

Przyszłość Technologii Lotniskowych

PROGNOZY I STUDIA PRZYPADKÓW



Polskie Porty Lotnicze





Polskie Porty Lotnicze

Opracowanie pt. „Przyszłość technologii lotniskowych – prognozy i studia przypadków”

zostało przygotowane dla Polskich Portów Lotniczych S.A. przez firmę:



Zespół Doradców Gospodarczych TOR Sp. z o.o.
ul. Sielecka 35
00-738 Warszawa
www.zdgtor.pl
na podstawie umowy nr PL/25/000651/TLLZ/Z z dnia 18 lutego 2025 r.

Zespół autorski:

Maciej Mysona (kierownik projektu)
Michał Grobelny (koordynator projektu)
Jakub Balik
Aleksandra Bałyk
Anna Stachowicz
Tomasz Śniedziewski
i inni

Opracowanie graficzne i skład:

Karolina Najder-Lubarska



Spis treści

1.	Wstęp	s. 19	5.	Technologie i rozwiązania przyszłości	s. 61
2.	Streszczenie zarządcze	s. 21	5.1	Ekologia, dekarbonizacja oraz odporność na zmiany klimatu	s. 61
3.	Światowe megatrendy wpływające na przyszłość sektora	s. 26	5.2	High-tech i innowacje technologiczne w służbie branży lotniskowej – cyfrowa transformacja i Airport 4.0	s. 76
4.	Programy rozwojowe i pilotażowe	s. 34	5.3	Transport i mobilność – miejsce portów lotniczych w łańcuchach multimodalnych	s. 124
4.1	Partnerstwa na rzecz nowych technologii i rozwoju branży lotniczej	s. 34	5.4	Innowacyjność w zakresie zarządzania zasobami ludzkimi oraz pozyskiwania i rozwoju pracowników	s. 164
4.2	Dofinansowania i dotacje na rzecz wdrożeń nowoczesnych technologii i projektów rozwojowych	s.38	5.5	Passenger Experience – podróż płynna, bezpieczna i spersonalizowana	s. 182
4.3	Nowoczesne technologie, innowacje i projekty rozwojowe – przykłady wdrożeń i realizowanych projektów	s. 54	6.	Podsumowanie – jakie będą porty lotnicze przyszłości?	s. 203
			7.	Spis rysunków, tabel i wykresów	s. 205
			8.	Bibliografia	s. 207

Polski rynek lotniczy

ścieżka dynamicznego wzrostu

Wzrost ruchu pasażerskiego
2024 vs 2019

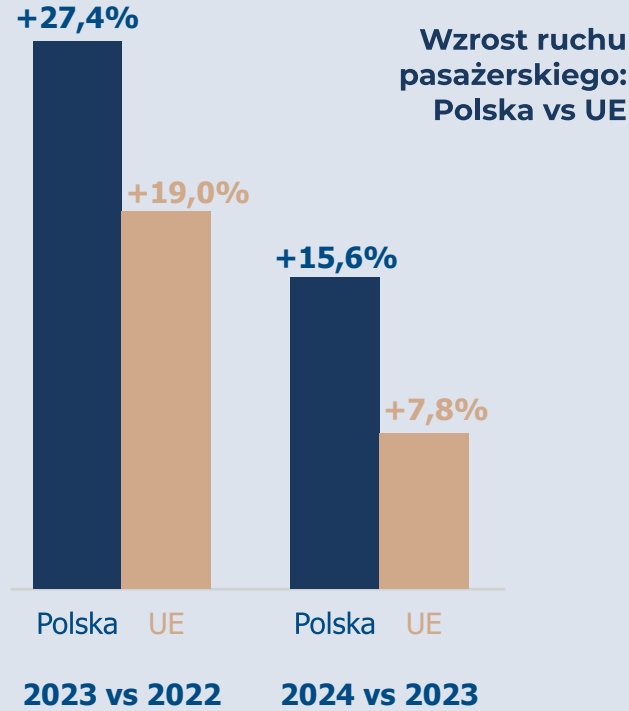


Rekordowe 59,2 mln pasażerów w 2024 – polskie lotniska biją wyniki sprzed pandemii.

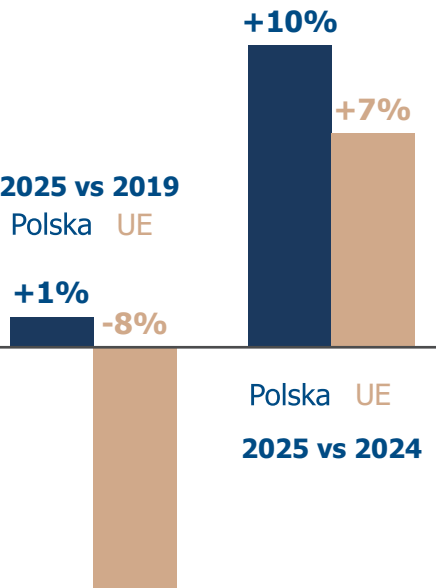
To nie tylko powrót do normalności. To nowy etap – etap dynamicznego rozwoju, silnego popytu i rosnącego znaczenia Polski jako punktu na mapie europejskich podróży lotniczych.

Dynamiczny wzrost ruchu lotniczego – Polska wyprzedza średnią europejską.

W 2024 roku wykonano w Polsce 426,9 tys. operacji lotniczych – o 6,6% więcej niż w 2019 roku, co świadczy o rosnącej intensywności ruchu w przestrzeni powietrznej.



Zmiana łączności lotniczej:
Polska vs UE



Grupa PPL S.A.

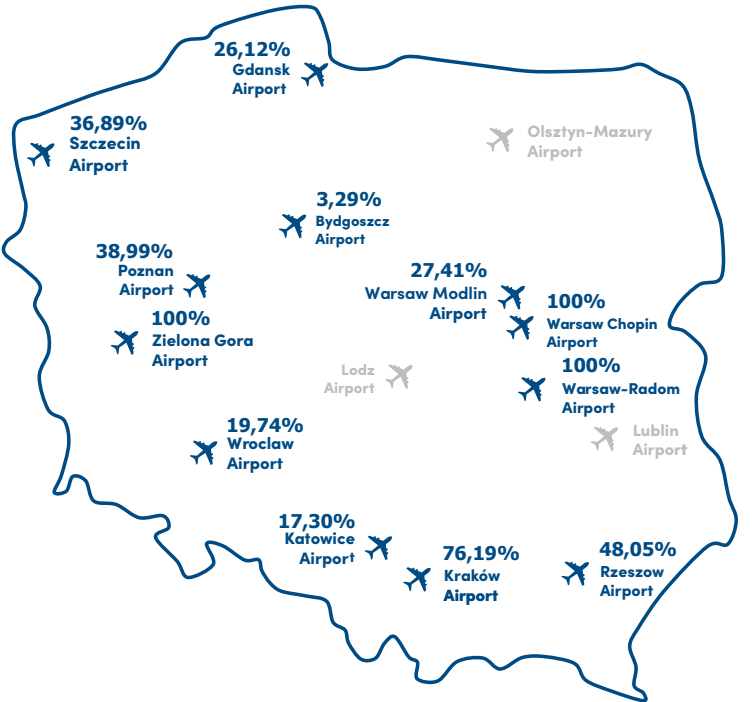
największy operator
lotnisk w Polsce

Grupa Kapitałowa PPL S.A. to filar krajowego systemu transportu lotniczego. W jej skład wchodzi trzy lotniska zarządzane bezpośrednio przez PPL S.A.: Lotnisko Chopina w Warszawie, Lotnisko Warszawa-Radom im. Bohaterów Radomskiego Czerwca 1976 oraz Lotnisko Zielona Góra-Babimost.

PPL S.A. posiada także udziały w 16 spółkach związanych z obsługą rynku lotniczego – w tym 76% udziałów w Kraków Airport im. Jana Pawła II, największym porcie regionalnym w Polsce, oraz 46% udziałów w Porcie Lotniczym Rzeszów-Jasionka im. Rodziny Ulmów, najszybciej rozwijającym się lotnisku w kraju.

W strukturze grupy znajdują się również spółki świadczące specjalistyczne usługi lotniskowe, m.in. Welcome Airport Services oraz Baltona. To właśnie ta synergia kompetencji pozwala PPL S.A. aktywnie kształtować przyszłość lotnictwa w Polsce.

Udziały PPL S.A. w spółkach prawa handlowego, zarządzające regionalnymi portami lotniczymi



Spółki usługowe, w których PPL S.A. ma 100% udziałów:



Udziały PPL S.A. w pozostałych spółkach:

Casinos Poland Sp. z o.o. – 33,33%
Lotniczy Dworzec Towarowy Wrocław Sp. z o.o. – 59,3%



Maciej Lasek

Sekretarz Stanu w Ministerstwie Infrastruktury,
Pełnomocnik Rządu do spraw Centralnego Portu
Komunikacyjnego

Szanowni Państwo,

Sektor lotniczy wkracza dziś w zupełnie nową erę. Widzimy wokół siebie jak technologia zmienia nas i świat wokół nas, ale teraz tempo tych zmian w lotnictwie naprawdę przyspiesza. Polska jest dziś liderem tempa rozwoju lotniczego w Europie. Pojawia się przed nami ogromna szansa, by nie tylko nadążać za trendami, ale je wyznaczać.

Raport „Przyszłość technologii lotniskowych – prognozy i studia przypadków”, jest próbą uchwycenia tego, co najważniejsze w nadchodzących przemianach. Zawarte w nim przykłady innowacyjnych rozwiązań pokazują, w jaki sposób nowoczesne technologie mogą wspierać rozwój infrastruktury lotniskowej, wzmacniać odporność systemu transportowego, a także przyczyniać się do realizacji celów środowiskowych i społecznych.

Nie zabrakło tematów, które dziś, szczególnie w naszym kraju, pełnią kluczową rolę w rozwoju lotnictwa. Dekarbonizacja, nowe modele integracji transportu, podnoszenie kwalifikacji naszych pracowników, czy wreszcie – tworzenie lotnisk, w których podróż staje się niezwykle pozytywnym doświadczeniem. To właśnie te obszary zdecydują, jak dużą rolę polskie lotnictwo będzie pełnić na mapie Europy.

Jestem przekonany, że ten raport stanie się inspiracją do dalszych działań, które umocnią sukcesy jakie odnosi polska branża lotniskowa. Razem możemy budować lotnictwo, które naprawdę odpowiada na wyzwania przyszłości – z korzyścią dla Polski.

Maciej Lasek

Sekretarz Stanu w Ministerstwie Infrastruktury,
Pełnomocnik Rządu do spraw Centralnego Portu Komunikacyjnego



Łukasz Chaberski

Prezes Zarządu Polskich Portów Lotniczych S.A.

Szanowni Państwo,

Lotniska są dziś czymś znacznie więcej niż tylko bramą do świata – stały się silnikiem rozwoju dla całych regionów, generatorem miejsc pracy, magnesem dla inwestycji i innowacji. Niezależnie od tego, czy mówimy o globalnych hubach, czy o mniejszych portach – wszędzie trwa cicha rewolucja organizacyjna i społeczna.

Obserwujemy, jak rynek lotniczy coraz mocniej się konsoliduje. Grupy lotniskowe współpracują, łączą zasoby, tworzą wspólne strategie zakupowe i technologiczne, by skuteczniej konkurować na arenie międzynarodowej. Zmiany te wymuszają nowe podejście do inwestycji i zarządzania: liczy się szybkość wdrażania nowoczesnych systemów, optymalizacja procesów, rozwijanie infrastruktury z myślą o rosnącym ruchu i zmieniających się wymaganiach przewoźników.

Raport, który oddajemy Państwu, jest próbą uchwycenia tej szerszej perspektywy. Zależało nam, by spojrzeć na lotniska nie tylko przez pryzmat technologii, ale jako miejsca rozwoju, w których codziennie rodzą się nowe pomysły. Jestem przekonany, że lotniska mają do odegrania wyjątkową rolę jako centra innowacji i odpowiedzialności za środowisko. Zapraszam do lektury raportu i – co ważniejsze – do wspólnej rozmowy o tym, jak mądrze i skutecznie wykorzystywać te możliwości, z myślą o przyszłych pokoleniach.

Z wyrazami uznania dla wszystkich, którzy włożyli swoją energię i wiedzę w powstanie tej publikacji,

Łukasz Chaberski

Prezes Zarządu Polskich Portów Lotniczych S.A.



Adam Sanocki

Członek Zarządu ds. Strategii i Marketingu
Polskich Portów Lotniczych S.A.

Szanowni Państwo,

Kiedy myślimy o przyszłości lotnictwa, najważniejsze wyzwania często kryją się w szczegółach – w codziennych decyzjach, konsekwencji i gotowości do nieustannej zmiany. Branża lotniskowa to miejsce, gdzie liczy się nie tylko wielka wizja, ale także precyzja, szybka adaptacja i sprawność operacyjna.

Lotniska, będące niegdyś wyłącznie węzłami transportowymi, dziś stają się centrami innowacji, zrównoważonego rozwoju i zaawansowanych rozwiązań cyfrowych. Przedstawione w raporcie studia przypadków oraz analizowane kierunki rozwoju jasno pokazują, że przyszłość branży lotniskowej leży w inteligentnych technologiach, partnerstwach międzysektorowych i inwestycjach w cyfryzację.

Nie boimy się testować nowych rozwiązań, wyciągać wniosków z błędów, uczyć się od najlepszych. Innowacyjność to nie efekt pojedynczych „przebłysków”, ale długofalowa praca zespołów ludzi. Chcemy, by ten raport był praktycznym narzędziem – inspiracją do usprawniania procesów, myślenia „krok do przodu”, szukania przewagi tam, gdzie inni jej nie widzą.

Dziękuję za zaufanie i zapraszam do lektury – licząc, że wspólnie przekujemy pomysły w konkretne rezultaty

Adam Sanocki

Członek Zarządu ds. Strategii i Marketingu Polskich Portów Lotniczych S.A.



Monika Krajewska

Dyrektor Biura Strategii i Rozwoju,
Polskie Porty Lotnicze S.A.

Szanowni Państwo,

W dzisiejszych realiach lotniska stają się nie tylko symbolem nowoczesności, lecz także areną codziennych, trudnych wyborów strategicznych. Przyszłość technologii lotniskowych, jak pokazuje niniejszy raport, nie jest już odległą wizją – to proces, który realizujemy tu i teraz, na każdym etapie planowania i wdrażania nowych rozwiązań.

Naszym zadaniem, jako zespołu biura strategii i rozwoju, jest przekładanie długofalowych wizji na praktyczne działania. To właśnie tu spotykają się analityczne spojrzenie na globalne trendy z twardą codziennością zarządzania inwestycjami, projektami infrastrukturalnymi oraz nieustanną optymalizacją procesów. Kluczowe znaczenie ma dla nas współpraca między różnymi specjalizacjami – łączenie kompetencji technologicznych, organizacyjnych i środowiskowych, które pozwalają skutecznie realizować ambitne cele i budować przewagę konkurencyjną naszych lotnisk.

Raport, który oddajemy w Państwa ręce, jest efektem pracy interdyscyplinarnego zespołu – osób, które każdego dnia konfrontują się z wyzwaniami wdrożenia innowacji w złożonym, regulowanym i dynamicznym środowisku. To nie tylko katalog technologii, lecz praktyczny przewodnik, jak zarządzać zmianą, minimalizować ryzyka i szukać synergii pomiędzy różnymi obszarami funkcjonowania portów lotniczych.

Życzę inspirującej lektury wszystkim, którzy podobnie jak my wierzą, że skuteczna strategia to nie tylko plany, ale przede wszystkim umiejętność konsekwentnego ich wdrażania.

Z wyrazami szacunku,

Monika Krajewska

Dyrektor Biura Strategii i Rozwoju, Polskie Porty Lotnicze S.A.



Wykaz pojęć i skrótów

Wykaz pojęć i skrótów

AAM	zaawansowana mobilność powietrzna (ang. Advanced Air Mobility)
ACU	lotniskowy klimatyzator samolotowy (ang. Air Conditioning Unit)
ACI	międzynarodowe stowarzyszenie operatorów portów lotniczych (ang. Airports Council International)
ACRP	amerykański program badawczy na rzecz rozwoju portów lotniczych (ang. Airport Cooperative Research Program)
ADF	singapurski program rozwoju portów lotniczych (ang. Aviation Development Fund)
AELP	Program Rozwoju Kadry Kierowniczej Portów Lotniczych (ang. Airport Executive Leadership Program)
AFIF	Fundusz Infrastruktury Paliw Alternatywnych (ang. Alternative Fuels Infrastructure Facility)
AGV	automatyczne pojazdy prowadzone (ang. Automated Guided Vehicles)
AI	sztuczna inteligencja (ang. Artificial Intelligence)
AIP	amerykański program finansowania rozwoju portów lotniczych (ang. Airport Improvement Program)
ALARM	projekt mający na celu opracowanie prototypu globalnego systemu monitorowania i wczesnego ostrzegania przed zagrożeniami (ang. multi-hAzard monitoring and earLy wARning system)
ALBATROS	projekt mający na celu zwiększenie odporności na problemy bezpieczeństwa zarówno na ziemi, jak i w locie (ang. Advanced systems and soLutions for Better practices AgainstT hazaRds in the aviatiOn System)
ALIGHT	projekt mający na cele wdrożenie działań na rzecz zeroemisyjności w porcie lotniczym Kopenhaga (ang. Copenhagen Airport: a Lighthouse for the introduction of sustainable aviation solutions for the future)
ALRIGH2T	projekt na rzecz rozwoju technologii w zakresie tankowania samolotów ciekłym wodorem (ang. Airport-Level DemonstRation of Ground refuelling of Liquid Hydrogen for AviaTion)
ALRT	zautomatyzowana lekka kolej szynowa (ang. Automated Light Rail Transit)
AMPAP	Program Akredytacji Zawodowej w Zakresie Zarządzania Portami Lotniczymi (ang. Airport Management Professional Accreditation Program)
AMR	autonomiczne roboty mobilne (ang. Autonomous Mobile Robots)
ANPR	automatyczny system rozpoznawania numerów rejestracyjnych (ang. Automatic Number Plate Recognition)
APM	zautomatyzowany system przewozu pasażerów (ang. Automated People Movers)
APU	pomocnicza jednostka zasilająca (ang. Auxiliary Power Unit)
AR	rzeczywistość rozszerzona (ang. Augmented Reality)
ASAS	lotniskowa strategia dostępu transportowego (ang. Airport Surface Access Strategy)
ASP	Program Certyfikacji Specjalistów ds. Bezpieczeństwa Lotniskowego (ang. Airport Safety Professional Designation Program)
ASTAIR	projekt mający na celu wspieranie rozwoju procesu zautomatyzowanego zarządzania ruchem naziemnym w portach lotniczych (ang. Auto-Steer Taxi at AIRport)

ASU	airstarter samolotowy (ang. Air Start Unit)
ATN	zautomatyzowana sieć transportowa (ang. Automated Transit Network)
ATM	system zarządzania ruchem powietrznym (ang. Air Traffic Management)
ATM	amerykański program modernizacji infrastruktury terminalowej (ang. Airport Terminal Program)
AWB	lotniczy list przewozowy (ang. Air Waybill)
BSR HyAirport	projekt mający na celu opracowanie niezbędnej infrastruktury do integracji technologii wodorowej z lotnictwem (ang. BSR Hydrogen Air Transport – Preparation of Baltic Sea Region Airports for Green Hydrogen)
BVLS	dron operujący poza zasięgiem wzroku operatora (ang. Beyond Visual Line of Sight)
CAAC	Chiński Urząd Lotnictwa Cywilnego (ang. Civil Aviation Administration of China)
CAAS	Singapurski Urząd Lotnictwa Cywilnego (ang. Civil Aviation Authority of Singapore)
CAEP	Komitet ds. Ochrony Środowiska Lotniczego (ang. Committee on Aviation Environmental Protection)
CAGR	skumulowany roczny wskaźnik wzrostu (ang. Compound Annual Growth Rate)
CAV	pojazdy połączone i autonomiczne (ang. Connected and Autonomous Vehicles)
CBTC	system sterowania ruchem kolejowym oparty na komunikacji (ang. Communications-Based Train Control)
CCAV	Brytyjski Program Rozwoju Pojazdów Połączonych i Autonomicznych (ang. Connected & Autonomous Vehicles)
CCS	wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla (ang. Carbon Capture and Storage)
CCTV	system telewizji przemysłowej (ang. Closed-Circuit Television)
CEF	Instrument „Łącząc Europę” (ang. Connecting Europe Facility)
CV	wizyjne systemy komputerowe (ang. Computer Vision)
DEI	różnorodność, równość i inkluzywność (ang. Diversity, Equity, Inclusion)
DEP	rozproszony napęd elektryczny (ang. Distributed Electric Propulsion)
DLR	Niemieckie Centrum Lotnictwa i Przestrzeni Kosmicznej (niem. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)
EASA	Agencja Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (ang. European Union Aviation Safety Agency)
eCTOL	elektryczny samolot konwencjonalnego startu i lądowania (ang. electric Conventional Take-Off and Landing)
eGSE	sprzęt naziemnej obsługi lotniskowej o napędzie elektrycznym (ang. electric Ground Service Equipment)
e-GPU	naziemna elektryczna jednostka zasilająca (ang. electric Ground Power Unit)
eMAGO	Program Elektryfikacji Obsługi Naziemnej Portów Lotniczych Mediolanu (ang. Electrification of Milan Airports' Ground Operations)
ERP	system zarządzania zasobami przedsiębiorstwa (ang. Enterprise Resource Planning)
e-SAF	zrównoważone paliwo lotnicze wytwarzane z odnawialnych źródeł energii (ang. electro-Sustainable Aviation Fuel)
ESG	kryteria pozwalające ocenić, jak firma wpływa na środowisko, społeczeństwo i ład korporacyjny (ang. Environmental, Social and Governance)

eSTOL	elektryczny samolot krótkiego startu i lądowania (ang. electric Short Take-Off and Landing)
EUROCONTROL	Europejska Organizacja ds. Bezpieczeństwa Żeglugi Powietrznej (ang. European Organisation for the Safety of Air Navigation)
ERTMS	Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym (ang. European Rail Traffic Management System)
EX	wszystkie aspekty pracy wpływające na satysfakcję i zaangażowanie pracowników (ang. Employee Experience)
eVTOL	statek powietrzny pionowego startu i lądowania o napędzie elektrycznym (ang. electric Vertical Take-Off and Landing)
FAA	amerykańska Federalna Administracja Lotnictwa (ang. Federal Aviation Administration)
FASTNet	projekt na rzecz cyfryzacji zarządzania ruchem lotniczym (ang. Future dAta Services and applicaTions for airports and Network)
F&B	lotniskowe punkty gastronomiczne (ang. Food and Beverage)
FEnIKS	Program Fundusze Europejskie na Infrastrukturę, Klimat, Środowisko 2021–2027
FGP	stała jednostka stacjonarnego zasilania naziemnego (ang. Fixed Ground Power)
FOD	ciała obce znajdujące się na lotniskowym pasie startowym, drodze kołowania lub w jego otoczeniu, mogące stanowić zagrożenie dla operacji lotniczych (ang. Foreign Object Debris)
FRA	określona przestrzeń powietrzna, w której użytkownicy mogą dowolnie planować trasy przelotów pomiędzy punktem wlotowym a wylotowym (ang. Free Route Airspace)
GH2	zielony wodór (ang. Gaseous Green Hydrogen)
GHG	gazy cieplarniane (ang. Greenhouse Gases)
GOLIAT	projekt na rzecz rozwoju technologii i infrastruktury tankowania ciekłym wodorem (ang. Ground Operations of Lliquid hydrogen Aircraft)
GPS	Globalny System Pozycjonowania (ang. Global Positioning System)
GPU	naziemna jednostka zasilająca (ang. Ground Power Unit)
GSE	sprzęt naziemnej obsługi lotniskowej (ang. Ground Service Equipment)
HARMONIC	projekt mający na celu stworzenie inteligentnej sieci na rzecz optymalizacji ruchu w przestrzeni powietrznej i na lotniskach (ang. HARMONIsed network through smart technology and Collaboration)
h-GPU	Naziemna wodorowa jednostka zasilająca (ang. hydrogen Ground Power Unit)
HR	zasoby ludzkie (ang. Human Resources)
HRD	rozwój zasobów ludzkich (ang. Human Resources Development)
HRM	zarządzanie zasobami ludzkimi (ang. Human Resources Management)
HVAC	urządzenia do ogrzewania, klimatyzowania i wentylowania pomieszczeń (ang. Heating, Ventilation, Air Conditioning)
IATA	Międzynarodowe Zrzeszenie Przewoźników Powietrznych (ang. International Air Transport Association)
ICAO	Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego (ang. International Civil Aviation Organization)
ICT	Technologie Informacyjne i Komunikacyjne (ang. Information and Communication Technology)

