tematem wzbudzającym wiele dyskusji oraz analiz. Innowacje te mają na celu zwiększenie efektywności i obniżenie kosztów eksploatacji, jednocześnie utrzymują lub podnoszą poziom bezpieczeństwa.

Bezzałogowe przewozy cargo są postrzegane jako mniej ryzykowne, ponieważ eliminują zagrożenie dla życia ludzkiego w przypadku awarii. Przewozy bezzałogowe mogą obsługiwać trasy zbyt kosztowne lub nierentowne dla tradycyjnych linii lotniczych, zwiększając dostępność i częstotliwość rejsów. Jednakże niezawodność systemów i zdolność do samodzielnego reagowania na awarie są kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa i punktualności lotów.

Bezzałogowe przewozy pasażerskie mają potencjał zmniejszenia liczby błędów ludzkich, co może poprawić bezpieczeństwo podróży. Automatyzacja procesów pokładowych mogłaby przyczynić się do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa. Niemniej jednak, istotne wyzwania stanowią konieczność posiadania niezawodnych systemów redundancji i zdobycie zaufania społecznego. Kampanie informacyjne i edukacyjne mogą pomóc wyeliminować obawy związane z nową technologią.

Jednoosobowe składy załogi lotniczej, zwłaszcza w przewozach towarowych (cargo), mogą przynieść znaczące oszczędności. W przewozach pasażerskich stanowią one krok pośredni między tradycyjnymi załogami a lotami w pełni autonomicznymi. Jednakże, jednoosobowe załogi wymagają wysokiego poziomu wykształcenia i zaawansowanych systemów wspierających pilota w sytuacjach awaryjnych.

Aspekty bezpieczeństwa są kluczowe przy wprowadzaniu nowych technologii lotniczych. Systemy muszą być niezawodne oraz wyposażone w zaawansowane

mechanizmy monitorowania i kontroli umożliwiające reagowanie na nieprzewidziane zdarzenia w czasie rzeczywistym. Zarządzanie ruchem lotniczym musi zostać zreorganizowane tak, aby uwzględniło samoloty bezzałogowe.

Bezpieczeństwo cybernetyczne odgrywa ważną rolę, ponieważ złożoność systemów lotniczych czyni je podatnymi na ataki. Konieczne jest zastosowanie szyfrowania danych, mechanizmów uwierzytelniania i systemów detekcji ataków, aby zapewnić niezawodność i integralność systemów.

Regulacje i standardy muszą ewoluować, aby sprostać wyzwaniom związanym z bezpilotowymi oraz jednoosobowymi systemami lotniczymi. Opracowanie szczegółowych scenariuszy testowych i procesów certyfikacji jest niezbędne, podobnie jak współpraca pomiędzy władzami regulacyjnymi, producentami i operatorami.

Szkolenie załóg naziemnych, kontrolerów ruchu lotniczego, personelu pokładowego i pilotów ma bardzo duże znaczenie dla efektywnej współpracy z zaawansowanymi systemami automatycznymi. Inwestycje w intensywne programy szkoleniowe są niezbędne, aby zapewnić bezpieczeństwo i skuteczność operacji lotniczych.

Aspekty technologiczne, takie jak automatyzacja, sztuczna inteligencja, zarządzanie ruchem lotniczym i cyberbezpieczeństwo mają bardzo istotną rolę w rozwoju lotnictwa. Innowacje w tych obszarach są konieczne dla zapewnienia bezpiecznych i efektywnych operacji lotniczych.

Bardzo ważne dla sukcesu bezpilotowych przewozów są aspekty społeczne, w tym akceptacja publiczna. Budowanie zaufania poprzez edukację społeczeństwa i pokazywanie skuteczności systemów jest kluczowe dla wprowadzenia nowych technologii lotniczych.

ABSTRACT

Safety of Transportation of Passengers and Cargo in Unmanned and Single-Pilot Aircraft

The monograph addresses the topic of modern forms of air transport, which are becoming more and more popular due to their efficiency and potentially lower costs. Discusses the benefits and challenges of uncrewed cargo and passenger transport as well as single-pilot flights, focusing on technological, operational, safety and social aspects.

The safety of transporting passengers and cargo in unmanned and single-pilot aircraft is a topic that arouses many discussions and analyses. These innovations aim to increase efficiency and reduce operating costs, while maintaining or improving safety levels.

In the context of unmanned cargo transport, this form of transport is perceived as less risky because it eliminates the threat to human life in the event of a failure. Unmanned trucking can serve routes that are too costly or unprofitable for traditional airlines, increasing the availability and frequency of deliveries. However, the reliability of systems and the ability to independently respond to failures are crucial to ensure safe and on-time deliveries.