INVIRCAT	projekt na rzecz zdalnie sterowanych statków powietrznych (ang. IFR RPAS Control in Airports and TMA)
IoT	Internet Rzeczy (ang. Internet of Things)
ITM	strategicznego planu rozwoju transportu lotniczego w Singapurze (ang. Air Transport Industry Transformation Map)
ITS	inteligentne systemy transportowe (ang. Intelligent Transportation System)
KAIROS	projekt dot. wykorzystania AI do tworzenia precyzyjnych prognoz pogody, by skuteczniej zarządzać ruchem lotniczym (ang. unlockIng the potential of AI-based weatheR forecasts for Operational benefitS)
KDP	kolej dużych prędkości
LED	diody emitujące światło (ang. Light Emitting Diode)
LH2	ciekły wodór (ang. Liquid Hydrogen)
LiDAR	technologia mapowania i określania odległości za pomocą wiązki laserowej (ang. Light Detection and Ranging)
MaaS	koncepcja mobilność jako usługa (ang. Mobility as a Service)
MAIA	projekt na rzecz multimodalnych rozwiązań w oparciu o analizę danych i modelowanie (ang. Multimodal Access for Intelligent Airports)
MICE	branża zajmująca się organizowaniem wydarzeń, konferencji i wystaw (ang. Meetings, Incentives, Conferences and Exhibitions)
ML	uczenie maszynowe (ang. Machine Learning)
MR	rzeczywistość mieszana (ang. Mixed Reality)
MRO	działania mające na celu utrzymanie maszyn i narzędzi w dobrym stanie technicznym (ang. Maintenance, Repair, Overhaul)
MTH	multimodalny hub transportowy (ang. Multimodal Transport Hub)
NEOM	projekt rozwoju futurystycznego miasta w Arabii Saudyjskiej (ang. New Ecological and Operational Model)
NREL	Narodowe Laboratorium Energii Odnawialnej (ang. National Renewable Energy Laboratory)
OLGA	holistyczny program Zielone Lotnisko (ang. hOListic Green Airport)
OZE	odnawialne źródła energii
PASSME	projekt mający na celu skrócenie czasu podróży (ang. Personalised Airport Systems for Seamless Mobility and Experience)
PAŻP	Polska Agencja Żeglugi Powietrznej
PCA	systemy klimatyzacji używane do schładzania powietrza w samolotach na lotniskach (ang. Preconditioned Air)
PEACOCK	projekt dot. doskonalenia procesu zarządzania ruchem lotniczym (ang. Predictable and Environmentally friendly operations of regional Airports with COnnectivity and Climate as Keyword)
PIONEER	projekt na rzecz zeroemisyjności w porcie lotniczym w Rzymie (ang. airPort sustaln-ability secONd lifE battEry storage)
PRT	środki transportu osobistego (ang. Personal Rapid Transit)
PX	doświadczenie pasażera (ang. Passenger Experience)
R&D	badania i rozwój (ang. Research and Development)

RFID	technologia identyfikacji za pomocą fali radiowej (ang. Radio Frequency Identifica-tion)
RL	uczenie się przez wzmacnianie (ang. Reinforcement Learning)
RPA	automatyzacja procesów za pomocą robotów (ang. Robotic Process Automation)
RPAS	system bezzałogowego statku powietrznego, który jest zdalnie sterowany przez pilota i obejmuje sam statek powietrzny, stację kontroli naziemnej oraz łączy komunikacy-jne (ang. Remotely Piloted Aircraft System)
RPK	przychody na pasażerokilometr (ang. Revenue Passenger Kilometers)
RTTVP	platformy do monitorowania transportu w czasie rzeczywistym (ang. Real-Time Trans- portation Visibility Platforms)
SAF	zrównoważone paliwo lotnicze (ang. Sustainable Aviation Fuel)
SDG	cele zrównoważonego rozwoju (ang. Sustainable Development Goals)
SESAR	Partnerstwo na rzecz cyfrowej europejskiej przestrzeni powietrznej (ang. Single Euro- pean Sky ATM Research)
SMART	program grantowy na rzecz wdrażania zaawansowanych technologii w celu poprawy efektywności i bezpieczeństwa transportu (ang. Strengthening Mobility and Revolu- tionizing Transportation)
SPO	systemy lotnicze umożliwiające obsługę samolotu przez pojedynczego pilota (ang. Single Pilot Operation)
STARGATE	projekt mający na celu wdrożenie innowacyjnych rozwiązań na rzecz zrównoważone- go transportu (ang. SusTainable AiRports, the Green heArT of Europe)
STEM	obszary edukacyjne i zawodowe obejmujące naukę, technologię, inżynierię i matem- atykę (ang. Science, Technology, Engineering, Mathematics)
Travel Wise	projekt na rzecz skoordynowanego transport intermodalnego (ang. TRansformation of AViation and rAirway soLutions toWards Integration and SynergiEs)
TULIPS	wspólny projekt portów lotniczych, linii lotniczych i partnerów branżowych, dot. wdrażania rozwiązań ograniczających emisję i wspierających zrównoważony rozwój portów lotniczych w Europie (ang. DemonsTrating lower pollUting soLutions for sus- tainable airPorts acrosS Europe)
UAM	miejska mobilność powietrzna (ang. Urban Air Mobility)
UAV	bezzałogowy statek powietrzny, dron (ang. Unmanned Aerial Vehicle)
UDAN	program rozwoju portów lotniczych w Indiach (hin. Ude Desh Ka Aam Naagrik)
ULD	lotnicza jednostka ładunkowa (ang. Unit Load Device)
U-SPACE	Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2021/664 określające ramy dla zintegrowa- nego i bezpiecznego zarządzania ruchem dronów w przestrzeni powietrznej
UTM	systemy zarządzania ruchem bezzałogowych statków powietrznych (ang. Unmanned Traffic Management)
VR	rzeczywistość wirtualna (ang. Virtual Reality)
XR	rzeczywistość rozszerzona (ang. Extended Reality)
ZEV	pojazdy zeroemisyjne (ang. Zero-Emission Vehicles)



1. Wstęp

Niniejszy raport jest próbą kompleksowego spojrzenia na przyszłość technologii lotniskowych oraz zrozumienia konsekwencji płynących z wdrażania innowacyjnych rozwiązań w portach lotniczych na całym świecie. Głównym celem opracowania jest przedstawienie aktualnych trendów, innowacji i kierunków rozwoju w obszarze technologii lotniskowych, a także ukazanie konkretnych przypadków wdrożeń (tzw. case studies), które stanowią źródło wiedzy, inspiracji i potencjalnych modeli adaptacyjnych dla innych portów lotniczych.

W jednym ze wstępnych rozdziałów opracowanie wskazuje na obecne megatrendy w światowej sytuacji gospodarczej, demograficznej i społecznej, mające wpływ na sytuację całej branży lotniczej oraz prognozy dalszego jej rozwoju. Uwarunkowania te będą oddziaływały na intensywność i kierunek rozwoju technologii lotniskowych w najbliższych latach i dekadach.

Kolejny rozdział przedstawia mechanizmy wspierające rozwój sektora lotniczego w kontekście transformacji technologicznej, środowiskowej i infrastrukturalnej. Opisano w nim kluczowe partnerstwa międzynarodowe oraz dostępne źródła finansowania, które umożliwiają wdrażanie innowacyjnych rozwiązań i modernizację infrastruktury lotniskowej. Rozdział zawiera również przegląd projektów realizowanych na świecie, ukierunkowanych na poprawę efektywności operacyjnej, zgodność z celami klimatycznymi oraz jakość obsługi pasażera.

Główna część opracowania to opis technologii i rozwiązań przyszłości w branży lotniskowej. Wskazano zarówno rozwiązania technologiczne stosowane w codziennych operacjach portów lotniczych, jak i te znajdujące się w fazie pilotażowej bądź planistycznej, które już teraz zapowiadają nadchodzące zmiany w sposobie funkcjonowania globalnej infrastruktury lotniczej. Treści pogrupowano w bloki tematyczne, dotyczące ekologii i dekarbonizacji, rozwiązań high-tech, technologii w zakresie mobilności, innowacji dotyczących zarządzania zasobami ludzkimi oraz Passenger Experience. Usystematyzowanie takie było konieczne dla przejrzystości opracowania, choć autorzy mają świadomość, iż poszczególne zakresy nawzajem się przenikają i są ze sobą skorelowane (np. technologie AI są coraz szerzej stosowane w niemal każdej sferze ludzkiej aktywności).

Raport powstał na podstawie pogłębionej analizy obejmującej badania, publikacje branżowe, opracowania instytucji i organizacji międzynarodowych. Jego autorzy mają nadzieję, że stanowić będzie on wartościowe źródło aktualnej wiedzy dla decydentów, planistów, operatorów portów lotniczych, a także wszystkich interesariuszy zainteresowanych rozwojem inteligentnej, bezpiecznej i zrównoważonej infrastruktury lotniczej przyszłości.

Wstęp



Streszczenie zarządcze

2. Streszczenie zarządcze

Sektor lotniczy od wielu dekad stanowi jeden z obszarów kluczowych dla rozwoju gospodarczego, mobilności i integracji międzynarodowej. Wraz z postępującą globalizacją oraz rosnącym zapotrzebowaniem na szybki, bezpieczny i wygodny transport, porty lotnicze stają dziś przed wyzwaniem redefinicji swojej roli – nie tylko jako infrastruktury transportowej, ale jako złożonych ekosystemów cyfrowych i środowiskowych.

W dobie dynamicznego rozwoju nowych technologii, takich jak sztuczna inteligencja (AI), Internet Rzeczy (IoT), automatyzacja czy zrównoważone rozwiązania energetyczne, porty lotnicze muszą dostosować swoje funkcjonowanie do realiów nadchodzącej ery transformacji cyfrowej. Porty lotnicze przyszłości będą więc znacznie bardziej zintegrowane, inteligentne i przyjazne środowisku, jednocześnie oferując użytkownikom spersonalizowane doświadczenia oraz wyższy poziom bezpieczeństwa i komfortu.

Prognozy na kolejne lata wskazują na dynamiczny wzrost globalnego ruchu lotniczego, szczególnie w regionach Azji, Bliskiego Wschodu i Afryki, przy jednoczesnej stabilizacji na rynkach dojrzałych. Wzrost liczby pasażerów oraz rozwój rynku cargo napędzają czynniki demograficzne, urbanizacja, rosnące dochody i postęp technologiczny. W odpowiedzi na te zmiany, sektor lotniskowy intensyfikuje działania w obszarach dekarbonizacji, cyfryzacji, integracji intermodalnej oraz automatyzacji operacji. Szczególny nacisk kładzie się na rozwój Passenger Experience oraz adaptację infrastruktury do roli inteligentnych, ekologicznych hubów transportowych. Kluczowe znaczenie mają również inwestycje w zasoby ludzkie, dostosowujące kadry do nowej rzeczywistości technologicznej i operacyjnej.

Globalna transformacja portów lotniczych wspierana jest przez liczne programy badawcze, pilotażowe i grantowe, umożliwiające wdrażanie technologii przyszłości. Od Europy, przez Azję, po Stany Zjednoczone – partnerstwa takie jak SESAR 3 JU, Clean Aviation czy Airport AI Alliance integrują sektor publiczny i prywatny wokół wspólnego celu: zwiększenia efektywności, bezpieczeństwa i zrównoważonego transportu lotniczego. Równolegle działają krajowe mechanizmy wsparcia, takie jak Aviation Development Fund w Singapurze czy amerykańskie programy Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation Grant Program, Airport Terminal Program i Airport Improvement Program. Szczególną rolę odgrywają także programy badawczo-rozwojowe, z których najbardziej kompleksowym przykładem jest Horyzont Europa. Umożliwiają one finansowanie szerokiego zakresu działań – od modernizacji infrastruktury i dostosowywania jej do wymogów środowiskowych i bezpieczeństwa, po wdrażanie innowacyjnych technologii oraz prowadzenie pilotaży ukierunkowanych na rozwój rozwiązań przyszłości.

Postępująca cyfryzacja i wdrażanie systemów samoobsługowych sprawiają, że wiele jak dotąd manualnych procedur – takich jak odprawa pasażerska, nadanie bagażu czy kontrola bezpieczeństwa – może być wykonywana w pełni automatycznie, bez angażowania personelu. Szczególne znaczenie w tym kontekście mają systemy biometrycznej identyfikacji, które zwiększają szybkość i dokładność obsługi podróżnych, jednocześnie poprawiając ich komfort i skracając czas przebywania w strefach operacyjnych portów lotniczych.

Innym istotnym obszarem analizowanym w raporcie jest infrastruktura oraz zarządzanie energią w kontekście zrównoważonego rozwoju. Nowoczesne porty lotnicze muszą nie tylko efektywnie obsługiwać miliony pasażerów i ton ładunków, ale także spełniać coraz bardziej rygorystyczne normy środowiskowe. Stąd też coraz istotniejsze jest znaczenie rozwiązań w zakresie dekarbonizacji, inteligentnego zarządzania energią, wykorzystania źródeł odnawialnych oraz rozwoju infrastruktury dla zrównoważonych paliw lotniczych (SAF). Tego typu działania nie tylko redukują ślad węglowy działalności portu, ale również przyczyniają się do budowy nowoczesnego i odpowiedzialnego wizerunku portu lotniczego w oczach interesariuszy.

W obliczu rosnących zagrożeń związanych z bezpieczeństwem publicznym, niezbędne staje się także wdrażanie nowoczesnych systemów zarządzania bezpieczeństwem. Sztuczna inteligencja, zaawansowane systemy monitorowania wideo oraz technologie rozpoznawania zagrożeń w czasie rzeczywistym – to tylko niektóre z narzędzi, które w przyszłości staną się standardem w ochronie portów lotniczych. W raporcie przedstawiono, w jaki sposób nowe technologie wspierają działania prewencyjne oraz operacyjne w kontekście bezpieczeństwa pasażerów, personelu i infrastruktury.

Ze względu na dynamiczne zmiany technologiczne oraz demograficzne, również innowacje w zarządzaniu zasobami ludzkimi stają się nieodzownym elementem strategii rozwoju portów lotniczych. Starzenie się społeczeństw, migracje oraz zmieniające się oczekiwania młodszych pokoleń, zwłaszcza Generacji Z, wymagają nowych modeli rekrutacji i zarządzania personelem. Kluczowe znaczenie zyskują działania w zakresie reskillingu i upskillingu pracowników, szczególnie w obszarach cyberbezpieczeństwa, IT oraz obsługi pasażerów. Automatyzacja procesów nie eliminuje roli człowieka, lecz ją redefiniuje, zwiększając zapotrzebowanie na kompetencje miękkie, specjalizacje oraz gotowość do pracy w środowisku wysokiej technologii. Coraz więcej portów lotniczych wdraża elastyczne polityki zatrudnienia, programy szkoleniowe oparte na współpracy z uczelniami oraz platformy cyfrowe wspierające rozwój zawodowy. W odpowiedzi na rosnącą rolę AI, konieczne staje się także dostosowanie strategii HR do modeli hybrydowych, w których człowiek i maszyna współpracują w ramach zintegrowanych procesów operacyjnych.

Wykorzystanie całego wachlarza nowoczesnych technologii w zakresie lotniczego transportu pasażerskiego wpływa na fundamentalne zmiany w zakresie tzw. Passenger Experience. Porty lotnicze coraz częściej stają się przestrzenią nie tylko tranzytową, ale także miejscem spędzania czasu, pracy i rozrywki. Personalizacja usług, inteligentne powiadomienia, autonomiczny transport wewnętrzny czy roboty asystujące to tylko niektóre przykłady nowoczesnych rozwiązań, które redefiniują sposób, w jaki pasażerowie korzystają z infrastruktury portów lotniczych. Zrozumienie oczekiwań współczesnego pasażera zwiększa nie tylko ich liczbę osób korzystających z usług oferowanych przez porty i linie lotnicze, ale także generowany przez nie dochód.

Executive summary

The aviation sector has for decades been one of the key drivers of economic development, mobility, and international integration. In the face of ongoing globalisation and increasing demand for fast, safe, and convenient transport, airports today are being challenged to redefine their role – not merely as transport infrastructure, but as complex digital and environmental ecosystems. In an era of dynamic technological advancement, including artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), automation, and sustainable energy solutions, airports must adapt their operations to the realities of the impending digital transformation. Airports of the future will therefore be more integrated, smart, and environmentally friendly, while offering users personalised experiences and enhanced levels of safety and comfort.

Forecasts for the coming years indicate dynamic growth in global air traffic, particularly in regions such as Asia, the Middle East, and Africa, alongside stabilisation in mature markets. Growth in passenger numbers and the cargo market is driven by demographic factors, urbanisation, rising incomes, and technological progress. In response to these changes, the airport sector is intensifying its efforts in areas such as decarbonisation, digitalisation, intermodal integration, and operational automation. Particular emphasis is placed on developing the Passenger Experience and adapting infrastructure to serve as smart, environmentally sustainable transport hubs. Investments in human resources are also of key importance, ensuring the workforce is prepared for the new technological and operational landscape.

The global transformation of airports is being supported by numerous research, pilot, and grant programmes that facilitate the implementation of future technologies. From Europe and Asia to the United States, partnerships such as SESAR 3 JU, Clean Aviation, and the Airport AI Alliance bring together public and private sectors in pursuit of a common goal: increasing the efficiency, safety, and sustainability of air transport. Parallel national support mechanisms are also in place, including the Aviation Development Fund in Singapore and U.S. programmes such as the Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation Grant Program, the Airport Terminal Program, and the Airport Improvement Program. Research and development initiatives also play a vital role, with Horizon Europe being one of the most comprehensive examples. These programmes provide funding across a wide spectrum – from infrastructure modernisation and compliance with environmental and safety standards, to the deployment of innovative technologies and pilot schemes aimed at future-focused solutions.

Ongoing digitalisation and the implementation of self-service systems mean that many previously manual procedures – such as passenger check-in, baggage drop-off, or security screening – can now be carried out fully automatically, without staff involvement. Of particular importance in this context are biometric identification systems, which enhance the speed and accuracy of passenger processing while improving comfort and reducing time spent in operational areas of the airport.

Another key area analysed in the report is infrastructure and energy management in the context of sustainable development. Modern airports must not only efficiently handle millions of passengers and tonnes of cargo, but also meet increasingly stringent environmental regulations. Consequently, solutions related to decarbonisation, intelligent energy management, the use of renewable energy sources, and the development of infrastructure for sustainable aviation fuels (SAF) are gaining prominence. These actions not only reduce the airport's carbon footprint but also contribute to shaping a modern and responsible image of the airport in the eyes of stakeholders. In the face of increasing threats to public security, the implementation of modern safety management systems is becoming essential. Artificial intelligence, advanced video surveillance systems, and real-time threat detection technologies are just some of the tools that are set to become standard in airport protection. The report outlines how new technologies support both preventive and operational security measures for passengers, staff, and airport infrastructure.

In light of rapid technological and demographic changes, innovations in human resource management are becoming an indispensable element of airport development strategies. Population ageing, migration, and shifting expectations of younger generations – particularly Generation Z – require new models of recruitment and personnel management. Actions in the area of employee reskilling and upskilling are gaining strategic importance, especially in cybersecurity, IT, and passenger services. Automation of processes does not eliminate the role of humans but redefines it, increasing the demand for soft skills, specialisations, and readiness to operate in high-tech environments. More and more airports are introducing flexible employment policies, training programmes in collaboration with universities, and digital platforms supporting professional development. In response to the growing role of AI, HR strategies must also adapt to hybrid models in which humans and machines collaborate within integrated operational processes.

The application of a broad range of advanced technologies in passenger air transport is driving fundamental changes in the Passenger Experience. Airports are increasingly becoming not just transit points, but spaces for leisure, work, and entertainment. Service personalisation, smart notifications, autonomous internal transport, and robotic assistants are just a few examples of modern solutions that are redefining how passengers engage with airport infrastructure. Understanding the expectations of today's passengers increases not only their engagement with airport and airline services but also the revenue generated by them.

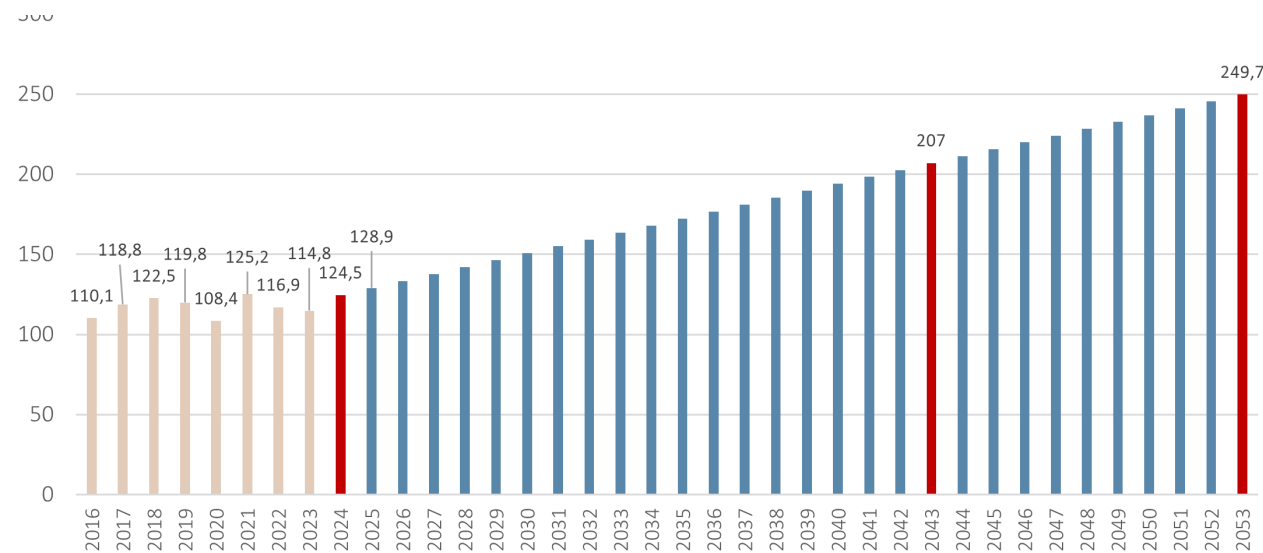
Światowe megatrendy wpływające na przyszłość sektora



nej oraz Europie wzrost będzie wolniejszy – odpowiednio 3,0% i 2,5% CAGR, ze względu na nasyce- nie rynku i demograficzne spowolnienie. W krajach takich jak Włochy i Niemcy spodziewane są stagnacje lub spadki tempa wzrostu ruchu lotniczego, związane z postępującym starzeniem się populacji.

W odniesieniu do rynku lotniczego cargo, również ACI World zakłada dynamiczny rozwój oraz dal- szy wzrost. Wg szacunków tej organizacji z początku 2025 r., w 2024 r. przetransportowano w ten sposób 115 mln ton, co oznacza niemal 9-proc. wzrost w porównaniu do 2023 r. To wynik lepszy niż wcześniejsze prognozy i potwierdzenie rosnącego znaczenia tego segmentu transportu. W per- spektywie długoterminowej globalny rynek cargo lotniczego ma rozwijać się w stabilnym tempie. Wg prognoz ACI World, średnioroczny wzrost (CAGR) wyniesie 2,7% w okresie od 2024 do 2043 r. oraz sumarycznie 2,4% w latach 2024–2053⁶.

Wykres 2. Długoterminowa globalna prognoza lotniczego cargo do 2053 r. wg ACI World (mln ton)



Źródło: The trusted authority on air travel demand insights, aci.aero, 26 lutego 2025 r.

Główne czynniki demograficzne, gospodarcze i kulturowe prognozowane przez IATA⁷ jako wpły- wające na przyszłość globalnego sektora lotniczego to:

- **wzrost gospodarczy i rosnące dochody społeczeństw** – wzrost PKB, szczególnie na rynkach wschodzących, jest najważniejszym czynnikiem napędzającym popyt na podróże lotnicze. Za- leżność między wzrostem dochodu na mieszkańca (PKB per capita) a skłonnością do podróżo- wania jest silna – w krajach o wartości tego wskaźnika poniżej 20 tys. dolarów nawet niewiel- kie wzrosty mogą prowadzić do gwałtownego zwiększenia liczby podróży lotniczych (catch-up growth). Szczególne znaczenie mają tu Indie i Chiny, gdzie miliony ludzi corocznie wchodzi- do klasy średniej. Podobne zjawiska obserwuje się w krajach Afryki i Azji Południowo-Wschod- niej. Należy jednak też pamiętać o tym, iż zwłaszcza w zakresie cargo prognozy obarczone są

pewnym poziomem niepewności, wynikających z dynamicznych zmian w polityce handlowej. Rosnące napięcia pomiędzy największymi gospodarkami świata oraz polityka celna USA mogą zakłócić łańcuchy dostaw, wpłynąć na kierunki przepływu towarów oraz ograniczyć popyt na usługi transportu lotniczego. Cargo lotnicze będzie więc w przyszłości zależeć od stabilności otoczenia geopolitycznego i skuteczności adaptacji sektora do nowych warunków handlowych.

- **demografia** – rynki wschodzące, takie jak Nigeria, Etiopia, Indie i Pakistan, charakteryzują się młodą strukturą demograficzną, co przekłada się na większą skłonność do podróżowania. Przykładowo, prognozy dotyczące tego pierwszego państwa wskazują, iż liczba pasażerów linii lotniczych może zwiększyć się do 2043 r. nawet o 115 mln osób. Co więcej, młodsze generacje (Millenialsi, Gen Z) traktują podróże jako integralny element stylu życia, co dodatkowo stymulu- je popyt. Jednocześnie Europa, Japonia i Chiny doświadczają zmian demograficznych skut- kujących niskim (często ujemnym) przyrostem naturalnym, z coraz większym odsetkiem osób starszych. Choć zdaniem IATA w kolejnym 20-leciu nie spowoduje to spadku liczby pasażerów, to jednak ograniczy tempo wzrostu popytu na podróże lotnicze we wspomnianych rejonach.

- **urbanizacja i rozwój nowych tras** – rozwój miast, zwłaszcza w Azji i Afryce, two- rzy nowe ośrodki popytu i zmienia wzorce podróży. Pojawiać się będą nowe tzw. me- gamiasta i aglomeracje, co będzie prowadziło do dalszego rozwoju bezpośrednich połączeń i relacji city-pairs. Jednocześnie inwestycje w regionalne porty lotnicze i sieci niskokosz- towych linii lotniczych w coraz większym stopniu łączyć będą dotąd słabo obsługiwane regiony.

- **nowoczesne technologie i efektywność operacyjna** – postęp technologiczny w kon- strukcji samolotów będzie umożliwiał bardziej ekonomiczne obsługiwanie mniej popular- nych tras (tzw. thin markets), jak również zwiększy możliwości portów lotniczych. To również będzie zwiększać dostępność lotów i sprzyjać będzie rozszerzaniu globalnej siatki połączeń.

- **ewolucja kosztów podróży lotniczych** – wg IATA, dzięki konkurencji, postępowi technologiczne- mu i efektywności operacyjnej, realne koszty lotów będą spadać. Liczba relacji city-pairs podwoiła się w ostatnich 20 latach, co skróciło czas podróży i poprawiło Passener Experience. W przyszłości dalsza redukcja kosztów zwiększać będzie dostępność podróży lotniczych dla szerszych grup społecznych.

- **liberalizacja rynku i polityka regulacyjna** – zgodnie z prognozami IATA, otwarcie rynków lot- niczych (np. deregulacja i umowy o otwartym niebie) prowadzić będzie do spadku cen i popra- wy dostępności połączeń. Wg przewidywań tej organizacji, np. w Afryce liberalizacja może obni- żyć ceny lotów nawet o 30%, a podobne możliwości istnieją także w Ameryce Południowej i Azji.

- **rosnąca świadomość ekologiczna i zrównoważony rozwój** – na zmiany w sektorze lot- niczym wpływa także rosnąca presja środowiskowa i regulacje dotyczące emisji CO₂. Przy- szły rozwój sektora będzie uzależniony od wdrożenia rozwiązań takich jak m.in. zrównowa- żone paliwa lotnicze (SAF) oraz nowe technologie lotniskowe i samolotowe, mające wpływ na wzrost efektywności operacji lotniczych. Wzrost popytu będzie musiał być jednak zgodny z celami klimatycznymi, a równowaga ta jest kluczowym aspektem długoterminowych prognoz.

Megatrendy dotyczące całość branży, będą miały też oczywiście znaczenie dla poszczególnych jej sektorów, w tym sytuacji portów lotniczych. Międzynarodowa firma doradcza Oliver Wyman

⁶ The trusted authority on air travel demand insights, aci.aero, 26 lutego 2025 r.

⁷ Air passenger demand forecasting..., op. cit.

oraz branżowe zrzeszenie portów lotniczych ACI w 2023 r. wspólnie zdefiniowały kilka kluczowych czynników, które wpłynąć będą w kolejnych latach na funkcjonowanie oraz kierunki rozwoju portów lotniczych. Są to⁸:

- **dążenie do osiągnięcia neutralności węglowej** – porty lotnicze będą dążyć do osiągnięcia celu net-zero do 2050 r., co jest związane z globalnym zobowiązaniem branży lotniczej do ograniczenia emisji CO2. Choć porty lotnicze odpowiadają tylko za niewielki odsetek emisji w sektorze (2–5%), w kolejnych latach stawać się one będą kluczowymi ośrodkami produkcji i dystrybucji energii odnawialnej. Technologie takie jak wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla (CCS) oraz alternatywne paliwa będą istotnym elementem tej transformacji.
- **innowacje technologiczne** – porty lotnicze na całym świecie przechodzą przez proces transformacji cyfrowej. Wykorzystanie AI, biometrii, automatyzacji i autonomizacji rewolucjonizuje ich działanie, w tym obsługę pasażerów oraz zarządzanie ruchem lotniczym. Dzięki digitalizacji, podróżni będą mogli korzystać z cyfrowych tożsamości, eliminując tradycyjne paszporty. Porty lotnicze muszą zatem dostosowywać swoją infrastrukturę do nowych technologii, umożliwiając pasażerom odbywanie podróży płynnych (seamless), a jednocześnie bezpiecznych.
- **intermodalność** – porty lotnicze coraz częściej pełnią rolę hubów transportowych, łącząc różne środki transportu, takich jak samochody indywidualne, transport publiczny, elektryczne i autonomiczne pojazdy, kolej dużych prędkości, a w przyszłości także systemy AAM. Rozwijać się też będą systemy transportowe umożliwiające poruszanie się po terenach samych airport cities i aerotropolis.
- **zmiany w zakresie zasobów ludzkich** – w obliczu rozwoju nowych technologii oraz trendów demograficznych i socjologicznych, rola pracowników lotniskowych będzie ewoluować. Konieczne będzie rozwijanie specjalistycznych umiejętności, zwłaszcza w zakresie obsługi klienta, inżynierii, IT i cyberbezpieczeństwa. Generacja Z, znana ze swojej wielozadaniowości, stanie się kluczową grupą pracowników, co już teraz wymaga rewizji dotychczasowych strategii HR w celu przyciągnięcia nowych talentów i utrzymania dotychczasowych pracowników. Szczególnego znaczenia nabiera tzw. reskilling i upskilling.
- **rewolucja w Passenger Experience** – przyszłość będzie opierać się na dostosowanych, bezdotykowych i efektywnych podróżach. Dzięki transformacji cyfrowej pasażerowie będą mogli zarządzać swoją podróżą za pomocą aplikacji mobilnych, rezerwując usługi, takie jak odbiór bagażu, restauracje czy zakupy wolnocłowe. Zmiany będą dotyczyć także fizycznej przestrzeni w portach lotniczych, gdzie powstaną nowe strefy relaksu, takie jak kina, baseny czy wirtualne gry, a same porty lotnicze i ich otoczenie w jeszcze większym stopniu staną się miejscami rozrywki i działalności komercyjnej.

8 Za: The Evolution of Airports. A Flight Path to 2050, Oliver Wyman / ACI, 2023, s. 14–15.

Tabela 2. Megatrendy w branży lotniskowej w horyzoncie czasowym 2030, 2040 i 2050 r. wg Oliver Wyman i ACI

	2030	2040	2050
Neutralność węglowa	• komercjalizacja SAF; • elektryfikacja GSE; • zrównoważone technologie oświetlenia i chłodzenia; • zmniejszenie liczby lotów krajowych na rzecz kolei; • zmniejszenie zanieczyszczenia hałasem	• skalowanie produkcji SAF; • wprowadzenie elektrycznych samolotów w lotach krótkodystansowych; • wprowadzenie technologii wodorowych; • zrównoważone technologie budowy i modernizacji infrastruktury; • implementacja systemu free-route airspace (FRA);	• porty lotnicze hubami energetycznymi i producentami energii elektrycznej; • osiągnięcie neutralności węglowej
Innowacje technologiczne	• biometria i zarządzanie cyfrową tożsamością; • bezdotykowa kontrola graniczna; • technologie paperless i tag-less-tracking; • AI i IoT jako element operacji lotniskowych; • druk 3D w lotniskowych łańcuchach dostaw	• powszechne stosowanie pojazdów autonomicznych i robotów wspierających operacje na lotniskach i poza nimi; • bezdotykowa kontrola bezpieczeństwa; • znaczne zredukowanie hałasu emitowanego przez samoloty; • IoT i ML wykorzystywane do przewidywania i optymalizowania efektywności operacji; • technologia wychwytywania i przechowywania CO2	• podróż w pełni automatyzowana, bezdotykowa; • uznawana międzynarodowo tożsamość cyfrowa pasażerów
Intermodalność	• inwestycje lotniskowe powiązane z szerszymi sieciami transportowymi; • integracja transportu pasażerskiego i towarowego; • zachęty do zmniejszania dojazdów do portów lotniczych indywidualnymi samochodami	• integracja portów lotniczych z mobilnością miejską i rozwiązaniami AAM (pionowzloty eVTOL); • rozwój w pełni zintegrowanych węzłów multimodalnych dla transportu pasażerskiego i towarowego; • inwestycje w infrastrukturę dla pojazdów autonomicznych	• zintegrowane systemy zarządzania przepływem pasażerów w każdym z rodzajów transportu; • bezdotykowe, dedykowane trasy dla pasażerów – z centrów miast do bramek w terminalach
Zasoby ludzkie	• rekrutacja, upskilling i reskilling pracowników; • ograniczenia w liczbie pracowników i niedobór pilotów, wpływające na możliwości linii lotniczych w zaspokajaniu popytu; • zmiany demograficzne, 4 pokolenia pracujące razem	• szerokie wykorzystanie AI i innych technologii do wspierania pracowników; • zmniejszenie liczby pracowników, skoncentrowanie ich aktywności na rolach związanych z obsługą klienta	• ograniczenie interakcji pasażera/klienta z ludźmi; • pełna automatyzacja wielu procesów i stanowisk
Passenger Experience	• zwiększenie wagi przywiązywanej do PX – wygodne przestrzenie oczekiwania, darmowe Wi-Fi, różnorodne opcje jedzenia i picia; • wzrost liczby usług dostosowanych do potrzeb pasażera, takich jak wirtualne kolejkowanie czy łatwy dostęp do e-commerce	• rozwój aerotropolis; • operacje zorientowane na obsługę klienta, z przyspieszonym parkowaniem, zintegrowanym planowaniem podróży i szybkimi procedurami bezpieczeństwa	• terminale lotniskowe bez kolejek, z indywidualnym kierowaniem pasażera; • spersonalizowana, interaktywna, bieżąca komunikacja z pasażerem

Źródło: The Evolution of Airports. A Flight Path to 2050, Oliver Wyman / ACI, 2023, s. 14-15.

W zakresie uwarunkowań mających znaczenie przede wszystkim dla lotniczego cargo, IATA wymienia natomiast⁹:

- **zróżnicowane uwarunkowania regionalne** mają istotny wpływ na kształtowanie strategii rozwoju. W regionie Azji i Pacyfiku silny popyt na transport lotniczy napędzany jest przez wielkoskalową produkcję i szybki rozwój e-commerce. W Ameryce Północnej nacisk kładzie się na modernizację infrastruktury, z myślą o obsłudze frachtu ekspresowego oraz integracji transportu multimodalnego. W Europie z kolei priorytetem są automatyzacja, cyfryzacja i działania na rzecz zrównoważonego rozwoju. W Afryce i Ameryce Łacińskiej rosnące inwestycje w infrastrukturę cargo mają na celu wsparcie eksportu rolnego i rozwój sieci handlowych.

- **postęp technologiczny** – wdrażanie cyfrowych rozwiązań, takich jak systemy wymiany danych, sztuczna inteligencja czy zautomatyzowane systemy obsługi ładunków, zwiększa efektywność operacyjną i przejrzystość procesów logistycznych. Coraz powszechniejsze stają się także robotyka i autonomizacja, które ograniczają czas obsługi i zmniejszają uzależnienie od pracy fizycznej, wspierając jednocześnie standaryzację działań w skali międzynarodowej.

- **zrównoważony rozwój** staje się fundamentem transformacji infrastruktury cargo. Porty lotnicze i operatorzy inwestują w zielone technologie, takie jak magazyny zasilane energią słoneczną, elektryczny sprzęt naziemny czy energooszczędne projekty budowlane. Coraz częściej wykorzystywane są również materiały o niskim śladzie węglowym, m.in. stal z recyklingu, czy beton niskoemisyjny. Równocześnie uwzględniane jest planowanie końca cyklu życia infrastruktury, z naciskiem na minimalizację odpadów i ponowne wykorzystanie komponentów.

- **finansowanie i inwestycje** – transformacja infrastruktury przyciąga kapitał prywatny – od funduszy inwestycyjnych po partnerstwa publiczno-prywatne. Rosnące zapotrzebowanie na wyspecjalizowane obiekty, takie jak magazyny kontrolujące temperaturę dla farmaceutyków czy zautomatyzowane centra sortowania dla e-commerce, stwarza nowe możliwości inwestycyjne i zwiększa dynamikę rynku.

- **wyzwania rynkowe i makroekonomiczne**, takie jak wahania cen paliw, zmieniająca się polityka handlowa czy braki kadrowe, stanowią istotne czynniki ryzyka, które mogą spowalniać tempo transformacji i wymagają elastycznego podejścia ze strony branży.

Przyszłość portów lotniczych będzie zatem silnie związana z ekologiczną odpowiedzialnością, technologiczną innowacyjnością, nowymi modelami pracy oraz transformacją w zakresie Passenger Experience, co sprawi, że najnowocześniejsze porty lotnicze staną się bardziej zrównoważonymi, zintegrowanymi i spersonalizowanymi przestrzeniami¹⁰. Na kolejnych stronach niniejszego opracowania szczegółowo przedstawiono poszczególne zakresy prognozowanych trendów zmian.

9 2025 Vision for the Future of Air Cargo Facilities, IATA, 2025, s. 6.

10 R. Nawas, Discover the 5 trends shaping the next generation of airports, weforum.org, 26 lipca 2023 r.

Programy rozwojowe i pilotażowe



4. Programy rozwojowe i pilotażowe

Rozdział koncentruje się na wybranych mechanizmach wspierających rozwój sektora lotniczego w perspektywie transformacji technologicznej, środowiskowej i infrastrukturalnej. Zebrane tu przykłady pokazują, w jaki sposób instytucje publiczne, partnerstwa branżowe i środowiska badawcze wspólnie wyznaczają kierunki innowacji w lotnictwie – zarówno na poziomie europejskim, jak i globalnym. W pierwszej części rozdziału omówiono kluczowe partnerstwa i porozumienia międzynarodowe, które łączą podmioty publiczne i prywatne w celu wspólnego rozwijania technologii przyszłości, takich jak, m.in. zrównoważone paliwa lotnicze, systemy zarządzania ruchem czy cyfryzacja usług lotniskowych. Kolejna część dotyczy dostępnych źródeł finansowania – od instrumentów finansowych Unii Europejskiej, przez granty typowo rządowe aż po dotacje przyznawane w ramach współpracy sektora prywatnego i publicznego – które umożliwiają wdrażanie innowacyjnych rozwiązań, modernizację infrastruktury oraz poprawę konkurencyjności portów lotniczych. Podkreślono tu znaczenie projektów, które odpowiadają nie tylko na rosnące potrzeby pasażerów, ale też na wymogi środowiskowe i cele polityki klimatycznej, jak również konieczność optymalizacji pracy i zwiększanie przepustowości infrastruktury lotniskowej ze względu na rosnący ruch lotniczy. Rozdział zamyka zestawienie wybranych projektów realizowanych w ramach wspomnianych instrumentów wsparcia – od modernizacji i rozbudowy terminali i wdrożeń cyfrowych systemów operacyjnych, po inicjatywy z zakresu poprawy poziomu bezpieczeństwa, mobilności niskoemisyjnej czy Passenger Experience.

4.1 Partnerstwa na rzecz nowych technologii i rozwoju branży lotniczej

Partnerstwa europejskie są jednym z kluczowych instrumentów realizacji celów polityki badawczej i innowacyjnej Unii Europejskiej. Łącząc Komisję Europejską z przedstawicielami sektora publicznego i prywatnego, umożliwiają wspólne działanie na rzecz rozwiązywania najważniejszych wyzwań cywilizacyjnych – od klimatu i zdrowia po cyfryzację i mobilność. Funkcjonują w ramach programu Horyzont Europa, a ich zadaniem jest m.in. konsolidacja wysiłków badawczych, uniknięcie duplikacji działań oraz zwiększenie efektywności inwestycji w badania i rozwój technologiczny. Jedną z form partnerstw są partnerstwa instytucjonalne, tworzone na podstawie decyzji Parlamentu Europejskiego i Rady UE. Charakteryzują się one wysokim stopniem integracji z europejskim ekosystemem innowacji oraz długoterminową perspektywą działania.

Jednym z przykładów tego typu inicjatyw jest SESAR 3 Joint Undertaking (SESAR 3 JU) – Partnerstwo na rzecz cyfrowej europejskiej przestrzeni powietrznej¹¹. To zinstytucjonalizowane europejskie partnerstwo publiczno-prywatne powołane w 2021 r. w ramach programu „Horyzont Europa”. Jego celem jest przyspieszenie cyfrowej transformacji europejskiej przestrzeni powietrznej i wdrożenie tzw. cyfrowego nieba (Digital European Sky) poprzez badania naukowe i innowacje technologiczne. Partnerstwo stanowi technologiczny filar unijnej polityki Jednolitej Europejskiej Przestrzeni Powietrznej (Single European Sky) i kluczowy element realizacji unijnej Strategii na rzecz Zrównoważonej i Inteligentnej Mobilności.

W skład SESAR 3 JU wchodzi ponad 50 podmiotów reprezentujących zarówno sektor publiczny (w tym Komisję Europejską i EUROCONTROL), jak i prywatny – operatorów lotniczych, producentów samolotów, dostawców technologii, porty lotnicze oraz instytucje zarządzające ruchem lotniczym. Wspólnie podejmują działania na rzecz modernizacji zarządzania ruchem lotniczym (ATM), zwiększenia przepustowości przestrzeni powietrznej oraz redukcji śladu węglowego europejskiego lotnictwa.

Do 2030 r. partnerstwo planuje zainwestować ponad 1,6 mld euro w realizację 9 zintegrowanych obszarów badawczo-rozwojowych, takich jak:

- integracja dronów i systemów U-SPACE;
- miejska mobilność powietrzna (Urban Air Mobility);
- wdrażanie automatyzacji i sztucznej inteligencji w zarządzaniu ruchem;
- cyfrowa koordynacja lotów w czasie rzeczywistym;
- wykorzystanie danych i narzędzi do optymalizacji operacji lotniczych;
- zwiększenie odporności systemów ATM na zakłócenia i sytuacje kryzysowe;
- redukcja emisji CO₂ i hałasu;
- elastyczne zarządzanie przestrzenią powietrzną dla różnych użytkowników;
- integracja nowych rodzajów statków powietrznych, takich jak drony, taksówki powietrzne czy pojazdy suborbitalne.

SESAR 3 JU rozwija technologie zarówno dla konwencjonalnych statków powietrznych, jak i dla nowatorskich form transportu lotniczego, które zyskują na znaczeniu w ramach transformacji systemu transportowego w kierunku multimodalności i zeroemisyjności. Rozwiązania opracowane w ramach partnerstwa znajdują zastosowanie nie tylko w Europie – wiele z nich jest wdrażanych globalnie i uwzględnianych w międzynarodowych standardach opracowywanych przez Organizację Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego.

Program SESAR 3 JU kontynuuje dorobek wcześniejszych edycji programu SESAR (Single European Sky ATM Research), jednak nowy etap kładzie jeszcze większy nacisk na wdrażanie wyników badań w praktyce – zarówno w postaci pilotażowych wdrożeń w portach lotniczych, jak i narzędzi cyfrowych wspierających decyzje operacyjne. Program wyróżnia się również podejściem systemowym, uwzględniającym potrzeby różnych użytkowników przestrzeni powietrznej oraz priorytety klimatyczne UE.