Unmanned passenger transportation has the potential to reduce human error, which could improve travel safety. Automation of on-board processes could contribute to a uniform level of safety. However, the need for strong redundancy systems and gaining public trust pose significant challenges. Information and education campaigns can help eliminate fears associated with new technology.

Single-person flight crews, especially in cargo operations, can bring significant savings. In passenger transport, they are an intermediate step between traditional crews and fully autonomous flights. However, single-person crews require a high level of training and advanced systems to support the pilot in emergency situations.

Safety aspects are crucial when introducing new aviation technologies. Systems must be reliable and equipped with advanced monitoring and control

mechanisms to respond to unforeseen events in real time. Air traffic management must be reorganized to accommodate unmanned aircraft.

Cybersecurity plays an important role because the complexity of aviation systems makes them vulnerable to attacks. It is necessary to use data encryption, authentication mechanisms and attack detection systems to ensure the reliability and integrity of systems.

Regulations and standards must evolve to meet the challenges associated with unmanned and single-person aircraft systems. The development of detailed test scenarios and certification processes is essential, as is cooperation between regulatory authorities, manufacturers and operators.

Training ground crews, air traffic controllers and pilots is crucial for effective cooperation with advanced automatic systems. Investment in intensive training programs is essential to ensure safe and effective flight operations.

Technological aspects such as automation, artificial intelligence, air traffic management and cybersecurity play a key role in the development of aviation. Innovation in these areas is essential to ensuring safe and efficient aviation operations.

Social aspects, including public acceptance, are important for the success of pilotless transportation. Building trust by educating the public and demonstrating the effectiveness of systems is key to introducing new aviation technologies.

SPIS TABEL

- Tabela 1. Wyzwania do zrealizowania przed przejściem na wyższy poziom mobilności powietrznej
- Tabela 2. Prognozy rozwoju pasażerskich eVTOL-i (2020–2030 i nast.)
- Tabela 3. Kategorie i uprawnienia do użytkowania dronów
- Tabela 4. Rodzaje czynników społecznych
- Tabela 5. Podstawowe dane operacyjne wybranych linii lotniczych
- Tabela 6. Podstawowe dane ekonomiczne wybranych linii lotniczych
- Tabela 7. Koszty płac pilotów w trzech systemach
- Tabela 8. Koszty płac pilotów w stosunku do całkowitych kosztów wynagrodzeń
- Tabela 9. Całkowite oszczędności dla wybranych linii lotniczych z tytułu zmiany systemu pilotażu
- Tabela 10. Szacunek stóp dyskonta
- Tabela 11. Bieżąca wartość rynkowa linii lotniczych
- Tabela 12. Szacunek NPV oszczędności dla wybranych linii lotniczych z tytułu zmiany systemu pilotażu w okresie 10 lat
- Tabela 13. Szacunek NPV oszczędności dla wybranych linii lotniczych z tytułu zmiany systemu pilotażu w okresie 10 lat względem bieżącej wartości rynkowej przedsiębiorstw
- Tabela 14. Dostępne konstrukcje dronów o udźwigu powyżej 5 kg
- Tabela 15. Funkcje zapewniające bezpieczeństwo latających statków powietrznych