Polska uczestniczy w programie m.in. za pośrednictwem Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej (PAŻP), która bierze udział w projektach badawczych dotyczących innowacyjnych systemów zarządzania ruchem lotniczym oraz w działaniach na rzecz rozwoju zautomatyzowanego, przewidywalnego i bezpiecznego środowiska operacyjnego.

Drugim partnerstwem w ramach programu „Horyzont Europa” z zakresu branży lotniczej jest – Partnerstwo na rzecz czystego lotnictwa (Clean Aviation¹²). To wprawdzie kluczowy filar europejskiej strategii dekarbonizacji transportu lotniczego, ale jego działalność może mocno wpłynąć na funkcjonowanie również portów lotniczych jak i postawić je przed wyzwaniami związanymi z rozwojem owego transportu. Celem partnerstwa jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w lotnictwie o co najmniej 30% do 2035 r. – w porównaniu do poziomu z 2020 r. – i przygotowanie

¹¹ SESAR 3 Joint Undertaking (SESAR 3 JU), sesarju.eu.

¹² Partnerstwo na rzecz czystego lotnictwa – Clean Aviation, clean-aviation.eu.

gruntu pod osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 r., zgodnie z założeniami Europejskiego Zielonego Ładu. Ponadto, partnerstwo bardzo mocno dostrzega problem hałasu generowanego przez samoloty i również na tym polu prowadzi działania.

Clean Aviation zakłada przede wszystkim rozwój przełomowych technologii nisko- i zeroemisyjnych, które będą fundamentem transformacji lotnictwa. Obejmują one m.in. rozwiązania hybrydowo-elektryczne dla lotów krótkiego i regionalnego zasięgu oraz projekty ultrawydajnych samolotów napędzanych silnikami termicznymi przystosowanymi do zrównoważonych paliw lotniczych (SAF). Równolegle rozwijane są technologie wodorowe, które w przyszłości mogą całkowicie wyeliminować emisję CO₂ w trakcie lotu.

Zgodnie z misją Clean Aviation, do 2035 r. mają być gotowe technologie umożliwiające wprowadzenie na rynek nowych typów statków powietrznych. Ich wykorzystanie pozwoli na wymianę aż 75% światowej floty samolotów cywilnych do 2050 r., zapewniając jednocześnie redukcję emisji nawet o 90% dzięki zastosowaniu paliw alternatywnych lub całkowicie zeroemisyjnych źródeł energii, takich jak wodór¹³. Wymienione działania zdecydowanie wpłyną na konieczność wprowadzenia nowej infrastruktury związanej ze wzrostem wykorzystania SAF.

Wizją partnerstwa jest utrzymanie konkurencyjności europejskiego sektora lotniczego na rynku globalnym poprzez intensywne inwestycje w badania i innowacje, które jednocześnie zapewnią bezpieczeństwo, niezawodność oraz efektywność transportu pasażerskiego i towarowego. Partnerstwo integruje działania przemysłu, świata nauki oraz instytucji publicznych, wspólnie pracując na rzecz opracowania i wdrożenia nowych standardów technologicznych dla zrównoważonego lotnictwa.

Wskazane w tabeli (Tabela 1) przykłady aktualnych naborów – call for proposals – w ramach programu Horyzont Europa – wybrane nabory to właśnie tylko niektóre z działań partnerstwa w zakresie B+R do 2030 r. Co więcej – co zaznaczono w tabeli – Komisja Europejska, chcąc uniknąć dublowania prac badawczych w ramach realizowanych projektów, wymaga by te projekty korzystały z dorobku innych, zakończonych lub nadal trwających projektów, jak również wniosków wypracowanych w ramach powyższym partnerstw.

Poza partnerstwami na poziomie europejskim funkcjonują również partnerstwa na poziomie krajowym, poza Unią Europejską. Jednym z przykładów jest Connected Airport Living Lab, powołane w lutym 2023 r. przez brytyjską spółkę Connected Places Catapult i port lotniczy w Glasgow¹⁴. Celem tej inicjatywy jest przekształcenie wspomnianego portu lotniczego w pierwsze w Wielkiej Brytanii żywe laboratorium innowacji – przestrzeń testową dla nowoczesnych technologii, które odpowiadają na kluczowe wyzwania stojące przed lotnictwem cywilnym. Współpraca skoncentrowana jest wokół poprawy Passenger Experience, optymalizacji operacji cargo, a przede wszystkim – wspierania długoterminowych celów zrównoważonego rozwoju. Innowacje testowane w ramach projektu obejmują m.in. technologie wspierające automatyzację procesów lotniskowych, analitykę danych, rozwój zeroemisyjnych napędów (elektrycznych i wodorowych), a także wdrażanie zintegrowanego, multimodalnego dostępu do portu lotniczego na poziomie naziemnym. Pla-

nowane są również wdrożenia rozwiązań z zakresu transportu dronowego w logistyce medycznej, we współpracy z NHS Scotland.

Partnerstwo wyróżnia się także zintegrowanym podejściem do roli portu lotniczego jako „miejsca” – nie tylko infrastruktury transportowej, lecz także ośrodka rozwoju gospodarczego, innowacji, edukacji i nowych usług miejskich. Connected Places Catapult promuje wizję portów lotniczych jako dynamicznych węzłów rozwoju miejskiego, które w przyszłości mogą pełnić funkcje nie tylko transportowe, ale również edukacyjne i społeczno-usługowe, integrując np. kampusy uniwersyteckie, centra badawcze, przestrzenie coworkingowe czy obiekty kulturalne.

Istotnym aspektem partnerstwa jest również jego zakorzenienie w strategiach rozwoju regionalnego. Wpisuje się ono w trzy filary strategii gospodarczej Glasgow City Region, zakładającej rozwój najbardziej inkluzywnej, produktywnej i zielonej gospodarki w Wielkiej Brytanii do 2030 r. Projekt ma wspierać budowanie kompetencji przyszłości w regionie, tworzyć nowe miejsca pracy w sektorze innowacji oraz przyciągać inwestycje w zielone technologie lotnicze. Connected Airport Living Lab stanowi tym samym przykład nowego modelu portu lotniczego przyszłości – otwartego, zintegrowanego z otoczeniem, technologicznie zaawansowanego i odporniejszego na kryzysy, który może być wdrażany także w innych portach lotniczych w Europie.

W Wielkiej Brytanii w marcu 2024 r. powołano również konsorcjum HyFIVE, skupiające liderów przemysłu lotniczego i ośrodków naukowych, którego celem jest opracowanie skalowalnego, kriogenicznego systemu paliwowego do zasilania przyszłych samolotów wodorowych. W projekt zaangażowane są: firma inżynierska Marshall, GKN Aerospace – międzynarodowy producent komponentów strukturalnych i systemów lotniczych, oraz Parker Meggitt – globalny dostawca technologii dla układów paliwowych i cieplnych w lotnictwie. Partnerami badawczymi zostały Uniwersytet Manchesterski, Uniwersytet w Bath oraz Uniwersytet w Cardiff – uczelnie dysponujące zapleczem eksperckim w zakresie napędów wodorowych, kriogeniki i zaawansowanych materiałów.

Program o wartości blisko 40 mln funtów, współfinansowany przez rząd Wielkiej Brytanii, ma na celu rozwój pełnego systemu ciekłego wodoru wraz z jego demonstracją na poziomie TRL6 do 2027 r. HyFIVE zakłada również budowę łańcucha dostaw i zaplecza przemysłowego, które umożliwią wprowadzenie na rynek nowej generacji samolotów napędzanych wodorem w nadchodzącej dekadzie.

Projekt stanowi istotne uzupełnienie dla innych brytyjskich inicjatyw wodorowych, takich jak H2GEAR, i wpisuje się w narodową strategię Jet Zero. W szerszym kontekście HyFIVE wspiera transformację infrastruktury lotniskowej, która musi być przygotowana na obsługę samolotów zasilanych ciekłym wodorem, przy uwzględnieniu nowych wymagań w zakresie bezpieczeństwa, chłodzenia, tankowania i certyfikacji. Tym samym konsorcjum wyznacza kierunek dla portów lotniczych przyszłości, gotowych na przełom w dekarbonizacji lotnictwa¹⁵.

Innym przykładem partnerstwa krajowego, tym razem z obszaru Unii Europejskiej, jest trójstronna współpraca na rzecz rozwoju paliw syntetycznych, zainicjowana przez Orlen S.A., Politechnikę Warszawską Filię w Płocku oraz Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie. Porozumienie podpi-

¹³ Strategic Research and Innovation Agenda, clean-aviation.eu, grudzień 2021 r.

¹⁴ Glasgow Airport to become UK's first Connected Airport Living Lab, cp.catapult.org.uk, 7 lutego 2023 r.

¹⁵ Announcing HyFIVE: the UK consortium spearheading hydrogen fuel system development, marshallgroup.com, 5 marca 2024 r.

sane w styczniu 2025 r. zakłada wspólne działania badawczo-rozwojowe w zakresie wytwarzania paliw odnawialnych pochodzenia niebiologicznego (RFNBO), w tym niskoemisyjnego paliwa lotniczego e-SAF, które ma odegrać kluczową rolę w dekarbonizacji sektora lotniczego.

W ramach współpracy powstanie m.in. Pracownia Paliw Syntetycznych, w której prowadzone będą testy oraz optymalizacja procesów produkcji e-paliw. Partnerstwo obejmuje również podnoszenie kwalifikacji zawodowych pracowników Orlen, jak i kształcenie przyszłych kadr oraz wspólne ubieganie się o finansowanie działalności ze środków zewnętrznych.

Inicjatywa ta jest odpowiedzią na rosnące wymagania unijnych regulacji, takich jak ReFuelEU Aviation czy RED III, które zobowiązują państwa członkowskie do stopniowego zwiększania udziału zrównoważonych paliw w lotnictwie. Projekt wpisuje się także w długofalowe strategie klimatyczne Polski i Europy, stanowiąc przykład synergii między przemysłem, nauką i polityką publiczną na rzecz budowy innowacyjnego, niskoemisyjnego lotnictwa¹⁶.

Inną grupą partnerstw są inicjatywy międzynarodowe. Przykładem jest Airports AI Alliance – porozumienie powstałe w 2023 r., mające na celu wspieranie odpowiedzialnego i skutecznego wdrażania AI w sektorze lotniczym. Sojusz skupia głównie porty lotnicze oraz firmy technologiczne, które wspólnie opracowują strategie integracji AI w operacjach lotniskowych. Wśród członków znajdują się m.in. porty lotnicze: Dallas Fort Worth, Atlanta-Hartsfield-Jackson, Denver, Seul-Inczon, a także Greater Toronto Airports Authority¹⁷.

Struktura organizacyjna Airports AI Alliance obejmuje Komitet Wykonawczy, odpowiedzialny za wyznaczanie celów strategicznych, oraz Grupy Robocze skoncentrowane na obszarach takich jak „biznes i operacje” oraz „technologia i dane”. Grupy te służą jako platformy wymiany wiedzy, umożliwiając członkom dzielenie się najlepszymi praktykami i doświadczeniami w zakresie zastosowania AI w różnych funkcjach lotniskowych.

Airports AI Alliance organizuje coroczne szczyty, takie jak Airport AI Alliance Summit w Waszyngtonie, który odbył się w marcu 2025 r., stanowiące forum dyskusji na temat wyzwań i możliwości związanych z implementacją AI w lotnictwie¹⁸.

4.2 Dofinansowania i dotacje na rzecz wdrożeń nowoczesnych technologii i projektów rozwojowych

Wdrażanie innowacyjnych technologii w portach lotniczych wiąże się z wysokimi kosztami. Dlatego operatorzy portów lotniczych często korzystają z różnorodnych źródeł finansowania zewnętrznego, takich jak fundusze europejskie, krajowe programy wsparcia czy inicjatywy międzynarodowe.

¹⁶ Sojusz biznesu z nauką – innowacyjne e-paliwa, energetyka24.com, 30 stycznia 2025 r.

¹⁷ Greater Toronto Airports Authority to kanadyjska organizacja non-profit, która obsługuje port lotniczy Toronto-Lester.

¹⁸ Airport AI Alliance, airportsalliance.ai.

Jednym z największych programów na rzecz badań naukowych i innowacji w Unii Europejskiej jest program Horyzont Europa zarządzany przez Komisję Europejską. To już 9. program ramowy w tym zakresie, przewidziany na lata 2021–2027. Budżet programu to aż ok. 95,5 mld euro. Horyzont Europa stanowi kontynuację poprzednich, ale również został zaktualizowany ze względu na zmieniające się uwarunkowania społeczne, gospodarcze, jak również ekologiczne. W związku z tym program kładzie duży nacisk m.in. na kwestie przeciwdziałania zmianom klimatu jak również na wyrównywanie szans pomiędzy krajami członkowskimi. Zgodnie z zasadami programu większość projektów jest realizowana w konsorcjach międzynarodowych. Ma to na celu przygotowanie kompleksowych projektów, uwzględniających wiedzę, doświadczenie i punkty widzenia różnych partnerów, dzięki czemu projekt może w optymalny sposób udoskonalić produkt czy usługę lub też stworzyć zupełnie nową technologię. Charakterystyczne są konsorcja składające się z od kilku do kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu konsorcjantów. Dotacje na projekty realizowane w ramach współpracy w 2023 r. obejmowały średnio 11 uczestników¹⁹. Pod kątem podmiotów, które mogą uczestniczyć, program jest bardzo otwarty. Mogą w nim brać udział różnorodne podmioty prawne, które zostały powołane na mocy prawa krajowego, wspólnotowego czy międzynarodowego, takie jak: małe i średnie przedsiębiorstwa, duże przedsiębiorstwa, uczelnie, instytuty badawcze, instytucje publiczne, organizacje pozarządowe, organizacje międzynarodowe itp. Co do zasady, program Horyzont Europa jest dostępny dla podmiotów z całego świata, a szczególne wymogi odnośnie finansowania uczestników spośród krajów UE, krajów stowarzyszonych z programem czy też krajów trzecich opisane są szczegółowo każdorazowo w dokumentach każdego z konkursów.

Program składa się z trzech filarów:

- **I filar:** Doskonała baza naukowa – wspiera projekty interdyscyplinarne, o wysokim stopniu ryzyka naukowego, prowadzące do ważnych odkryć i przełomowych wyników; badania muszą mieć charakter poznawczy, pionierski, przekraczać obecne granice wiedzy;
- **II filar:** Globalne wyzwania i europejska konkurencyjność przemysłowa – polega na badaniach opartych na współpracy w zakresie europejskich wyzwań społecznych, a także koncentruje się na wzmacnianiu potencjału technologicznego i przemysłowego poprzez obszary tematyczne, tzw. klastry, takie jak: (1) zdrowie; (2) kultura, kreatywność i społeczeństwo integracyjne; (3) bezpieczeństwo cywilne na rzecz społeczeństwa; (4) technologie cyfrowe, przemysł, przestrzeń kosmiczna; (5) klimat, energia, mobilność; (6) żywność, biogospodarka, zasoby naturalne, rolnictwo i środowisko;
- **III filar:** Innowacyjna Europa – wspiera rozwój przełomowych i tworzących rynek innowacji projektów, a także rewolucyjnych rozwiązań, które przyczyniają się do realizacji celów Europejskiego Zielonego Ładu i planu odbudowy dla Europy oraz dąży do wzmacniania europejskich ekosystemów innowacji ze szczególnym uwzględnieniem przedsiębiorstw takich jak: MŚP oraz start-upów.

Bazą do poszukiwania informacji o aktualnych naborach, dokumentacji konkursowej, potencjalnych konsorcjantach czy też dofinansowanych projektach jest portal Funding & tender opportunities²⁰. Jest to również miejsce, gdzie przebiega cały proces związany z projektem – od rejestracji podmiotu poprzez złożenie wniosku aż po etap składania raportów z realizacji projektu. Niektóre z naborów są ogłaszane przez wspomniane partnerstwa Komisji Europejskiej, jak SESAR czy Clean Aviation.

¹⁹ Sprawozdanie roczne z działalności Unii Europejskiej w zakresie badań naukowych i rozwoju technologicznego oraz monitorowania programu „Horyzont 2020” w 2023 r., Komisja Europejska, 5 czerwca 2024 r.

²⁰ EU Funding & Tenders Portal, ec.europa.eu.

Tabela 3. Przykłady aktualnych naborów w ramach programu Horyzont Europa ogłoszonych przez partnerstwo SESAR oraz Clean Aviation

Nazwa naboru (topic)	Ogólny zakres tematyczny
Integration of the next generation aircraft for zero/low emission aviation ²¹	Program badawczy koncentruje się na integracji nowej generacji samolotów nisko- i zeroemisyjnych – napędzanych wodorem (spalanie lub ogniwa paliwowe), hybrydowo bądź elektrycznie – z europejskim systemem zarządzania ruchem lotniczym oraz infrastrukturą lotniskową. Maszyny te, o odmiennych parametrach operacyjnych (m.in. zasięg, prędkość, liczba pasażerów, czasy obsługi), mają wejść do eksploatacji po 2030 r. Badania obejmują m.in. wpływ tych różnic na projektowanie tras dolotowych i odlotowych, planowanie przepustowości portów lotniczych i sieci, a także konieczne zmiany w regulacjach i systemach ATM. Analizowane będą różne scenariusze rozwoju floty do 2035 r., a także długoterminowe wizje (2040+), z uwzględnieniem wpływu na środowisko (emisje CO₂, ślady kondensacyjne) i zdolność systemu do efektywnego zarządzania ruchem przy większym zróżnicowaniu technologicznym samolotów. Nabór: 1.04.2025 – 16.09.2025 Partnerstwo: SESAR
ATM impact on climate change ²²	Celem badań jest pogłębienie wiedzy o wpływie zarządzania ruchem lotniczym (ATM) na zmiany klimatu i środowisko, uwzględniając emisje CO₂ i nie-CO₂. Wymagana jest współpraca z siecią ANCEN²³. Zakres tematyczny obejmuje: 1) hałas i jakość powietrza (emisje NOx, PM, LZO itp., także dla nowych typów napędów i statków powietrznych); 2) ekstremalne zjawiska pogodowe i ich wpływ na odporność systemu ATM; 3) systemy oceny emisji w różnych skalach; 4) narzędzia monitoringu środowiskowego, także dla nowych uczestników ruchu (np. drony, operacje suborbitalne); 5) nowe metryki środowiskowe i ich walidacja; 6) platformy do prognozowania zagrożeń atmosferycznych; 7) smugi kondensacyjne – ich rozpoznawanie, modelowanie i wpływ na klimat. Badania powinny integrować AI i dane obserwacyjne, wspierać podejmowanie decyzji w ATM/U-SPACE. Projekty powinny nawiązywać do prac m.in. Clean Aviation, SESAR, EASA²⁴ i ICAO CAEP²⁵ oraz uzupełniać aktualnie prowadzone badania w ramach projektów takich jak ALARM²⁶ czy KAIROS²⁷. Nabór: 1.04.2025 – 16.09.2025 Partnerstwo: SESAR

21 Integration of the next generation aircraft for zero/low emission aviation, ec.europa.eu, 10 kwietnia 2025 r.

22 ATM impact on climate change, ec.europa.eu, 10 kwietnia 2025 r.

23 Aviation Non-CO2 Experts Network, easa.europa.eu.

24 Agencja Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego, easa.europa.eu

25 Committee on Aviation Environmental Protection, icao.int

26 multi-hazard monitoring and early warning system, ec.europa.eu, 7 stycznia 2025 r.

27 unlocking the potential of AI-based weather forecasts for operational benefits, ec.europa.eu, 13 maj 2025 r.

Smart airports, airports as multimodal nodes and passenger experience ²⁸	Celem badań jest rozwój inteligentnych, odpornych na cyberzagrożenia portów lotniczych, zintegrowanych z siecią transportu oraz ATM. Zakres obejmuje: 1) stworzenie uproszczonych centrów operacyjnych (Centralised Lite APOC) dla regionalnych portów lotniczych, wspierających współdziałanie interesariuszy i poprawę przewidywalności operacji lotniskowych; 2) wspólny plan operacyjny dla grupy mniejszych portów lotniczych; 3) integrację portów lotniczych z procesem priorytetyzacji użytkowników UDPP dla skuteczniejszego zarządzania zakłóceniami; 4) monitorowanie wpływu środowiskowego z użyciem dashboardów; 5) rozwój smart airports – integracja danych z systemami lądowymi, pasażerskimi i kolejowymi, AI i cyberbezpieczeństwa; 6) bezpieczna integracja bezzałogowców w przestrzeni lotnisk i strefie kontrolowanej lotniska, z uwzględnieniem automatyzacji, komunikacji ATC–RPAS i zarządzania awariami. Badania uwzględniają projekty PEACOCK, HARMONIC²⁹, Travel-Wise i INVIRCAT³⁰. Nabór: 1.04.2025 – 16.09.2025 Partnerstwo: SESAR
Next generation ATS platform for airport operations ³¹	Celem badań jest opracowanie nowej generacji platform lotniskowych zgodnych z poziomem automatyzacji 4 według Master Planu ATM. Nowe systemy mają wspierać loty załogowe i bezzałogowe, optymalizować trajektorie lotów pod kątem efektywności środowiskowej, zwiększać przepustowość portów lotniczych i umożliwiać dynamiczne zarządzanie przepływem ruchu lotniczego. Rozwiązania obejmują m.in. inteligentne systemy zarządzania ruchem naziemnym, cyberbezpieczeństwo (w tym kryptografię postkwantową), komunikację M2M zamiast głosowej oraz integrację danych w czasie rzeczywistym. Konsorcja muszą uwzględniać min. trzy porty lotnicze i producenta systemów ATS lub dowód kompetencji technicznych. Projekt przewiduje rozwój takich funkcji jak: zarządzanie ruchem kołowania z wyłączonymi silnikami, precyzyjne planowanie startów i lądowań, zautomatyzowane separacje czasowe oraz koordynacja między wieżą a kontrolą obszaru. Nabór: 1.04.2025 – 16.09.2025 Partnerstwo: SESAR
Increased automation assistance for the pilot for ATM tasks ³²	Zakres naboru obejmuje działania badawczo-innowacyjne wspierające rozwój operacji z jednym pilotem na pokładzie (Single Pilot Operations, SPO), przy zachowaniu wymaganego poziomu bezpieczeństwa i efektywności we wszystkich fazach lotu. Projekty mogą obejmować m.in. analizę procedur lotniczych i naziemnych w sytuacjach normalnych, nietypowych i awaryjnych, rozwój awioniki wspierającej zadania ATM oraz automatyzację wspomagającą pilota w zarządzaniu nawigacją. Przedmiotem badań może być również wykorzystanie narzędzi opartych na AI – zarówno w zakresie odciążania pilota z rutynowych zadań, jak i wspierania procesu decyzyjnego w warunkach wysokiego obciążenia pracą. Wnioskodawcy mogą również zaproponować rozwiązania wspierające komunikację między kontrolerem a pilotem za pomocą łącza danych (Controller Pilot Data Link Communications, CPDLC) na powierzchni lotniska, rozwój cyfrowych asystentów kokpitu oraz automatyzację transmisji danych. Propozycje powinny być zgodne z priorytetami Europejskiego Planu Master ATM. Nabór: 1.04.2025 – 16.09.2025 Partnerstwo: SESAR

28 Smart airports, airports as multimodal nodes and passenger experience, ec.europa.eu, 10 kwietnia 2025 r.

29 HARMONised network through smart technology and Collaboration, cordis.europa.eu, 25 lipca 2023 r.

30 IFR RPAS Control in Airports and TMA, cordis.europa.eu, 20 grudnia 2023 r.

31 Next generation ATS platform for airport operations, ec.europa.eu, 10 kwietnia 2025 r.

32 Increased automation assistance for the pilot for ATM tasks, ec.europa.eu, 10 kwietnia 2025 r.

Aircraft concept and key technologies integration and impact assessment³³	Celem naboru jest opracowanie przełomowych koncepcji samolotów z co najmniej 30% redukcją emisji CO ₂ oraz gotowością certyfikacyjną (CRL6) do 2030 r. Projekty mają dostarczyć: szczegółową architekturę statku powietrznego, ocenę integracji kluczowych technologii (także spoza Clean Aviation), iteracje projektowe oraz analizę i selekcję najbardziej obiecujących koncepcji. Wymagane jest coroczne monitorowanie osiągnięć i emisji (CO ₂ , NOx, PM, hałas), zgodnie z regulacjami ICAO, przy użyciu zweryfikowanych narzędzi przemysłowych. Koordynator pełni rolę integratora, zapewniając spójność danych, wymagań i planów rozwoju technologii. Projekt musi wykazać synergię z innymi inicjatywami na poziomie krajowym i europejskim. Rezultaty mają wspierać wejście nowych konstrukcji na rynek do 2035 r. W związku z tym również porty lotnicze będą musiały dostosować się do wymogów operacyjnych nowej generacji samolotów – zarówno w zakresie infrastruktury technicznej, np. systemów zasilania i obsługi naziemnej, jak i procedur bezpieczeństwa czy logistyki. Projekty te, choć koncentrują się na samych statkach powietrznych, mają bezpośredni wpływ na kształt i funkcjonowanie przyszłych portów lotniczych. Nabór: 27.03.2025 – 15.05.2025 Partnerstwo: Clean Aviation
Flight Test Demonstration of Hybrid-Electric Propulsion for Regional aircraft³⁴	Celem naboru jest demonstracja integracji hybrydowo-elektrycznego układu napędowego i systemów pokładowych dla koncepcji ultraefektywnego samolotu regionalnego, planowanego do wejścia do eksploatacji w 2035 r. Projekt obejmuje wybór platformy demonstracyjnej, integrację napędu, baterii, gondoli, awioniki oraz dostosowanie płatowca. Wymagana jest gotowość technologiczna TRL4 na start i osiągnięcie TRL6 do 2030 r. na podstawie testów naziemnych i lotnych (Flight FTD). Celem jest redukcja emisji CO ₂ o 30% (w tym min. 20% dzięki napędowi hybrydowemu) oraz pełna kompatybilność z SAF. Projekt ma zapewnić zgodność z wymaganiami certyfikacji CS-25 i CS-E oraz uzyskanie pozwolenia na lot. Wyniki testów będą udostępniane innym projektom Clean Aviation. Kluczowe są synergie z programami krajowymi i UE, z jasno określoną ścieżką do certyfikacji i wdrożenia samolotu. Choć projekt koncentruje się na rozwoju technologii samolotów regionalnych nowej generacji, jego rezultaty – takie jak zmniejszenie emisji, integracja z SAF czy nowe wymagania techniczne – będą miały bezpośredni wpływ na infrastrukturę i funkcjonowanie portów lotniczych, które muszą dostosować się do obsługi bardziej zrównoważonego lotnictwa. W efekcie porty lotnicze będą musiały uwzględnić nowe potrzeby operacyjne i techniczne tych statków powietrznych – od infrastruktury ładowania i tankowania SAF, po dostosowanie procedur obsługi naziemnej i systemów bezpieczeństwa. Nabór: 27.03.2025 – 15.05.2025 Partnerstwo: Clean Aviation

Źródło: Opracowanie własne Zespołu Doradców Gospodarczych TOR Sp. z o.o.

Innym programem Komisji Europejskiej jest Connecting Europe Facility (CEF) – Łącząc Europę. W latach 2021–2027 stanowi on kontynuację analogicznego programu z perspektywy 2014–2020 i dlatego nazywany bywa CEF 2. Za wdrażanie CEF 2 odpowiada Europejska Agencja Wykonawcza ds. Klimatu, Infrastruktury i Środowiska (CINEA), która ogłasza konkursy i zarządza procesem selekcji projektów. CEF 2 to kluczowy instrument finansowy Unii Europejskiej wspierający realizację celów Europejskiego Zielonego Ładu i transformację klimatyczną. W związku z tym, co najmniej 60% środków z CEF 2 musi być przeznaczone na realizację celów klimatycznych. Oznacza to premiowanie inwestycji m.in. w paliwa alternatywne. W kontekście przyszłości portów lotniczych, program CEF 2 nabiera szczególnego znaczenia, ponieważ umożliwia wdrażanie projektów modernizacyjnych, dekarbonizacyjnych oraz cyfrowych, które przekształcają porty lotnicze w zintegrowane, zautomatyzowane i niskoemisyjne węzły mobilności.

33 Aircraft concept and key technologies integration and impact assessment, ec.europa.eu, 11 kwietnia 2025 r.

34 Flight Test Demonstration of Hybrid-Electric Propulsion for Regional aircraft, ec.europa.eu, 11 kwietnia 2025 r.

CEF wspiera budowę i modernizację infrastruktury na transeuropejskiej sieci transportowej TEN- T, mającej fundamentalne znaczenie dla gospodarki i spójności terytorialnej Unii. Główne priorytety inwestycyjne obejmują infrastrukturę kolejową, śródlądową i morską, a także inteligentne aplikacje transportowe, multimodalne węzły pasażerskie oraz rozwój infrastruktury dla paliw alternatywnych (w tym wodoru i biopaliw). Dla portów lotniczych oznacza to możliwość pozyskania środków na wdrażanie zeroemisyjnych technologii, zintegrowanych systemów IT, poprawę efektywności energetycznej i redukcję emisji oraz poprawę łączności z innymi gałęziami transportu. W perspektywie do 2030 r. oraz 2050 r., zgodnie z polityką TEN-T i celami klimatycznymi UE, CEF 2 stanowi fundament dla długofalowych inwestycji w portach lotniczych. To nie tylko wsparcie infrastrukturalne, ale również narzędzie budowania odporności i konkurencyjności portów lotniczych wobec wyzwań klimatycznych, technologicznych i operacyjnych nadchodzących dekad.

Budżet programu na lata 2021–2027 wynosi 33,7 mld euro, z czego 25,8 mld euro przeznaczono na sektor transportu – CEF Transport³⁵. Program ma charakter konkurencyjny i jest dostępny dla podmiotów z całej UE, w tym dla zarządców portów lotniczych.

Ostatni – czwarty – nabór w ramach Wieloletniego Programu Prac CEF Transport na lata 2021– 2027 został ogłoszony 24 września 2024 r. Do dyspozycji wnioskodawców był budżet w wysokości 2,5 mld euro, podzielony na dwie pule: ogólną (dofinansowanie do 50%) oraz kohezyjną (do 85% wsparcia dla krajów objętych Funduszem Spójności, w tym Polski). Zakres naboru obejmował inwestycje w infrastrukturę bazową i kompleksową (drogi, kolej, porty, terminale), rozwój inteligentnych aplikacji dla transportu (np. ITS, SESAR–DSD, SESAR–CP, SESAR–OP), wdrażanie systemu ERTMS, poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego, budowę bezpiecznych parkingów, a także projekty związane z ochroną granic zewnętrznych. Wnioski w pierwszej kolejności musiały uzyskać akceptację Ministerstwa Funduszy i Polityki Regionalnej, które prowadziło preselekcję projektów. Ostateczny termin złożenia wniosku do KE upłynął 21 stycznia 2025 r.³⁶ Jednakże, oprócz tego naboru, istnieją również inne inicjatywy finansowane w ramach CEF, takie jak Facility for Alternative Fuels Infrastructure (AFIF), które mają własne harmonogramy i terminy składania wniosków. Jednym z naborów jest Alternative Fuels Infrastructure Facility – Co-funding Rate, który stanowi istotny element strategii dekarbonizacji transportu w Unii Europejskiej i obejmuje m.in. wsparcie dla infrastruktury na rzecz zeroemisyjnych portów lotniczych. W ramach konkursu możliwe jest uzyskanie dofinansowania na wdrażanie infrastruktury ładowania energią elektryczną oraz tankowania wodoru dla pojazdów, statków i sprzętu obsługującego operacje naziemne w portach lotniczych. Nabór jest realizowany w trybie multiple cut-off, a kolejny termin na składanie wniosków mija 11 czerwca 2025 r.³⁷ Nabór to jeden z instrumentów, który może umożliwić portom lotniczym realizację ambitnych planów klimatycznych i dostosowanie się do nowych standardów infrastrukturalnych w ramach TEN-T.

CINEA zarządza również Funduszem Innowacyjnym (Innovation Fund). To jeden z największych instrumentów finansowych wspierających demonstrację innowacyjnych technologii niskoemisyjnych na świecie. Stanowi on kluczowy element polityki klimatycznej Unii Europejskiej, odpowiadający za przyspieszenie transformacji energetycznej w sektorach przemysłu, transportu

35 Connecting Europe Facility (CEF) for Transport, transport.ec.europa.eu, 22 lipca 2024 r.

36 CEF Transport 2024 calls do proposals, cinec.europa.eu.

37 Alternative Fuels Infrastructure Facility – Co-funding Rate, ec.europa.eu, 10 marca 2025 r.

i energetyki. Co istotne z perspektywy portów lotniczych – wsparciem mogą zostać objęte także projekty realizowane w portach lotniczych, o ile przyczyniają się one do redukcji emisji gazów cieplarnianych i wykorzystują przełomowe rozwiązania technologiczne. Wnioskodawcami mogą być przedsiębiorstwa prywatne i publiczne, jak i konsorcja, których projekty będą zlokalizowane na terenie państw członkowskich Unii Europejskiej lub Europejskiego Obszaru Gospodarczego (tj. Norwegia, Islandia, Liechtenstein).

Nabory w ramach Innovation Fund są prowadzone cyklicznie i obejmują trzy kategorie projektów: małej skali (do 7,5 mln euro kosztów inwestycyjnych), średniej skali (20–100 mln euro) i dużej skali (powyżej 100 mln euro).

W ramach programu wspierane są projekty, które cechuje: wysoki potencjał redukcji emisji CO₂ lub innych gazów cieplarnianych, zastosowanie przełomowych technologii niskoemisyjnych, możliwość skalowania rozwiązań oraz efektywność kosztowa. W przypadku portów lotniczych oznacza to możliwość pozyskania finansowania na m.in.: rozwój infrastruktury do produkcji i tankowania wodoru, budowę stacji ładowania pojazdów elektrycznych, wdrożenie technologii zarządzania energią w porcie lotniczym (smart grid), modernizację systemów ogrzewania i chłodzenia, wykorzystanie energii odnawialnej czy rozwój instalacji dla zrównoważonych paliw lotniczych (SAF)³⁸.

Dzięki swojemu szerokiemu zakresowi tematycznemu i wysokiej intensywności wsparcia Fundusz Innowacyjny może odegrać istotną rolę w transformacji portów lotniczych w kierunku neutralności klimatycznej. Projekty lotniskowe wpisujące się w cele dekarbonizacji transportu lotniczego mają realną szansę na uzyskanie znaczącego wsparcia finansowego – zarówno w zakresie infrastruktury energetycznej, jak i nowych technologii operacyjnych. Fundusz ten uzupełnia tym samym ofertę programów takich jak CEF Transport czy Horizon Europe i wzmacnia ekosystem innowacji dla zrównoważonego rozwoju portów lotniczych w Europie.

W kontekście wspierania zrównoważonego rozwoju infrastruktury transportowej, warto także wskazać na możliwości oferowane przez programy terytorialne, takie jak Interreg Baltic Sea Region 2021–2027. Choć nie jest to program dedykowany bezpośrednio branży lotniczej, jego szeroki zakres tematyczny – zwłaszcza w ramach priorytetu 3 Climate-neutral society – stwarza potencjał do wspierania inicjatyw realizowanych w portach lotniczych, które przyczyniają się do dekarbonizacji, rozwoju zielonej energii czy cyfryzacji procesów. Program umożliwia finansowanie transnarodowej współpracy projektowej z państw członkowskich UE oraz Norwegii w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym, transformacji energetycznej oraz inteligentnej zielonej mobilności, wspierając tym samym działania wpisujące się w cele klimatyczne i innowacyjne regionu Morza Bałtyckiego. Współpraca instytucji publicznych, podmiotów prywatnych i naukowych w tym obszarze może skutecznie przyczynić się do wdrażania rozwiązań technologicznych również w portach lotniczych – np. w obszarze zarządzania energią, gospodarki wodnej, cyfrowych systemów transportu czy rozwoju infrastruktury dla zrównoważonych paliw lotniczych. Interreg Baltic Sea Region to zatem przykład programu, który może stanowić ważne uzupełnienie finansowania rozwoju portów lotniczych w krajach regionu, zwłaszcza w zakresie wspólnych, międzynarodowych projektów pilotażowych i demonstracyjnych³⁹.

³⁸ Innovation Fund, climate.ec.europa.eu

³⁹ Interreg Baltic Sea Region 2021–2027, interreg-baltic.eu.

Innym programem wsparcia finansowego, tym razem na poziomie krajowym, pochodzącym ze środków Unii Europejskiej są Fundusze Europejskie na Infrastrukturę, Klimat, Środowisko (FENIKS) na lata 2021–2027. Program stanowi kontynuację Programu Infrastruktura i Środowisko 2024–2020 i jest największym programem w całej UE zarówno pod kątem alokacji, jak i liczby priorytetów rozwojowych. Jego budżet to 29,3 mld euro, a główny cel to zrównoważony rozwój Polski w kierunku gospodarki niskoemisyjnej poprzez inwestycje w infrastrukturę techniczną i społeczną, zgodnie z założeniami Europejskiego Zielonego Ładu.

Środki w ramach programu przeznaczone są przede wszystkim na energetykę, środowisko oraz transport, a wnioskodawcami pomogą być m.in. samorządy terytorialne, przedsiębiorstwa i zarządcy infrastruktury transportowej czy przewoźnicy transportowi.

W kontekście rozwoju infrastruktury lotniczej szczególnie istotne znaczenie miał nabór FENX.04.03 „Infrastruktura lotnicza w TEN-T”. Przewidywał ono wsparcie projektów koncentrujących się na modernizacji i rozwoju infrastruktury portów lotniczych wpisanych w sieć TEN-T. Zakres możliwych inwestycji obejmował m.in. zakup urządzeń i systemów do kontroli osób, bagażu, ładunków i poczty; budowę obiektów i zakup sprzętu służących poprawie bezpieczeństwa operacji lotniczych; modernizację infrastruktury oraz wyposażenie w celu poprawy ochrony ruchu pasażerskiego i towarowego; rozbudowę i modernizację systemów zapewniających bezpieczeństwo pożarowe; inwestycje środowiskowe oraz działania ograniczające negatywne oddziaływanie portów lotniczych; a także rozwój systemów komunikacji, nawigacji i dozoru wynikających z SESAR.

O dofinansowanie mogły ubiegać się regionalne porty lotnicze włączone do sieci TEN-T oraz Polska Agencja Żeglugi Powietrznej (PAŻP). Maksymalna wartość wsparcia dla pojedynczego projektu wynosiła 25 mln zł, a poziom dofinansowania dla portów regionalnych zależał od liczby obsługiwanych pasażerów (do 75% kosztów kwalifikowalnych dla portów lotniczych obsługujących do 1 mln pasażerów rocznie oraz do 50% dla portów lotniczych obsługujących od 1 do 3 mln pasażerów). W przypadku projektów realizowanych przez PAŻP poziom ten wynosił maksymalnie 85%⁴⁰.

Poza programami unijnymi – międzynarodowymi czy krajowymi – funkcjonują również programy organizowane przez podmioty prywatne: sieci lub pojedyncze przedsiębiorstwa. Przykładem jest międzynarodowy program Call4Startups. Został ogłoszony przez sieć Airports For Innovation. Łączy ona 10 portów lotniczych (m.in. w Monachium, Dubaju, Rzymie czy Vancouver), startupy i ekspertów branżowych w celu kształtowania przyszłości lotnictwa poprzez definiowanie nowych standardów technologicznych, poprawę doświadczeń pasażerów i zwiększanie wydajności operacyjnej wykorzystując zrównoważone i innowacyjne podejście. Call4Startups jest przeznaczony dla startupów, które docelowo przetestują (w portach lotniczych działających w ramach sieci Airports For Innovation) rozwiązania z zakresu czterech obszarów tematycznych (challenges):

1. **Seamless Travel Experience:** wyzwanie dotyczy działań poprawiających doświadczenia pasażerów w podróży – od rezerwacji po dotarcie do celu; poszukiwane są innowacje cyfrowe w zakresie np. biometrii, cyfryzacji obsługi bagażu, nawigacji, rozrywki dla pasażerów, nawigacji terminalowej i inne rozwiązania oparte na AI;
2. **Sustainable Aviation:** celem jest ograniczenie wpływu portów lotniczych na środowisko poprzez działania z zakresu zarządzania energią, produkcji i magazynowania czystej energii, rozwoju

⁴⁰ Działanie FENX.04.03 Infrastruktura lotnicza w TEN-T, cupt.gov.pl.

paliw alternatywnych (w tym SAF), rozwoju narzędzi kompensujących ślad węglowy podróży lotniczych;

3. **Smart Luggage Revolution:** wyzwanie koncentruje się nie tylko na rozwiązaniach technologicznych, ale również takich, które poprawiają komfort i bezpieczeństwo podróżnych – od GPS i zamków cyfrowych, przez systemy AI do wykrywania i obsługi bagażu, aż po funkcje zwiększające bezpieczeństwo oraz rozwiązania wspierające ekologiczne podejście do procesu obsługi bagażu;
4. **AI-Powered Airport:** celem jest integracja danych i wdrażanie rozwiązań opartych na AI w celu poprawy efektywności operacyjnej, personalizacji usług dla pasażerów, optymalizacji zasobów i lepszego zarządzania ruchem lotniczym dzięki predykcji i współdzieleniu danych w czasie rzeczywistym⁴¹.

Nabór projektów prowadzony był od 9 września 2024 r. do 28 października 2025 r. Projekty oceniane są przez Komitet Selekcyjny, składający się z przedstawicieli wszystkich portów lotniczych w ramach sieci. Zgodnie z harmonogramem naboru ogłoszenie wyników miało nastąpić w kwietniu 2025 r., a w maju tego roku ostatecznie wybrane startupy miały rozpocząć testowanie swoich rozwiązań w co najmniej dwóch międzynarodowych węzłach komunikacyjnych przez okres 12 miesięcy. Każdy port lotniczy zapewnia 20 tys. euro na pokrycie kosztów operacyjnych pilotażu.

Rysunek 1. Wyniki Call4Startups



Źródło: adr.it/web/airportsforinnovation/our-network

Możliwość uzyskania dofinansowania na rzecz rozwoju nowych technologii i ich wdrożeń w sektorze lotnictwa istnieje również w ramach programów realizowanych na poziomie krajowym. W Wielkiej Brytanii startup Connected Places Catapult od ponad roku organizuje nabory wniosków, których celem jest finansowanie projektów dotyczących różnych sektorów transportu. Jedną z kategorii jest „Mobilność lotnicza i lotnisko”, w ramach której nabory wniosków uruchamiane są często we współpracy z brytyjskim Ministerstwem Transportu (Departament for Transport).

41 Terms and Condition for the Joint Call of Airports for Innovation (A4I), Airports for Innovation 2024, s. 4–7.

Wnioskodawcami mogą być firmy technologiczne oraz startupy. Wybrane w ramach naborów podmioty otrzymają możliwość przetestowania swoich rozwiązań na terenie portu lotniczego w Glasgow, co – w przypadku pozytywnych wyników – może doprowadzić do ich stałego wdrożenia.

Tabela 4. Przykłady naborów i inicjatyw w ramach programu dofinansowań Connected Places Catapult

Nazwa naboru (call)	Ogólny zakres tematyczny
Airside Automated Pavement Inspection ⁴²	Celem projektu prowadzonego w porcie lotniczym w Glasgow jest przetestowanie technologii automatycznej inspekcji nawierzchni airside. Partner technologiczny zamontuje swoje urządzenia na pojazdach operacyjnych lotniska, by zbierać dane dotyczące stanu nawierzchni i generować raporty inspekcyjne. Rozwiązania mają zwiększyć precyzję oceny stanu technicznego, umożliwić prognozowanie trwałości nawierzchni oraz wspierać planowanie remontów w oparciu o dane. Innowacyjność projektu polega na wdrożeniu automatycznej diagnostyki w środowisku lotniskowym, z uwzględnieniem jego specyfiki, geometrii i wysokich wymagań operacyjnych. Projekt oferuje rzeczywiste środowisko testowe, wsparcie operatora portu lotniczego oraz potencjalne wdrożenie rozwiązania. Harmonogram: do 17.01.2025 – zgłoszenia wstępne, 20 – 31.01.2025 – rozmowy z wybranymi firmami, II–III 2025 – wybór partnerów, IV–VI 2025 – pilotaż. Nabór realizowany w ramach Connected Airport Living Lab.
HADeS Competition 2024 (High Assurance Detection Systems) ⁴³	Nabór, którego celem jest rozwój nowoczesnych rozwiązań wspierających bezpieczeństwo w punktach kontroli pasażerskiej w portach lotniczych w Wielkiej Brytanii. Poszukiwane są technologie, które usprawnią procesy wykrywania zagrożeń i rozwiązywania alarmów przy kontroli bagażu podręcznego – zarówno poprzez innowacyjne koncepcje, jak i rozwiązania gotowe do pilotażu. Program koncentruje się na dalszym rozwoju technologii wspierających screening kabinowy, takich jak tomografia komputerowa czy system kontroli rentgenowskiej dualview, a także technik wykorzystujących systemy wykrywania śladów materiałów wybuchowych i systemy wykrywania płynnych materiałów wybuchowych. Nabór był prowadzony w ramach trzech ścieżek uzależnionych od dojrzałości technologicznej (TRL) produktu, procesu czy usługi, w ramach których pomysły z wyższym TRL (6+) mogły zostać objęte odrębnym finansowaniem, pozakonkursowym. Do aplikowania zaproszone były firmy każdej wielkości oraz uczelnie zarejestrowane w UK, a w konsorcjach mogli uczestniczyć partnerzy zagraniczni. Maksymalny czas trwania projektu to 6 miesięcy. W ramach części konkursowej pula środków wyniosła do 500 tys. funtów dla maksymalnie ośmiu organizacji (z maksymalną pulą na jedną organizację – 80 tys. funtów). Harmonogram: 14.11.2024 – 16.12.2024 – nabór wniosków; 27.01.2025 – 6.02.2025 – rozmowy z wybranymi podmiotami; III – VIII 2025 – realizacja projektów. Nabór realizowany we współpracy z Ministerstwem Transportu (Departament for Transport).