SPIS RYSUNKÓW

- Rysunek 1. Procentowe zestawienie respondentów
- Rysunek 2. Przedział wiekowy respondentów
- Rysunek 3. Prognozy dla sektora eVTOL
- Rysunek 4. Zapotrzebowanie na energię podczas typowej trajektorii lotu eVTOL-a
- Rysunek 5. Porównanie wymagań dotyczących baterii dla eVTOL-i względem baterii dla EV
- Rysunek 6. Wydajność energetyczna wybranych eksperymentalnych eVTOL-i względem EV
- Rysunek 7. Porównanie IAS z pilotem
- Rysunek 8. Bezzałogowe rozwiązania techniczne i technologiczne
- Rysunek 9. Jednopilotowe rozwiązania techniczne i technologiczne
- Rysunek 10. Bezpilotowe, techniczne i technologiczne możliwości przewozów towarów
- Rysunek 11. Jednopilotowe możliwości techniczne i technologiczne przewozów cargo
- Rysunek 12. Wymagania dotyczące ekosystemu Advanced Air Mobility
- Rysunek 13. Sytuacje awaryjne mogące wpływać na bezpieczeństwo lotów bezpilotowych
- Rysunek 14. Wpływ bezpilotowej obsługi na stan bezpieczeństwa lotów
- Rysunek 15. Sytuacje kryzysowe wpływające na bezpieczeństwo lotów bezpilotowych
- Rysunek 16. Wpływ obecności tylko jednego pilota na bezpieczeństwo lotów
- Rysunek 17. Sytuacje awaryjne mogące mieć wpływ na bezpieczeństwo lotów z jednym pilotem
- Rysunek 18. Sytuacje kryzysowe wpływające na bezpieczeństwo lotu z jednym pilotem
- Rysunek 19. Sytuacje awaryjne wpływające na bezpieczeństwo przewozów towarowych z jednym pilotem
- Rysunek 20. Sytuacje kryzysowe wpływające na bezpieczeństwo przewozów towarowych z jednym pilotem
- Rysunek 21. Ramy czasowe wdrożenia bezpiecznych lotów bezzałogowych
- Rysunek 22. Ramy czasowe wdrożenia bezpiecznych lotów z jednym pilotem
- Rysunek 23. EASA, Rozporządzenie wykonawcze (EU) 2019/947
- Rysunek 24. Podstawowe zasady dotyczące sportowego i rekreacyjnego latania dronami
- Rysunek 25. Minimalne odległości lotów dronów

- Rysunek 26. Przepisy przejściowe, które umożliwiają wykonywanie lotów dronami w kategorii otwartej
- Rysunek 27. Możliwości wykonywania lotów BSP
- Rysunek 28. Etapy certyfikacji operatora lekkich systemów bezzałogowych statków powietrznych
- Rysunek 29. Przepisy w zakresie produkcji i dystrybucji dronów
- Rysunek 30. Przepisy prawa umożliwiające loty bezpilotowe i z jednym pilotem
- Rysunek 31. Odpowiedzialność prawna w koncepcji lotów bezpilotowych i z jednym pilotem
- Rysunek 32. Przykładowa podróż użytkownika
- Rysunek 33. Istotność czynników społecznych w aspekcie popularyzacji lotów bezzałogowych
- Rysunek 34. Zainteresowanie lotami bezpilotowymi
- Rysunek 35. Opinie grup społecznych sektora lotniczego na temat lotów bezpilotowych
- Rysunek 36. Wpływ lotów bezpilotowych na zatrudnienie
- Rysunek 37. Wpływ bezpilotowych lotów na organizację zarządzania lotami
- Rysunek 38. Wpływ lotów bezpilotowych na środowisko naturalne
- Rysunek 39. Wpływ udziału jednego pilota na zainteresowanie lotami
- Rysunek 40. Wpływ lotów z jednym pilotem na opinie grup społecznych
- Rysunek 41. Wpływ lotów z jednym pilotem na zatrudnienie personelu nadzoru lotów
- Rysunek 42. Wpływ lotu z jednym pilotem na organizację lotów
- Rysunek 43. Wpływ lotu z jednym pilotem na środowisko naturalne
- Rysunek 44. Wpływ lotów bezpilotowych na popyt
- Rysunek 45. Wpływ lotów bezpilotowych na opinie grup zawodowych
- Rysunek 46. Wpływ lotów towarowych bezpilotowych na zatrudnienie nadzoru lotów
- Rysunek 47. Wpływ lotów towarowych bezpilotowych na organizację lotów
- Rysunek 48. Wpływ towarowych lotów bezpilotowych na środowisko naturalne
- Rysunek 49. Wpływ towarowych lotów z jednym pilotem na popyt
- Rysunek 50. Wpływ lotów towarowych z jednym pilotem na opinie grup zawodowych
- Rysunek 51. Wpływ lotów towarowych na zatrudnienie nadzoru lotów
- Rysunek 52. Wpływ lotów towarowych z jednym pilotem na organizację lotów
- Rysunek 53. Wpływ towarowych lotów z jednym pilotem na środowisko naturalne
- Rysunek 54. Istotność czynników ekonomicznych popularyzacji komercyjnych lotów pasażerskich i przewozów towarów (cargo) bez obecności pilota
- Rysunek 55. Koszty paliwa w aspekcie koncepcji lotów bezzałogowych i z jednym pilotem na pokładzie
- Rysunek 56. Ceny biletów w aspekcie koncepcji bezzałogowych i z obecnością jednego pilota na pokładzie