42 Call for Expressions of Interest: Airside Automated Pavement Inspection, cp.catapult.org.uk.

43 HADeS Competition 2024, cp.catapult.org.uk.

Glasgow Airport's Living Lab Digital Twin Competition⁴⁴	Nabór prowadzony był we współpracy z portem lotniczym w Glasgow. Celem programu było przyspieszenie wdrażania technologii tzw. cyfrowych bliźniaków w sektorze lotniczym, ze szczególnym uwzględnieniem praktycznego zastosowania ich w operacjach lotniskowych. Konkurs miał charakter demonstracyjny – uczestnicy prezentowali gotowe lub niemal gotowe rozwiązania (TRL 5+) odpowiadające na konkretne wyzwania portu lotniczego w Glasgow. Program obejmował trzy obszary tematyczne: zarządzanie cyklem życia infrastruktury lotniskowej (np. wymiana nawierzchni, monitoring pojazdów, odporność na zmiany klimatu), zarządzanie ruchem pasażerskim w warunkach ograniczonej przestrzeni oraz efektywne zarządzanie energią, w tym z uwzględnieniem przyszłego ruchu eVTOL. W I fazie wybrane firmy mogły zaprezentować swoje rozwiązania w porcie lotniczym w Glasgow i otrzymać do 3 tys. funtów na przygotowanie demonstracji. Najlepsza koncepcja zakwalifikowała się do II fazy – wdrożenia rozwiązania z grantem do 70 tys. funtów. Konkurs był przeznaczony dla firm zarejestrowanych w Wielkiej Brytanii. Harmonogram: 8.02.2024 – 7.03.2024 – nabór wniosków; III 2024 – rozmowy kwalifikacyjne; IV 2024 – I faza demonstracje.
---	--

Źródło: zestawienie własne Zespołu Doradców Gospodarczych TOR Sp. z o.o.

W ślad za europejskimi programami wspierającymi innowacje w transporcie, takimi jak Horyzont Europa czy brytyjskie inicjatywy krajowe, podobne działania prowadzone są także w Stanach Zjednoczonych. Wiele programów wsparcia finansowego na rzecz transportu, również lotniczego, działa na podstawie ustawy federalnej Infrastructure Investment and Jobs Act (IIJA), uchwalonej w 2021 r.

Jednym z kluczowych instrumentów w tym obszarze jest program Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation Grant Program (SMART), wspierający wdrażanie zaawansowanych technologii w mobilności miejskiej i regionalnej. Inicjatywa ta zapewniła roczne finansowanie w wysokości 100 mln dolarów na lata 2022–2026.

Program SMART to inicjatywa skoncentrowana na praktycznym zastosowaniu innowacji, a nie na prowadzeniu badań podstawowych. Wspierane projekty muszą prezentować konkretne korzyści w zakresie bezpieczeństwa i efektywności transportu, wyraźnie przewyższające dotychczasowe rozwiązania. Finansowane są zarówno nowe zastosowania istniejących technologii, jak i integracja sprawdzonych rozwiązań w nowatorski sposób. Szczególny nacisk położono na dostosowanie technologii do lokalnych potrzeb, budowanie trwałych partnerstw międzysektorowych oraz rozwijanie kompetencji administracji publicznej w zakresie danych i technologii. Wnioski z realizacji projektów pilotażowych mają służyć całemu sektorowi transportowemu poprzez dokumentowanie barier, wyzwań i najlepszych praktyk. Program skierowany jest do podmiotów sektora publicznego, takich jak władze stanowe, samorządy, agencje transportu publicznego, władze zarządzające drogami płatnymi, organizacje planowania metropolitalnego oraz konsorcja tych podmiotów.

SMART ma dwuetapową strukturę:

- Etap 1 oferował granty do 2 mln dolarów na projekty trwające maksymalnie 18 miesięcy;
- Etap 2 umożliwia uzyskanie nawet 15 mln dolarów na rozwój i wdrożenie projektów w ciągu 36

⁴⁴ Glasgow Airport's Living Lab Digital Twin Competition, cp.catapult.org.uk.

miesiący, przy czym aplikować mogą wyłącznie podmioty, które uzyskały wcześniej grant w ramach Etapu 1 lub zostały przez nie wyznaczone.

Etap I programu SMART obejmuje planowanie i prototypowanie, co pozwala na dokładną ocenę potencjału rozwiązań przed ich pełnym wdrożeniem na Etapie II. W grudniu 2024 r. Departament Transportu USA ogłosił wyniki trzeciej i ostatniej rundy SMART Etap 1 – przyznano 54 mln dolarów dla 34 projektów w 21 stanach. Jednocześnie przyznano 85 mln dolarów dla ośmiu projektów w ramach pierwszych grantów Etapu 2⁴⁵.

Nabory do Etapu 1 zostały już zakończone, a ostatnie konkursy Etapu 2 zaplanowano na lata 2025 i 2026. Program SMART stanowi kluczowe narzędzie testowania i skalowania innowacji takich jak cyfrowe bliźniaki, inteligentne systemy zarządzania ruchem czy nowatorskie modele zarządzania energią w transporcie.

Rysunek 2. Projekty w ramach amerykańskiego programu SMART w latach 2022–2024 w podziale na typy (stage 1)

Projekty wg typów w ramach programu SMART w latach 2022-2024 (Etap 1 programu)						
Typ projektu	Liczba projektów					
Pojazdy połączone	14					
Zarządzanie strefą podjazdową	10					
Automatyzacja transportu kolejowego i transportu publicznego	6					
Inteligentne czujniki transportowe	24					
Inteligentne systemy zarządzania ruchem	26					
Inteligentna sieć energetyczna	5					
Innowacje w transporcie	22					
Bezzałogowe systemy powietrzne	15					
Bezpieczeństwo pracowników	5					

Źródło: <https://www.transportation.gov/grants/smart/smart-awarded-projects>

Innym przykładem programu – instrumentu finansującego rozwój portów lotniczych w Stanach Zjednoczonych jest Airport Improvement Program (AIP), prowadzony przez Federalną Admini-

⁴⁵ Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation (SMART), transportation.gov, 9 maja 2025 r.

strację Lotnictwa (FAA). Jego głównym celem jest wspieranie przedsięwzięć, które poprawiają bezpieczeństwo, pojemność, kompatybilność z otoczeniem oraz ochronę środowiska w obrębie lokalizacji ujętych w Krajowym Planie Zintegrowanego Systemu Portów Lotniczych (National Plan of Integrated Airport Systems). Finansowaniem mogą zostać objęte zarówno publicznie porty lotnicze, jak i prywatnie zarządzane, o ile są udostępnione do użytku publicznego i spełniają określone kryteria – na przykład posiadają status lotniska zastępczego (reliever) lub obsługują co najmniej 2,5 tys. lotów rocznie. Granty AIP są przyznawane tzw. sponsorom – podmiotom publicznym lub prywatnym – które muszą wykazać zdolność do realizacji projektów zgodnie z wymaganiami FAA, w tym spełniania obowiązków związanych z utrzymaniem lotniska w stanie zdatnym do użytku, zapewniania dostępności infrastruktury oraz właściwego zarządzania środkami publicznymi.

Zakres finansowania obejmuje przede wszystkim inwestycje infrastrukturalne w obrębie lotnisk – od budowy i modernizacji pasów startowych, dróg kołowania i płyt postojowych, przez oświetlenie i oznakowanie nawigacyjne, aż po systemy odwodnienia, stacje meteorologiczne i nabywanie gruntów. Projekty muszą być uzasadnione istniejącym lub prognozowanym popytem w zakresie lotnictwa cywilnego oraz spełniać wymogi federalne w obszarze środowiska i zamówień publicznych.

Istotnym elementem programu AIP jest także wspieranie innowacji i długofalowego rozwoju portów lotniczych, co znajduje odzwierciedlenie w możliwości finansowania projektów, które wdrażają nowe technologie lub poprawiają efektywność energetyczną i środowiskową. FAA zachęca do realizacji inwestycji opartych na nowoczesnych rozwiązaniach, takich jak inteligentne systemy zarządzania ruchem naziemnym, infrastruktura do obsługi samolotów napędzanych paliwami alternatywnymi czy cyfrowe systemy komunikacji i monitorowania. Wsparcie dla projektów zorientowanych na innowacje sprzyja nie tylko poprawie jakości obsługi pasażerów i zwiększeniu przepustowości, ale również przyczynia się do budowania bardziej odpornych, zrównoważonych i konkurencyjnych portów lotniczych.

Wysokość dofinansowania zależy od kategorii lotniska – duże i średnie lotniska mogą sfinansować do 75% kosztów kwalifikowalnych (a nawet 80% w przypadku projektów związanych z programem redukcji hałasu), natomiast mniejsze czy lotniska zastępcze od 90% do 95%. Minimalna wartość projektu to 25 tys. dolarów.

Z uwagi na ograniczoną pulę środków, decyzje o przyznaniu wsparcia podejmowane są na podstawie krajowych priorytetów i celów. Najpierw fundusze są rozdzielane na główne kategorie (wg amerykańskich definicji kategorii portów lotniczych): porty lotnicze podstawowe (primary airport), cargo, ogólne (general airport)⁴⁶. Pozostałe środki tworzą fundusz uznaniowy, który w pierwszej kolejności finansuje projekty dotyczące hałasu lotniskowego i programu lotnictwa wojskowego. Program AIP ma długą historię – jego początki sięgają 1946 r., kiedy to wprowadzono pierwszy program dotacji federalnych na rzecz rozwoju portów lotniczych. Obecna formuła została ustanowiona w 1982 r. na mocy Airport and Airway Improvement Act i od tego czasu stanowi fundament systemowego wsparcia dla rozwoju portów lotniczych w USA, finansowanego z dedykowanego funduszu celowego, zasilanego m.in. z opłat od pasażerów⁴⁷ i podatków od paliwa lotniczego. W perspektywie kolejnych dekad program ten ma nie tylko wspierać utrzymanie i moderniza-

cję istniejącej infrastruktury, lecz także tworzyć warunki dla wdrażania nowoczesnych rozwiązań technologicznych, które odpowiadają na wyzwania mobilności powietrznej XXI w.⁴⁸

Ponadto, w USA funkcjonują inne programy wspierające rozwój portów lotniczych na terenie kraju, które również działają na podstawie ustawy federalnej IIJA, takiej jak Airport Terminal Program (ATP) czy Airport Cooperative Research Program (ACRP).

Pierwszy z nich przewiduje łączne wsparcie w wysokości 5 mld dolarów na przestrzeni pięciu lat (2022–2026), przy czym każdego roku do rozdysponowania pozostaje miliard dolarów. Głównym celem ATP jest modernizacja przestarzałej infrastruktury terminalowej w amerykańskich portach lotniczych, poprawa jakości obsługi pasażerów oraz dostosowanie obiektów do wyzwań związanych ze zrównoważonym rozwojem i integracją transportu.

Dofinansowanie w ramach ATP obejmuje szeroki zakres działań: od budowy nowych terminali pasażerskich, poprzez przebudowę istniejących obiektów, aż po instalację infrastruktury wspierającej zarządzanie ruchem (np. wieże kontroli lotów należące do portów lotniczych). W programie promowane są również projekty zwiększające dostępność infrastruktury dla osób z niepełnosprawnościami, inicjatywy na rzecz efektywności energetycznej i neutralności klimatycznej, a także rozwiązania ułatwiające integrację z innymi środkami transportu, takimi jak kolej czy komunikacja autobusowa.

ATP ma na celu nie tylko unowocześnienie fizycznej infrastruktury, ale też poprawę szeroko rozumianego doświadczenia podróżnych, w tym bezpieczeństwa, wygody i sprawności obsługi. O granty mogą ubiegać się jednostki samorządu terytorialnego, władze portów lotniczych, agencje rządowe, podmioty prywatne oraz plemiona indiańskie zarządzające portami lotniczymi wpisanymi do krajowego planu infrastrukturalnego, a także zarządzający taką infrastrukturą na wyspie Midway, Wyspach Marshalla, Mikronezji oraz Republiki Palau⁴⁹.

Z kolei ACRP to branżowy program badawczy, którego celem jest dostarczanie praktycznych i łatwych do wdrożenia rozwiązań problemów, z którymi mierzą się zarządzający portami lotniczymi. W odróżnieniu od typowych projektów badawczych finansowanych przez administrację federalną, ACRP skupia się wyłącznie na kwestiach specyficznych dla portów lotniczych, takich jak zarządzanie, planowanie, bezpieczeństwo, logistyka operacyjna, infrastruktura, zasoby ludzkie czy ochrona środowiska. Każdego roku program finansuje ponad 20 projektów badawczych, a od momentu uruchomienia doprowadził do powstania ponad 400 raportów, narzędzi i podręczników dostępnych nieodpłatnie dla praktyków branży lotniczej⁵⁰.

Funkcjonowanie ACRP opiera się na modelu partycypacyjnym. Pomysły na tematy badawcze zgłaszane są przez praktyków z branży – przedstawicieli portów lotniczych, samorządów, dostawców technologii i instytucji badawczych – a ostateczny wybór projektów dokonuje komitet nadzorujący ACRP. To on definiuje roczny budżet, ustala priorytety badawcze oraz powołuje zespoły projektowe, które opracowują szczegółowe zapytania ofertowe – Request for Proposal, wybierają wykonawców oraz nadzorują realizację badań. Projekty realizowane w ramach ACRP cechują się

48 Airport Improvement Program (AIP), faa.gov, 28 kwietnia 2025 r.

49 Airport Terminal Program, transportation.gov, 6 maja 2025 r.

50 Airport Cooperative Research Program (ACRP), faa.gov, 28 grudnia 2025 r.

wysokim poziomem transparentności, praktyczną użytecznością oraz dbałością o jakość metodologiczną i zastosowanie wyników w praktyce lotniskowej⁵¹.

Modernizacja infrastruktury lotniskowej oraz inwestycje w innowacje są również przedmiotem programów grantowych w Azji – stanowią one odpowiedź na dynamiczny wzrost ruchu lotniczego i rosnącą potrzebę zwiększenia efektywności operacyjnej. Wyraźnie rysuje się tu podział: w krajach o niższym poziomie rozwoju fundusze koncentrują się przede wszystkim na dostosowywaniu infrastruktury do podstawowych potrzeb operacyjnych, podczas gdy w państwach wysoko rozwiniętych programy wsparcia skupiają się głównie na rozwoju nowoczesnych technologii i rozwiązań przyszłości.

Przykładem programu finansującego rozwój nowych technologii jest Aviation Development Fund w Singapurze (ADF). Mimo ograniczonego terytorium od lat kraj ten konsekwentnie rozwija swój sektor lotniczy jako kluczowy filar gospodarki. Program został uruchomiony w 2010 r. przez Singapurski Urząd Lotnictwa Cywilnego (Civil Aviation Authority of Singapore, CAAS).

Fundusz został zaplanowany jako długofalowy program wzmacniający konkurencyjność i odporność krajowego sektora lotniczego. Początkowo jego budżet wynosił 100 mln dolarów singapurskich (ok. 300 mln zł), a obecnie jest to 280 mln (ponad 800 mln zł), z okresem obowiązywania przedłużonym do marca 2025 r. ADF stanowi integralną część Air Transport Industry Transformation Map (ITM) – strategicznego planu rozwoju transportu lotniczego, mającego na celu wykorzystanie przewidywanego wzrostu ruchu pasażerskiego oraz rozwiązywanie wyzwań związanych z ograniczeniami kadrowymi.

ADF koncentruje się na trzech kluczowych obszarach:

- zwiększaniu produktywności operacyjnej portów lotniczych w celu zapewnienia długoterminowej wystarczalności kadrowej;
- wspieraniu innowacji technologicznych i tworzeniu nowych kompetencji w sektorze;
- rozwoju wysoko wykwalifikowanych kadr dla branży lotniczej.

Od momentu uruchomienia fundusz wsparł ponad 200 projektów realizowanych przez ponad 80 organizacji⁵². Wśród najciekawszych inicjatyw zrealizowanych w singapurskim porcie lotniczym Changi warto wymienić m.in.:

- zautomatyzowaną linię montażu tac cateringowych, która dzięki wykorzystaniu ramion robótacyjnych ograniczyła zapotrzebowanie na pracowników o połowę i zwiększyła wydajność o 50%;
- system monitoringu operacji cargo, który przyspieszył dochodzenia w sprawie błędów operacyjnych o ponad 60%⁵³;
- samodzielne kioski check-in, które zmniejszyły czas oczekiwania pasażerów i ograniczyły potrzebę angażowania agentów naziemnych⁵⁴;
- usługi wczesnej odprawy zapewniają pasażerom elastyczność odprawy – do 24 godzin – przed odlotem samolotu⁵⁵.

W szerszym kontekście ADF stanowi element wieloletnich planów rozwoju infrastruktury Singa-

puru. Tylko w latach 2025–2030 CAAS zainwestuje dodatkowe 3 mld dolarów singapurskich w porcie lotniczym Changi. Celem będzie zwiększenie przepustowości, poprawa efektywności operacyjnej oraz przygotowanie portu lotniczego na obsługę nowej generacji samolotów i oczekiwań pasażerów. Singapurski port lotniczy ogłosił szeroki program inwestycji infrastrukturalnych, które będą realizowane w ciągu najbliższych kilku lat.

W planach znajduje się m.in. modernizacja systemu SkyTrain – wymienione zostaną kluczowe podsystemy, takie jak sterowanie ruchem i łączność, a także wprowadzone nowe wagony. Przebudowie ulegnie również system obsługi bagażu w Terminalu 3, w tym podsystem wczesnego składowania, którego pojemność wzrośnie o 65%. Dodatkowo powstanie nowy naziemny system transportu bagażu pomiędzy Terminalami 1 i 3, który odciąży istniejącą infrastrukturę podziemną. W Terminalu 4 zaplanowano budowę nowej linii odpraw, wyposażonej w urządzenia samoobsługowe. Zwiększy to wydajność o około 15% i pozwoli na obsługę do 2,5 tys. pasażerów na godzinę. Terminal 1 zyska powiększone hale imigracyjne dla przylotów – ich powierzchnia zwiększy się o niemal 60%, co usprawni kontrolę graniczną w godzinach szczytu. W odpowiedzi na planowane wprowadzenie do eksploatacji samolotów Boeing 777-9, część dróg kołowania i stanowisk postojowych zostanie wzmocniona. Docelowo 39 stanowisk będzie przystosowanych do obsługi tych maszyn. Port lotniczy Changi planuje także budowę dodatkowych, zdalnych stanowisk postojowych dla samolotów pasażerskich i towarowych, a także inteligentnych systemów wspierających ich obsługę. W dłuższej perspektywie – do 2030 r. – przewidziano również kompleksową modernizację Terminalu 3, który zostanie zrewitalizowany po ponad dwóch dekadach eksploatacji. Inwestycje te mają nie tylko poprawić komfort pasażerów, lecz także utrzymać pozycję Changi jako lidera innowacji wśród portów lotniczych⁵⁶.

Kolejnym przykładem rządowego finansowego programu wsparcia rozwoju portów lotniczych jest Ude Desh Ka Aam Naagrik (UDAN). Uruchomiony w 2016 r. przez rząd Indii program, tłumacząc z języka hindi oznacza „Pozwólmy zwykłym obywatelom kraju latać”. Program UDAN jest otwarty dla różnych podmiotów, w tym linii lotniczych, operatorów oraz rządów stanowych. Dotychczas zakładał z jednej strony modernizację istniejących już portów lotniczych, a z drugiej – proces tworzenia nowych, co miało zwiększyć zarówno dostępność dla ludności Indii, ale również pozytywnie wpłynąć na rozwój turystyki⁵⁷. W 2025 r. program został przedłużony o kolejne 10 lat, z planem dodania 120 nowych destynacji i obsłużenia dodatkowych 40 milionów pasażerów w ciągu następnej dekady⁵⁸. Obecnie, po 9 latach funkcjonowania program ewoluuje. Wnioskodawcy poza m.in. wsparciem finansowym w ramach mechanizmu Viability Gap Funding (VGF), który ma na celu pokrycie różnicy między kosztami operacyjnymi a przychodami na mniej rentownych trasach, mogą również liczyć na rozwoju nowych technologii czy cyfryzacji usług lotniczych. Przykładami inwestycji w tym zakresie mogą być: nowoczesne laboratorium w New Delhi, którego celem jest zwiększenie skuteczności analiz incydentów lotniczych i poprawa bezpieczeństwa w portach lotniczych, a także inicjatywa Digi Yatra, która ma na celu ułatwienie podróży lotniczych poprzez technologię rozpoznawania twarzy do identyfikacji pasażerów w kluczowych punktach kontrolnych, jak np. wejście czy bramka pokładowa⁵⁹.

51 Airport Cooperate Research Program (ACRP), trb.org.

52 Aviation Development Fund, caas.gov.sg

53 About iCargoNet, cargo.dnata.sg.

54 Fast and Seamless Travel (FAST), changiairport.com.

55 Check-in at Jewel's early check-in lounge or via mobile check-in, changiairport.com.

56 Changi Airport to Invest S\$3 Billion over Next Six Years to Strengthen Singapore's Position as a Global Air Hub, caas.gov.sg, 7listopada 2024 r.

57 Ude Desh ka Aam Naagrik Journey from Hawaii Chapal to Hawaii Jahaj, civilaviation.gov.in.; Ude Desh ka Aam Naagrik | 8 Years of UDAN, Ministry of Civil Aviation, youtube.com, 23 października 2024 r.

58 UDAN scheme to add 120 new destinations in next 10 years, hindustantimes.com, 2 lutego 2025 r.

59 India's Aviation Revolution, pibgov.in, 22 kwietnia 2025 r.

4.3 Nowoczesne technologie, innowacje i projekty rozwojowe – przykłady wdrożeń i realizowanych projektów

W niniejszym podrozdziale zaprezentowano wybrane przykłady projektów realizowanych w portach lotniczych na całym świecie – zarówno tych związanych z rozbudową i modernizacją infrastruktury, jak i wdrażaniem nowoczesnych technologii wpisujących się w koncepcję smart airport. Przedstawione inicjatywy są ściśle powiązane z programami omówionymi w poprzednim rozdziale – w tym europejskimi funduszami badawczo-innowacyjnymi, krajowymi programami rozwoju infrastruktury oraz działaniami na rzecz dekarbonizacji i cyfryzacji sektora lotniczego.

Z uwagi na ogromną skalę niektórych programów – zwłaszcza tych ogólnokrajowych, które przyznały setki dotacji – w tabeli nie uwzględniono wszystkich projektów. Dobór przykładów ma charakter przekrojowy i służy zaprezentowaniu różnorodności przedsięwzięć realizowanych w ramach danego programu. Zakres liczby projektów przypisanych do poszczególnych instrumentów wsparcia wynika także z poziomu transparentności i dostępności danych o finansowaniu oraz beneficjentach.

Tabela 5. Przykłady projektów realizowanych w portach lotniczych w ramach krajowych i międzynarodowych programów wsparcia

Port lotniczy	Nazwa projektu	Nazwa programu	Zakres projektu
Port lotniczy Amsterdam - Schiphol	DemosTrating lower pollUting soLutions for sustaInable airPorts acrosS Europe (TULIPS) ⁶⁰	Horyzont Europa 2020	zeroemisyjne porty lotnicze zielone technologie technologie wodorowe
Port lotniczy w Rotterdamie			
Port lotniczy Eindhoven			
Aéroports de Paris	hOListic & Green Airports (OLGA) ⁶¹	Horyzont Europa 2020	dekarbonizacja lotnictwa i portów lotniczych SAF
Port lotniczy Kluż-Napoka			
Brussels Airport Company	SusTainable AiRports, the Green heArT of Europe (STARGATE) ⁶²	Horyzont Europa 2020	Digital twin SAF Autonomiczne, elektryczne pojazdy
Port lotniczy Ateny			
Port lotniczy Budapeszt			
Port lotniczy Tuluza-Blagnac			
Port lotniczy Hamburg	Personalised Airport Systems for Seamless Mobility and Experience (PASS-ME) ⁶³	Horyzont Europa 2020	Passenger experience Optymalizacja czasu obsługi pasażerów
Royal Schiphol Group ⁶⁴			

60 DemosTrating lower pollUting soLutions for sustaInable airPorts acrosS Europe, cordis.europa.eu, 14 listopada 2024 r.; TULIPS, tulips-greenairport.eu.

61 hOListic & Green Airports, cordis.europa.eu, 18 listopada 2024 r.; OLGA, olga-project.eu.

62 SusTainable AiRports, the Green heArT of Europe, cordis.europa.eu, 17 marca 2025 r.; STARGATE, greendealstargate.eu.

63 Personalised Airport Systems for Seamless Mobility and Experience, cordis.europa.eu, 3 października 2023 r.

64 Royal Schiphol Group jest właścicielem i operatorem portów lotniczych: Amsterdam – Schiphol, w Rotterdamie, w Hadze oraz Lelystad.

Port lotniczy Kopenhaga-Kastrup	Copenhagen Airport: a Lighthouse for the introduction of sustainable aviation solutions for the future (ALIGHT) ⁶⁵	Horyzont Europa 2020	SAF Odnawialne źródła energii
Aeroporti do Roma S.p.A. ⁶⁶			
Centralny Port Komunikacyjny			
Brussels Airport Company	Multimodal Access for Intelligent Airports (MAIA) ⁶⁷	Horyzont Europa 2021–2027	Innowacje w zakresie mobilności Współdzielona mobilność Autonomiczne pojazdy
Aéroports de Paris	Airport-Level DemonstRatIon of Ground refuelling of Liquid Hydrogen for AviaTion (ALRIGH2T) ⁶⁸	Horyzont Europa 2021–2027	LH2 system tankowania
Port lotniczy Amsterdam - Schiphol	Ground Operations of Lliquid hydrogen Aircraft (GOLIAT) ⁶⁹	Horyzont Europa 2021–2027	LH2 system tankowania Infrastruktura wodorowa
Port lotniczy Stuttgart			
Port lotniczy w Rotterdamie			
Port lotniczy Budapeszt			
Aéroports de Paris	Future dAta Services and applicaTions for airports and Network (FASTNet) ⁷⁰	Horyzont Europa 2021–2027	Optymalizacja zarządzania ruchem lotniczym Uczenie maszynowe
Port lotniczy Ateny			
Port lotniczy Amsterdam - Schiphol			
Port lotniczy Kopenhaga-Kastrup			
Brussels Airport Company	Auto-Steer Taxi at AIRport (ASTAIR) ⁷¹	Horyzont Europa 2021–2027	Automatyzacja operacji naziemnych
Aéroports de Paris			
Port lotniczy w Rotterdamie			
Royal Schiphol Group	Advanced systems and soLutions for Better practices Against hazaRds in the aviatiOn System (AL-BATROS) ⁷²	Horyzont Europa 2021–2027	Bezpieczeństwo i odporność Zarządzanie kryzysowe Przewidywanie zagrożeń pogodowych
Port lotniczy Ateny			
ANA Aeroportos de Portugal ⁷³			
Aéroports de Paris	TRansformation of AViation and rAirway soLutions toWards Integration and SynergiEs (Travel Wise) ⁷⁴	Horyzont Europa 2021–2027	Multimodalność Integracja transport Obsługa pasażerów
Port lotniczy Ateny			
Port lotniczy Bolonia			
Brussels Airport Company			
Royal Schiphol Group			

65 Copenhagen Airport: a Lighthouse for the introduction of sustainable aviation solutions for the future, cordis.europa.eu, 24 lutego 2025 r.

66 Aeroporti do Roma S.p.A. to włoski operator portu lotniczego Rzym-Fiumicino oraz portu lotniczego Rzym-Ciampino.

67 Multimodal Access for Intelligent Airports, cordis.europa.eu, 13 lipca 2023 r.

68 Airport-Level DemonstRatIon of Ground refuelling of Liquid Hydrogen for AviaTion, cordis.europa.eu, 8 stycznia 2024 r.

69 Ground Operations of Lliquid hydrogen Aircraft, cordis.europa.eu, 19 kwietnia 2024 r.

70 Future dAta Services and applicaTions for airports and Network, cordis.europa.eu, 25 lipca 2023 r.

71 Auto-Steer Taxi at AIRport, cordis.europa.eu, 2 maja 2025 r.

72 Advanced systems and soLutions for Better practices Against hazaRds in the aviatiOn System, cordis.europa.eu, 15 września 2022 r.

73 ANA Aeroportos de Portugal to operator lotniczy w Portugalii. Zarządza m.in. największym portugalskim portem lotniczym w Lizbonie.

74 TRansformation of AViation and rAirway soLutions toWards Integration and SynergiEs, cordis.europa.eu, 3 października 2024 r.

Aéroports de Paris	Predictable and Environmentally friendly operations of regional Airports with COnnectivity and Climate as Keyword (PEACOCK) ⁷⁵	Connecting Europe Facility	Optymalizacja i ulepszenie procesu lądowania/startu pod kątem zanieczyszczeń i poziomu hałasu
Port lotniczy Wrocław			
Port lotniczy Gdańsk			
Port lotniczy Eindhoven			
Brussels Airport Company			
Port lotniczy Szczecin-Goleniów	Implementation of the CAT II ground navigation lighting system at Szczecin-Goleniów Airport with accompanying infrastructure ⁷⁶	Connecting Europe Facility	Ulepszenie systemu nawigacji pod kątem ograniczonej widoczności
Polskie Porty Lotnicze S.A.	Warsaw Chopin Airport - Investments in dual-use infrastructure to ensure base Service Operations 24/7 ⁷⁷	Connecting Europe Facility	Zwiększenie poziomu bezpieczeństwa operacji lotniczych
Port lotniczy Wrocław	Increasing the operational capabilities of the airport's air side for military operations at Wrocław Airport ⁷⁸	Connecting Europe Facility	Rozbudowa infrastruktury dla zwiększenia operacyjności
Port lotniczy Wiedeń-Schwechat	5G connectivity for Vienna Airport ⁷⁹	Connecting Europe Facility	5G
Port lotniczy Budapeszt	Net Zero Airport ⁸⁰	Connecting Europe Facility	Dekarbonizacja portu lotniczego Infrastruktura lądowania
SOF Connect AD⁸¹	Electrification of Sofia Airport Ground Operations ⁸²	Connecting Europe Facility	Dekarbonizacja portu lotniczego
Port lotniczy Montpellier	Electrification of ground operations at Montpellier Mediterranee Airport ⁸³	Connecting Europe Facility	Dekarbonizacja portu lotniczego Infrastruktura lądowania Zeroemisyjność
Port lotniczy Lyon-Saint-Exupéry	Aircraft Stand Electrification at Lyon Saint-Exupéry Airport ⁸⁴	Connecting Europe Facility	Dekarbonizacja portu lotniczego Infrastruktura lądowania Zeroemisyjność

⁷⁵ Predictable and Environmentally friendly operations of regional Airports with COnnectivity and Climate as Keyword, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.

⁷⁶ Implementation of the CAT II ground navigation lighting system at Szczecin-Goleniów Airport with accompanying infrastructure, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.

⁷⁷ Warsaw Chopin Airport – Investments in dual-use infrastructure to ensure base Service Operations 24/7, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.

⁷⁸ Increasing the operational capabilities of the airport's air side for military operations at Wrocław Airport, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.

⁷⁹ 5G connectivity for Vienna Airport, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.

⁸⁰ Net Zero Airport, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.

⁸¹ SOF Connect AD to operator portu lotniczego w Sofii.

⁸² Electrification of Sofia Airport Ground Operations, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.

⁸³ Electrification of ground operations at Montpellier Mediterranee Airport, ec.europa.eu, 5 maja 2025 r.

⁸⁴ Aircraft Stand Electrification at Lyon Saint-Exupéry Airport, ec.europa.eu, 6 maja 2025 r.

Port lotniczy Rzeszów-Jasionka	Poprawa bezpieczeństwa operacyjnego w Porcie Lotniczym „Rzeszów – Jasionka” Sp. z o.o. poprzez modernizację centralnego Punktu Kontroli Bezpieczeństwa ⁸⁵	Program Fundusze Europejskie na Infrastrukturę, Klimat, Środowisko 2021–2027	Poprawa bezpieczeństwa
Port lotniczy Poznań-Ławica	Zwiększenie możliwości w zakresie kontroli bezpieczeństwa Portu Lotniczego Poznań-Ławica ⁸⁶	Program Fundusze Europejskie na Infrastrukturę, Klimat, Środowisko 2021–2027	Poprawa bezpieczeństwa
Port lotniczy Szczecin-Goleniów	Rozbudowa systemu CCTV w Porcie Lotniczym Szczecin-Goleniów ⁸⁷	Program Fundusze Europejskie na Infrastrukturę, Klimat, Środowisko 2021–2027	Poprawa bezpieczeństwa
Port lotniczy Szczecin-Goleniów	Rozbudowa systemu kontroli bezpieczeństwa w Porcie Lotniczym Szczecin-Goleniów ⁸⁸	Program Fundusze Europejskie na Infrastrukturę, Klimat, Środowisko 2021–2027	Poprawa bezpieczeństwa
Port lotniczy Hamburg	BSR Hydrogen Air Transport – Preparation of Baltic Sea Region Airports for Green Hydrogen (BSR HyAirport) ⁸⁹	Interreg Baltic Sea Region Programme 2021–2027	GH2 system tankowania Infrastruktura wodorowa
Port lotniczy Poznań-Ławica			
Lithuanian Airports⁹⁰			
Port lotniczy Ryga			
Port lotniczy Tallinn			
Finavia⁹¹			
Port lotniczy Växjö-Smaland			
Port lotniczy Sylt			
Port lotniczy Lubeka			
Port lotniczy Glasgow	AI-powered digital assistant ⁹²	Connected Airport Living Lab	AI Passenger Experience
Hrabstwo Dutchess⁹³	Autonomous HighDefinition Aircraft Video Tracking & Data Collection System ⁹⁴	Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation Grant Program 2024 (SMART)	AI Autonomiczne systemy nagrywania

⁸⁵ Lista ocenionych projektów w ramach naboru – Działanie FENX.04.03 Infrastruktura lotnicza w TEN-T, cupt.gov.pl.

⁸⁶ Lista ocenionych projektów w ramach naboru – Działanie FENX.04.03..., op. cit.

⁸⁷ Tamże.

⁸⁸ Tamże.

⁸⁹ BSR Hydrogen Air Transport – Preparation of Baltic Sea Region Airports for Green Hydrogen, interreg-baltic.eu.

⁹⁰ Lithuanian Airport to spółka akcyjna, która zarządza portami lotniczymi w Wilnie, Kownie i Połdże.

⁹¹ Finavia to państwowa spółka akcyjna, która zarządza 20 portami lotniczymi w Finlandii.

⁹² H. Miles, Glasgow Airport launches new AI-powered digital assistant, internationalairportreview.com, 16 grudnia 2024 r.

⁹³ Hrabstwo Dutchess jest właścicielem regionalnego portu lotniczego Hudson Valley.

⁹⁴ Lista przyznanych grantów w ramach Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation (SMART) Grants Program 2024 (Stage 1), transportation.gov, s. 7.

Departament Transportu stanu Massachusetts	Planning a Smart Micro-grid that Generates and Distributes Reliable Power at Cape Cod Gateway Airport to Reduce Emissions and Increase Energy Independence While Supporting the Disadvantaged Community ⁹⁵	Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation Grant Program 2022 (SMART)	Redukcja emisji Inteligentna sieć zasilania
Port lotniczy Los Angeles⁹⁶	-	Airport Improvement Program	Infrastruktura niskoemisyjna Redukcja hałasu
Port lotniczy Panama City⁹⁷	-	Airport Improvement Program	Rozbudowa terminalu Budowa nowego portu lotniczego
Port lotniczy Saint Louis-Lambert⁹⁸	-	Airport Improvement Program	Infrastruktura zeroemisyjna
Port lotniczy Toledo-Express⁹⁹	-		
Port lotniczy Houson-Ellington¹⁰⁰	-		
Port lotniczy Houston-George Bush¹⁰¹	-		
Port lotniczy Salt Lake City¹⁰²	-		
Port lotniczy Denver¹⁰³	-	Airport Terminal Program	System obsługi bagażu
Port lotniczy Guam¹⁰⁴	-	Airport Terminal Program	System odnawialnych źródeł energii
Port lotniczy Nowy Orlean-Louis Armstrong¹⁰⁵	-	Airport Terminal Program	Budowa drogi dla autobusów wahadłowych Multimodalność
Port lotniczy Gallatin Field (Bozeman Yellowstone)¹⁰⁶	-	Airport Terminal Program	Przebudowa terminala w celu zwiększenia przepustowości oraz efektywności energetycznej
Port lotniczy Koror (Palau)¹⁰⁷	-	Airport Terminal Program	Modernizacja oświetlenia terminalu oraz infrastruktury elektrycznej

⁹⁵ Lista przyznanych grantów w ramach Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation (SMART) Grants Program 2022 (Stage 1), transportation.gov, s. 6.

⁹⁶ Lista przyznanych grantów w ramach Improvement Program (AIP) Grants (6 września 2024), faa.gov, s. 2.

⁹⁷ Tamże, s. 3.

⁹⁸ Tamże, s. 6.

⁹⁹ Tamże, s. 8.

¹⁰⁰ Tamże, s. 9.

¹⁰¹ Tamże, s. 9.

¹⁰² Lista przyznanych grantów w ramach Improvement..., s. 9.

¹⁰³ Lista przyznanych grantów w ramach Airport Terminal Program 2025, faa.gov., s. 3.

¹⁰⁴ Tamże, s. 5.

¹⁰⁵ Lista przyznanych grantów w ramach Airport Terminal..., op. cit., s. 7.

¹⁰⁶ Lista przyznanych grantów w ramach Airport Terminal..., op. cit., s. 9.

¹⁰⁷ Tamże, s. 12.

Port lotniczy Houston-George Bush¹⁰⁸	-	Airport Terminal Program	Przebudowa systemu People Mover Skyway ¹⁰⁹ Poprawa dostępności dla osób z niepełnosprawnościami
Port lotniczy w Rzymie¹¹⁰	airPort sustainability secONd lifE battEry storage (PIONEER)	Innovation Fund	Zeroemisyjność Magazyny energii
Port lotniczy Kolhapur¹¹¹	-	Ude Desh Ka Aam Naagrik	Budowa nowego terminalu
Port lotniczy Utkela¹¹²	-	Ude Desh Ka Aam Naagrik	Utworzenie nowego krajowego portu lotniczego

Źródło: Opracowanie własne Zespołu Doradców Gospodarczych TOR Sp. z o.o.

¹⁰⁸ Tamże, s. 14.

¹⁰⁹ Skyway to naziemny system transportu między terminalami w porcie lotniczym Houston-George Bush.

¹¹⁰ airPort sustainability secONd lifE battEry storage, ec.europa.eu, 3 maja 2025 r.

¹¹¹ Kolhapur Airport to get new terminal building with enhanced capacity and world-class facilities, pib.gov.in, 18 sierpnia 2022 r.

¹¹² Shri Jyotiraditya M Scindia inaugurates Utkela Airport, and direct flight between Utkela and Bhubaneshwar, pib.gov.in, 31 sierpnia 2023 r.



Technologie i rozwiązania przyszłości

5. Technologie i rozwiązania przyszłości

5.1 Ekologia, dekarbonizacja oraz odporność na zmiany klimatu

Sektor lotniczy odpowiada stosunkowo za niewielką część globalnej emisji, jednakże jest zarazem jednym z najtrudniejszych sektorów do dekarbonizacji. W 2023 r. lotnictwo odpowiadało za 2,5% globalnych emisji CO₂, a tempo wzrostu w tym zakresie od początku XXI w. w porównaniu do sektora kolejowego, drogowego oraz żeglugowego było największe¹¹³. W związku z rosnącym naciskiem na ochronę środowiska i przeciwdziałanie zmianom klimatycznym, konieczne jest wprowadzanie nowych technologii, które pozwolą na dekarbonizację sektora lotniczego oraz przystosowanie do zmieniającego klimatu.

Zgodnie z postanowieniami Europejskiego Zielonego Ładu i Porozumienia paryskiego, do 2050 r. Unia Europejska ma osiągnąć neutralność klimatyczną. Oznacza to, że UE dąży do osiągnięcia bilansu, w którym ilość emisji gazów cieplarnianych wytwarzanych przez działalność ludzką będzie równa ilości gazów, jakie usuwane są z atmosfery poprzez różne procesy, zarówno naturalne jak i antropogeniczne.

Europejski sektor lotniczy powołał inicjatywę „Destination 2050 – A Route to Net Zero European Aviation”, której głównym celem jest redukcja emisji CO₂ na obszarze UE. Projekt łączy przewoźników lotniczych, porty lotnicze, producentów samolotów i instytucje zarządzające ruchem lotniczym, tworząc kompleksową strategię redukcji emisji CO₂. Wg dokumentu stanowiącego inicjatywę¹¹⁴ kluczowe elementy, które muszą zostać poprawione aby osiągnąć zamierzone cele to: ulepszenia w technologii samolotów i silników lotniczych, wykorzystanie zrównoważonych paliw lotniczych oraz ulepszenie w zarządzaniu ruchem lotniczym i operacjach lotniczych.

ICAO opracowała globalny system kompensacji i redukcji emisji dwutlenku węgla w międzynarodowym lotnictwie cywilnym, zwanym CORSIA (ang. Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation). Głównym celem tego system jest stabilizacja emisji CO₂ z międzynarodowego lotnictwa, poprzez mechanizm kompensacji emisji. System polegała na raportowaniu przez linie lotnicze swoich emisji CO₂ z lotów międzynarodowych, a następnie na podstawie zebranych danych wyznacza się limity emisji. Jeśli linie lotnicze przekraczają wyznaczony poziom bazowy, muszą zakupić kredyty kompensujące, czyli działania, które zrekompensują negatywne oddziaływanie na środowisko np. poprzez projekty zalesiania czy instalacji odnawialnych źródeł energii. System uważany jest za jeden z kluczowych kroków w kierunku dekarbonizacji sektora lotnictwa¹¹⁵.

¹¹³ Aviation, [iea.org](https://www.iea.org/).

¹¹⁴ Destination 2050 – A Route to Net Zero European Aviation, Royal Netherlands Aerospace Centre, SEO Amsterdam Economics 2025.

¹¹⁵ Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), [icao.int](https://www.icao.int/).

Ekologiczne porty lotnicze

Rosnąca świadomość na temat zmian klimatu i zwiększenie świadomości ekologicznej społeczeństwa oraz potrzeba redukcji emisji zanieczyszczeń, w coraz większym stopniu wpływają na wprowadzanie ekologicznych rozwiązań służących ochronie zasobów naturalnych. W obliczu narastającego kryzysu klimatycznego, porty lotnicze na całym świecie zaczynają odgrywać coraz większą rolę w procesie transformacji ku zrównoważonemu rozwojowi.

Ekologiczne porty lotnicze to obiekty, który wprowadziły innowacyjne rozwiązania zmierzające do redukcji emisji dwutlenku węgla, jak również kompleksowo zarządzają zasobami wodnymi, energią, odpadami, jakością powietrza, a także niskoemisyjnym transportem naziemnym. Wdrażanie innowacyjnych technologii, w połączeniu z wykorzystaniem OZE oraz odpowiednio zaprojektowanej infrastruktury, wpisują się w ideę minimalizacji wpływu na środowisko (sustainability), która jest kluczowym elementem strategii dla wielu portów lotniczych na świecie. Nowoczesne rozwiązania w tym zakresie można podzielić na kilka kategorii, takich jak: zielona infrastruktura, energia odnawialna, gospodarka wodna, bioróżnorodność i kompensacja przyrodnicza, zarządzanie odpadami oraz efektywność biologiczna.

Zielona infrastruktura w portach lotniczych zyskuje coraz większe znaczenie, w odpowiedzi na zmiany klimatu, rosnącą urbanizację, jak również zwiększone oczekiwania pasażerów dotyczące zrównoważonego rozwoju. Podejmowany jest szereg działań mających na celu jej integrację z przestrzenią lotniskową. Do najpopularniejszych sposobów tworzenia zielonej infrastruktury zalicza się m.in. ogrody (zarówno na świeżym powietrzu, jak również wewnątrz terminali), zielone ściany, ogrody deszczowe, jak również zielone dachy. Jej zastosowanie skutkuje m.in. ograniczaniem efektu miejskiej wyspy ciepła, zwiększaniem izolacji termicznej, jak również zwiększaniem retencji (zatrzymywania) wód.



Źródło: Changi Airport

tem Changi, a zarazem znakiem rozpoznawalnym jest szklana kopuła, z której wydobywa się największy na świecie wewnętrzny wodospad, o wysokości 40 m. Otoczony bujną roślinnością wodospad jest centralnym punktem Forest Valley – pięciopiętrowego ogrodu, w którym znajduje się wiele ścieżek, po których można spacerować wśród egzotycznych roślin, drzew i kwiatów¹¹⁶.

¹¹⁶ J. Ng, 13 things travellers love about Changi Airport, nowboarding.changiairport.com, 10 marca 2025 r.

Port lotniczy w Singapurze: zielono-niebieski port lotniczy

Port lotniczy Changi w Singapurze jest jednym z najnowocześniejszych na świecie. Jednym ze szczególnie interesujących jego elementów jest znajdująca się tam zielona infrastruktura. Architekci połączyli funkcje portu lotniczego z centrum handlowym oraz punktami rozrywki, za pośrednictwem ogrodów, tworząc jedną spójną, przyjazną przestrzeń. Centralnym punk-

Porty lotnicze, jako duże obiekty infrastrukturalne, potrzebują znacznych ilości energii, aby móc prowadzić bieżącą działalność. Rosnący nacisk na zrównoważony rozwój sprawia, iż coraz częściej inwestują one w odnawialne źródła energii (OZE), takie jak fotowoltaika, energia wiatrowa czy geotermia. Głównym celem inwestycji energetycznych jest redukcja emisji CO₂ i tym samym znaczące obniżenie emisji gazów cieplarnianych (GHG). Transformacja energetyczna umożliwia zwiększenie niezależności energetycznej portów lotniczych, jak również obniżenie kosztów energii o ok. 40-60% rocznie (np. w przypadku energii słonecznej)¹¹⁷.