- Rysunek 57. Koszty zatrudnienia w aspekcie koncepcji lotów bezzałogowych i z jednym pilotem na pokładzie
- Rysunek 58. Koszty obsługi naziemnej w aspekcie koncepcji lotów bezzałogowych i z jednym pilotem
- Rysunek 59. Liczba operacji lotniczych w koncepcji lotów bezzałogowych i z jednym pilotem
- Rysunek 60. Koszty ubezpieczeń w aspekcie koncepcji lotów bezzałogowych i z jednym pilotem
- Rysunek 61. Griff Aviation 300
- Rysunek 62. Ehang 184
- Rysunek 63. Draganfly Heavy Lift
- Rysunek 64. JOUAV CW-100
- Rysunek 65. JOUAV CW-40
- Rysunek 66. Freefly Systems Alta 8
- Rysunek 67. DJI Matrice 600
- Rysunek 68. Dron do podnoszenia ciężarów
- Rysunek 69. Amerykański Boeing
- Rysunek 70. Ehang 216
- Rysunek 71. Ehang 216 w czasie lotu
- Rysunek 72. Dron rolniczy John Deere i Volocopter
- Rysunek 73. Dron rolniczy John Deere i Volocopter – konstrukcja
- Rysunek 74. Dron rolniczy John Deere i Volocopter – opcje wyposażenia
- Rysunek 75. Podróż pojedynczego statku powietrznego

Tomasz Balcerzak, dr inż. pilot (EASA, FAA), UAV pilot, adiunkt Uczelni Łazarskiego; prezes Wademekum i Aerospace Technology; ekspert Europejskiej Agencji Wykonawczej ds. Badań Naukowych (REA); ekspert Europejskiej Agencji Globalnych Systemów Nawigacji Satelitarnej; w latach 2013–2016 – prezes Polskiego Klubu Lotniczego; w 2014 r. – prezes/dyrektor generalny linii lotniczych EuroLOT; w latach 2011–2014 przewodniczący Rady Nadzorczej WRO-LOT agenta obsługi naziemnej; w latach 2011–2013 r. wiceprezes ds. operacyjno-technicznych Polskich Linii Lotniczych LOT S.A.; w latach 2009–2011 – założyciel-prezes, a następnie członek Zarządu oraz dyrektor operacyjny czarterowej linii lotniczej Enter Air. Poprzednie stanowiska: dyrektor zarządzający w firmie Flight Dispatch Services, dyrektor ds. operacyjnych w linii lotniczej Centralwings, pilot dowódca załogi w 36. Specjalnym Pułku Lotnictwa Transportowego w Warszawie. Absolwent Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie ze stopniem podporucznika pilota inżyniera. Studia magisterskie i doktorat na Uniwersytecie Warszawskim, MBA w Szkole Głównej Handlowej. Wykładowca w Katedrze Technologii Lotniczych Politechniki Śląskiej, a także prawa lotniczego i kosmicznego oraz zarządzania biznesem w Instytucie Stosunków Międzynarodowych Uniwersytetu Warszawskiego i Uczelni Łazarskiego. Bogate doświadczenie w sektorze lotniczym i kosmicznym oraz w zarządzaniu projektami. Założyciel i współzałożyciel kilku firm w branży lotniczej. Autor i współautor ponad 50 publikacji w zakresie transportu, logistyki, lotnictwa oraz kosmonautyki.



Tomasz Balcerzak, PhD, Eng. Pilot (EASA, FAA), UAV Pilot – Assistant Professor at Lazarski University, CEO of Wademekum and Aerospace Technology, Expert European Commission Research Executive Agency (REA), Expert of European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2013–2016 – President of Polish Aviation Club, 2014 – CEO/General Director of EuroLOT Airlines, 2011–2014 – Chairman of Supervisory Board of WRO LOT handling agent company, 2011–2013 – COO/Board Member for Operations and Maintenance at LOT Polish Airlines, 2009–2011 – CEO/COO Enter Air – charter airline. Previous positions: Managing Director at FDS – Flight Dispatch Services company, Director of Operations at Centralwings airline, Pilot-Crew Commander of the 36th Special Air Transport Regiment for VIP in Warsaw. Graduated from the Air Force Academy, received Pilot, Lieutenant Engineer degree, master's studies and PhD at Warsaw University, MBA at Warsaw School of Economics. Lecturer at Silesian University of Technology Aviation Faculty also Aviation and Space Law and Business Management at Institute of International Relations at Warsaw University and Lazarski University. Extensive experience in the aerospace industry and in managing projects of the operating companies. Founder and cofounder of several companies in aviation industry. Author and coauthor over 50 publications. Specializes in transportation, logistics and aerospace.



ISBN 978-83-66723-77-1



9 788366 723771

DOI 10.26399/978-83-66723-77-1