Port lotniczy w Koczin: pierwszy na świecie port lotniczy zasilany wyłącznie energią słoneczną

Indyjski port lotniczy w Koczin jako pierwszy na świecie zużywa jedynie energię słoneczną. W 2013 r. pilotażowo zamontowano system fotowoltaiczny, który stopniowo poddawano rozbudowie. W 2015 r. uruchomiono farmę słoneczną o mocy 12 MW, składającą się z ponad 46 tys. paneli słonecznych, które zostały rozmieszczone na 45 akrach terenu przy kompleksie cargo. Obecnie, instalacja produkuje od 50 do 60 tys. kWh dziennie, co wystarcza na pokrycie potrzeb energetycznych portu lotniczego. W ramach współpracy z lokalnym operatorem energetycznym, nadwyżki energii są oddawane do sieci, a następnie energia potrzebna w nocy jest z niej pobierana. W planach portu lotniczego jest dalsza rozbudowa infrastruktury solarnej do łącznej mocy 26,5 MW, tak aby sprostać zapotrzebowaniu nowego terminalu. Realizacja projektu w ciągu 25 lat pozwoli uniknąć emisji ponad 300 tys. ton CO₂¹¹⁸.



Źródło: Cochin International Airport

Port lotniczy w Rzymie: system magazynowania energii w zużytych akumulatorach pojazdów elektrycznych

W czerwcu 2025 r. port lotniczy Rzym-Fiumicino wdrożył projekt Pioneer (airPort sustainability second life battery storage), który został opracowany przez Enel i Aeroporti di Roma, przy wsparciu naukowym niemieckiego Instytutu Fraunhofera. To największy w Europie system magazynowania energii, która gromadzona jest w zużytych akumulatorach, pochodzących z pojazdów elektrycznych. Projekt ten jest zintegrowany z farmą solarną, która produkuje energię na potrzeby portu lotniczego, a nadwyżki energii gromadzone są w 762 akumulatorach. Dzięki zastosowaniu systemu recyklingu zasobników energii i magazynowania jej nadmiaru, możliwe jest wykorzystanie jej w godzinach nocnych. Projekt ma przyczynić się do zmniejszenia emisji CO₂ o ok. 16 tys. ton w ciągu 10 lat, co wpisuje się w założony przez port lotniczy cel, według którego do 2030 r. ma on osiągnąć neutralność węglową¹¹⁹.

¹¹⁷ U. Noor, Solar-Powered Airports – The New Era of Green Aviation, 8msolar.com, 10 marca 2025 r.

¹¹⁸ P.S. Jayan, Cochin International Airport – World's First Solar-Powered Airport, icao.int.

¹¹⁹ G. Higgins, Rome Fiumicino leads with Europe's largest second-life battery energy storage for sustainable airport future, internationalairportreview.com, 4 czerwca 2025 r.

W obliczu postępujących zmian klimatu, coraz więcej obszarów świata staje w obliczu coraz częstszych zjawisk ekstremalnych – zarówno intensywnych opadów, jak i długotrwałych okresów suszy. Duże powierzchnie utwardzone, wysoki poziom zużycia wody oraz potrzeba zapewnienia ciągłości operacji lotniczych sprawiają, że również gospodarowanie wodą w portach lotniczych wymaga zaawansowanych i zrównoważonych rozwiązań, które pozwolą na efektywne zarządzanie tym zasobem w warunkach zmieniającego się klimatu. W szczególności konieczne staje się wprowadzenie systemów odzyskiwania wody deszczowej, które mogą znacząco obniżyć zużycie wody pitnej, a także implementacja rozwiązań umożliwiająca lepsze magazynowanie i zarządzanie wodami opadowymi. Zrównoważone podejście do zarządzania wodą w portach lotniczych obejmuje także stosowanie nowoczesnych technologii monitorowania i optymalizacji procesów, co pozwala na minimalizację strat wody oraz efektywniejsze zarządzanie jej dystrybucją, szczególnie w momentach szczytowego zapotrzebowania. Również kluczowe staje się projektowanie infrastruktury w sposób uwzględniający zmieniające się warunki klimatyczne, co może obejmować np. wprowadzenie zielonych przestrzeni, które sprzyjają naturalnemu wchłanianiu wód opadowych i poprawiają mikroklimat na terenie portu lotniczego. Takie działania mają na celu nie tylko oszczędność zasobów, ale także zwiększenie odporności na skutki zmian klimatycznych, a także ich bardziej zrównoważony rozwój¹²⁰.

Port lotniczy w Charlotte: strategia zarządzania wodami opadowymi

Charlotte Douglas International Airport to jedno z najszybciej rozwijających się i najbardziej obciążonych ruchem portów lotniczych w Stanach Zjednoczonych. Ze względu na zwiększanie lotniskowych powierzchni utwardzonych, władze tego portu lotniczego opracowały kompleksową strategię zarządzania wodami opadowymi, która ma na celu minimalizację negatywnego wpływu na środowisko. Port lotniczy został podzielony na cztery odrębne zlewnie, które obejmują łącznie powierzchnie ponad 2,2 tys. ha. Kluczowym czynnikiem przy tworzeniu strategii było minimalizowanie wpływu i liczby nowych obiektów infrastrukturalnych. Port lotniczy posiada dostępną przestrzeń pod inwestycje, ale w miarę rozwoju portu lotniczego ograniczona zostanie przestrzeń pod projekty dotyczące wód opadowych. Wybudowano zbiorniki retencyjne, które zostały zlokalizowane w dolnej części zlewni, z nadmiarem pojemności, dzięki czemu będą one mogły obsłużyć przyszłe projekty budowlane¹²¹.

Porty lotnicze jako złożone obiekty infrastrukturalne muszą zapewnić komfort termiczny dla osób z nich korzystających – przez całą dobę i niezależnie od warunków klimatycznych. Zarządzanie ogrzewaniem i chłodzeniem tak dużych powierzchni wiąże się z wyzwaniami technicznymi, logistycznymi i środowiskowymi. Współczesne porty lotnicze coraz częściej wykorzystują innowacyjne i zrównoważone rozwiązania HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), czyli system, który odpowiada za kontrolę warunków klimatycznych w budynkach. System odpowiedzialny jest za kilka kluczowych elementów, tj.:

- **wentylację i cyrkulacja powietrza** – zapewnienie dopływu powietrza, pozbawionego zanieczyszczeń;
- **kontrolę temperatury i wilgotności**: zapewnienie równowagi temperatury i wilgotności;

¹²⁰ An Environmental Management, icao.int.

¹²¹ Charlotte Douglas International Airport Stormwater Management Strategy, hdrinc.com.

- **filtrację** – oczyszczanie powietrza z zanieczyszczeń, cząstek stałych i patogenów¹²².

Zastosowanie takiego rozwiązania pozwala na zapewnienie komfortu dla pasażerów i personelu, jak również pozwala na zwiększenie efektywności energetycznej i redukcję strat ciepła oraz strat energetycznych.

Port lotniczy Phoenix Sky Harbor: system HVAC

W związku z rozbudową terminala, Phoenix Sky Harbor International Airport zamontowało jednostki HVAC na dachu, aby rozwiązać problem ograniczonej przestrzeni w terminalu. Dzięki instalacji systemu na dachu zredukowano długość kanałów i możliwe było strategiczne rozmieszczenie wlotów powietrza, zmniejszając narażenie na zanieczyszczenia. Co ważne, umieszczenie systemu na dachu wpłynęło na ułatwienie konserwacji systemu i poprawę efektywności energetycznej, dzięki optymalizacji przepływu powietrza¹²³.

Jedną z technologii, która może odegrać kluczową rolę w transformacji energetycznej sektora lotniczego jest trigeneracja (ang. CCHP – Combined Cooling, Heat and Power) Pozwala ona na jednoczesną produkcję energii elektrycznej, ciepła oraz chłodu, wykorzystując jedno źródło paliwa¹²⁴. System ten posiada wiele zalet, takich jak: oszczędność kosztów, niezawodność nieprzerwanego zasilania, chłodzenia i ogrzewania, mniejsze uzależnienie od dostępności energii elektrycznej oraz zmniejszenie zużycia energii elektrycznej¹²⁵. Pomimo, że trigeneracja stosowana jest głównie w obiektach przemysłowych czy hotelowych, coraz częściej analizuje się zastosowanie tego rozwiązania w sektorze lotniczym, ponieważ zaopatrzenie na energię elektryczną, ogrzewanie oraz klimatyzację jest stałe i wysokie.

Port lotniczy w Sydney: trigeneracja

W portach lotniczych w Sydney, Goldman Energy wspólnie z GridX zaprojektowało, zainstalowało i obsługuje obecnie elektrownię trójgeneracyjną dla narodowego przewoźnika Qantas. System ma dostarczać 12 MW energii elektrycznej, 12 MW ogrzewania i 22 MW chłodzenia wody. Cały system umożliwia optymalizację i efektywne zarządzanie zasobami poprzez zdalne monitorowanie systemu¹²⁶.

Porty lotnicze podejmują też coraz więcej inicjatyw zmierzających do ochrony bioróżnorodności oraz zachowania cennych przyrodniczo obszarów. Obecność różnorodnych siedlisk sprzyja występowaniu wielu gatunków roślin i zwierząt, w tym ptaków migrujących. Działalność lotnicza, w tym hałas, ruch samolotów oraz zmiany w użytkowaniu terenu, mogą prowadzić do poważnego zakłócenia ekosystemów. Coraz więcej podmiotów prowadzi kompensację przyrodniczą, czyli rekompensatę negatywnego wpływu przedsięwzięcia na środowisko naturalne. Są to m.in. przenoszenie

¹²² S. McClelland, Ensuring Comfort and Safety Through Advanced Systems, airoptions.co.za, 4 sierpnia 2024 r.

¹²³ J. Silhol, Case study: Airport expansion includes rooftop units, csemag.com, 14 kwietnia 2021 r.

¹²⁴ Trigeneracja – co warto o niej wiedzieć?, dalkiapolska.com.

¹²⁵ Tri-generation, iiec.org.

¹²⁶ Qantas Trigeneration Project with Goldman Energy?, na.comap-control.com, 26 grudnia 2017 r.

i odtwarzanie siedlisk, tworzenie nowych zalesień i nasadzeń zastępczych, tworzenie stref ochrony lub buforowych lub przenoszenie gatunków chronionych w nowe miejsca.

Port lotniczy w Zurychu: ochrona bioróżnorodności

Port lotniczy w Zurychu prowadzi projekt rewitalizacji odcinka rzeki Glatt od Opfikon do Rümlang, który będzie służyć jako środek rekompensaty ekologicznej dla projektu rozbudowy infrastruktury lotniskowej. Koryto rzeki, które jest skanalizowane, zostanie przekształcone w naturalny ciek wodny. Powstaną nowe zakola rzeki, płytkie brzegi rzeki i łąki, a wzdłuż cieku wodnego powstaną drogi rowerowe oraz obszary rekreacyjne służące lokalnej społeczności¹²⁷.

Port lotniczy w Pradze: łąki kwietne

Port lotniczy w Pradze realizuje program wspierania bioróżnorodności, który zakłada tworzenie łąk kwietnych, odnawianie granic pól oraz modyfikację koryt cieków wodnych w okolicznych gminach. Głównym celem programu jest poprawa retencji wody w krajobrazie oraz wsparcie rozwoju gatunkowego. Co ciekawe, praski port lotniczy udziela dofinansowania dla projektów mających na celu wzmocnienie różnorodności gatunkowej i stabilności ekologicznej, a realizowanych przez gminy i dzielnice miejskie położone są w najbliższej okolicy infrastruktury lotniskowej¹²⁸.

Port lotniczy Hong Kong: Park Morski

W ramach rozbudowy systemu trzech pasów startowych, Hong Kong International Airport wdrożyło strategię poprawy ekologii morskiej i rybołówstwa. Inicjatywa obejmuje stworzenie Parku Morskiego (North Lantau Marine Park) o powierzchni 24 km² i łączy się z istniejącymi parkami, tworząc kompleks obszarów chronionych o powierzchni ponad 45 km². W ramach zadania zainstalowano sztuczne rafy oraz wprowadzono do akwenu ok. 20 000 narybku ryb oraz milion larw krewetek, zwiększając tym samym różnorodność gatunkową¹²⁹.

Istotnym elementem strategii zrównoważonego rozwoju współczesnych portów lotniczych jest gospodarowanie odpadami. Dynamicznie rosnący ruch pasażerski i operacyjny przyczynia się do wzrostu ich ilości. Zasadniczo odpady można podzielić na rodzaje, ze względu na ich pochodzenie. Są to odpady: generowane przez pasażera w porcie lotniczym, kabinowe oraz operacyjne. Według audytu IATA przeprowadzonego między listopadem 2023 a marcem 2024 r., loty długodystansowe generowały średnio 1,22 kg odpadów na pasażera, podczas gdy krótkodystansowe – 0,94 kg na pasażera¹³⁰. Według ICAO odpady, którymi zarządzać muszą porty lotnicze, podzielić można na:

- **komunalne** – pochodzące z portu lotniczego, takie jak odpady terminalowe, odpady generowane przez najemców, odpady lotnicze i odpady cargo;
- **budowlane i rozbiórkowe**;
- **pochodzące z samolotów** – w tym odpady biodegradowalne;
- **międzynarodowe** – niedozwolone przedmioty przewożone przez pasażerów;
- **biodegradowalne** – odpady żywnościowe z terminali;

¹²⁷ Construction to begin on Glatt revitalisation project: more biodiversity and recreational area at Zurich Airport, newsroom.flughafen-zurich.ch, 10 grudnia 2024 r.

¹²⁸ Species-rich Meadows and Restored Field Boundaries; Prague Airport Launches Biodiversity Support Programme, prg.aero, 21 marca 2023 r.

¹²⁹ Biodiversity, hongkongairport.com.

¹³⁰ IATA highlights needs for consistent cabin waste management practices, centreforaviation.com, 25 luty 2025 r.

- **niebezpieczne i przemysłowe** – oleje, rozpuszczalniki i inne odpady chemiczne;
- **toaletowe**¹³¹.

Porty lotnicze muszą poradzić sobie z różnymi strumieniami odpadów, które wymagają kompleksowego zarządzania. W celu minimalizacji kosztów, a co najważniejsze zmniejszenia oddziaływania na środowisko, przyjmują one hierarchię zarządzania odpadami, stawiając przede wszystkim na redukcję ich ilości. Do najprostszych działań w tym zakresie należą:

- stosowanie przyborów gastronomicznych wielorazowego użytku (sztućce, butelki);
- wdrażanie rozwiązań cyfrowych (np. zastępowanie nimi papierowych kart pokładowych);
- zachęcenie najemców powierzchni handlowo-usługowych w portach lotniczych oraz linii lotniczych do zmniejszenia liczby artykułów jednorazowego użytku¹³².

Port lotniczy w Singapurze: kompleksowy system zarządzania odpadami

W 2022 r. port lotniczy w Singapurze przyjął wieloaspektowe podejście do gospodarki odpadowej. Po pierwsze ograniczono ich produkcję na terenie portu lotniczego. Po drugie, w miarę możliwości przechodzono na bardziej ekologiczne opcje, zastępując np. plastikowe naczynia wykorzystywane przez lotniskowe punkty gastronomiczne na biodegradowalne. Po trzecie, rozpoczęto segregację odpadów i poddawanie ich recyklingowi, dzięki czemu stało się ponowne wykorzystanie części materiałów.

W celu zwiększenia efektywności zarządzania odpadami, Changi Airport Group zainstalowało w centrum składowania odpadów zlokalizowanych w jednym z terminali maszynę do zgniatania i zagęszczania odpadów (Rotary Waste Drum). Pozwala ona zwiększyć efektywność gospodarowania odpadami – zostają one zagęszczone a ich objętość zmniejsza się, co przekłada się na poprawę efektywności przestrzennej gromadzenia odpadów.

W celu zamknięcia obiegu odpadów, port lotniczy wykorzystuje odpady biologiczne, które pochodzą z przestrzeni ogrodowych znajdujących się na terenie infrastruktury lotniskowej. Recyklingowi poddawane są m.in. łodygi słoneczników, które wykorzystywane są do nawożenia terenów zielonych zlokalizowanych na terenie portu lotniczego. Rośliny te charakteryzują się wysoką zawartością składników odżywczych i krótkim czasem kompostowania, dlatego też idealnie nadają się jako nawóz do roślin¹³³.

Port lotniczy w Wellington: recykling fusów z kawy

W 2018 r. port lotniczy w Wellington (Nowa Zelandia) wprowadził innowacyjny program recyklingu fusów z kawy, przekształcając je w wysokiej jakości kompost. Gdy został uruchomiony program szacowano, że pasażerowie korzystający generują ok. 18 t fusów z kawy rocznie. Zamiast zatem produkować kolejne odpady, port lotniczy produkuje naturalny nawóz¹³⁴.

Co równie ważne, na etapie przeprowadzania inwestycji lotniskowych powstają znaczne ilości odpadów budowlanych, takich jak beton, stal, materiały kompozytowe, drewno czy gips. Ponowne

¹³¹ ICAO, Waste Management at Airports, icao.int.

¹³² ICAO, Waste Management at Airports, icao.int.

¹³³ Horticultural composting – putting our waste to good use, changiairport.com, marzec 2022 r.

¹³⁴ D. Symonds, Wellington airport to turn coffee leftovers into premium compost, passengerterminaltoday.com, 12 marca 2018 r.

ich wykorzystanie niesie za sobą wiele korzyści, m.in.: oszczędności finansowe, zmniejszenie emisji CO₂ oraz poprawa wizerunku inwestycji¹³⁵.

Port lotniczy w Amsterdamie: zakład recyklingu betonu

Port lotniczy Schiphol otworzył własną instalację do recyklingu betonu, w której odpady z remontów i prac budowlanych są kruszone i przetwarzane na nowy beton lub materiał fundamentowy. Szacuje się, że co roku z prac remontowych i prac konserwacyjnych tam prowadzonych pozostaje 60 tys. ton gruzu betonowego. Przetwarzając materiały budowlane, port lotniczy oszczędza ok. 80 tys. km transportu materiałów budowlanych, tym samym znacznie zmniejszając emisje CO₂ do atmosfery¹³⁶.

Dekarbonizacja sektora lotniczego

Sektor lotniczy stoi przed ogromnym wyzwaniem, jakim jest jego dekarbonizacja. Dążenie do odejścia od paliw kopalnych, które obecnie są wykorzystane przez samoloty wymaga znacznych inwestycji, innowacji technologicznych, nakładów finansowych oraz współpracy międzynarodowej.

Zrównoważone paliwa lotnicze (Sustainable Aviation Fuel, SAF) stanowią jeden z najważniejszych filarów strategii dekarbonizacji sektora lotniczego. Z racji na rosnącą presję społeczną, zmiany prawne oraz zmieniający się klimat, rozwijanie i wdrażanie SAF jest obecnie uznawane za najbardziej realne rozwiązanie umożliwiające redukcję emisji CO₂ w branży lotniczej¹³⁷. Agencja Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (European Union Aviation Safety Agency, EASA) oczekuje, że zrównoważone paliwa lotnicze odegrają kluczową rolę w uczynieniu Europy pierwszym kontynentem neutralnym klimatycznie do 2050 r.¹³⁸ EASA prowadzi szereg działań, aby zrealizować założony cel, a do najważniejszych z nich należą:

- **wspieranie wdrażania SAF** – zgodnie z przyjętą regulacją, od 2025 r. dostawcy paliw są zobowiązani do zapewnienia minimalnego udziału SAF w paliwach lotniczych. Dla 2025 r. ustalono poziom 2%, natomiast do 2050 r. wartość ta ma wzrosnąć do 70%¹³⁹;
- **stworzenie EU SAF Clearing House**, czyli platformy, która wspiera rozwój i certyfikację nowych ścieżek produkcji zrównoważonych paliw lotniczych¹⁴⁰;
- **tworzenie regularnych raportów**, które dostarczają obiektywnych danych na temat wpływu lotnictwa na środowisko oraz efektywność wdrażanych działań. Stanowią one podstawę do podejmowania decyzji politycznych i strategicznych w zakresie rozwoju lotnictwa¹⁴¹.

Również inne kraje na świecie takie jak Japonia, Australia czy Malezja aktywnie rozwijają polityki

¹³⁵ REuse and REcycling of CDW materials and structures in energy efficient pREfabricated elements for building REfurbishment and construction, cordis.europa.eu, 20 lipca 2016 r.

¹³⁶ Schiphol opens own concrete recycling facility, news.schiphol.com, 25 października 2023 r.

¹³⁷ Developing Sustainable Aviation Fuel (SAF), iata.org.

¹³⁸ Zrównoważone paliwo lotnicze, easa.europa.eu.

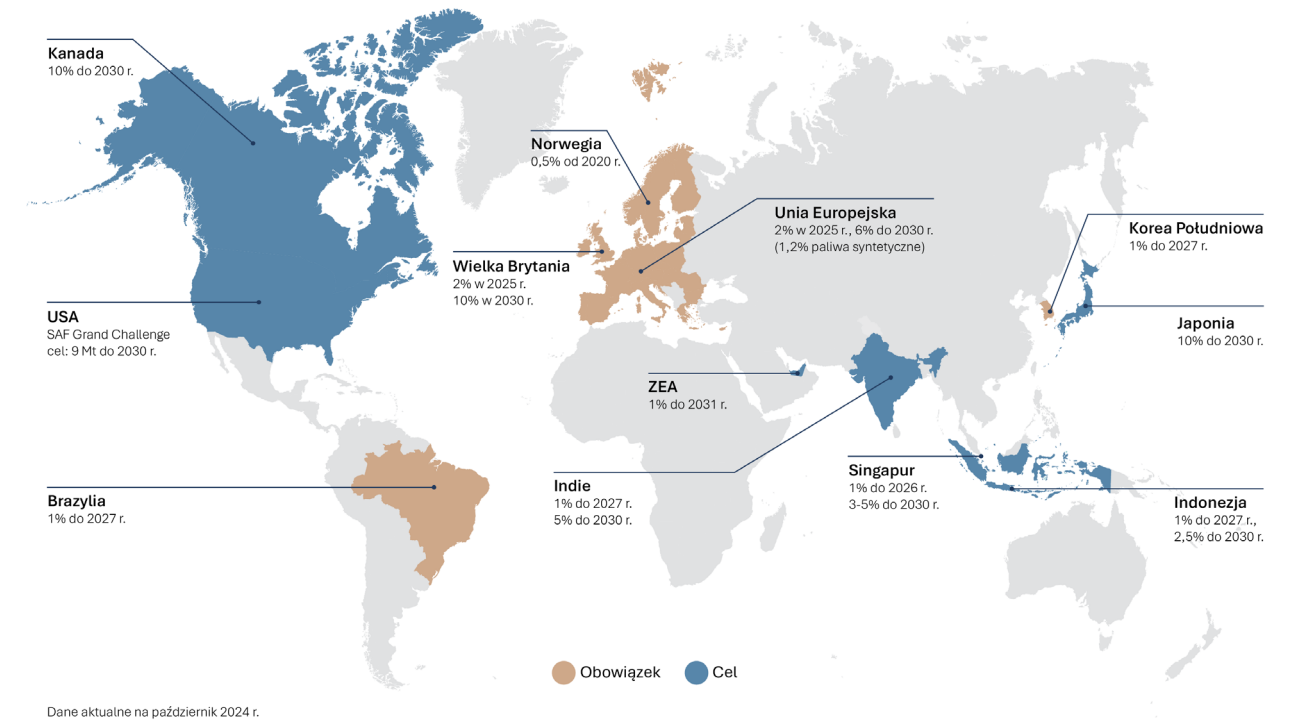
¹³⁹ RefuelEU aviation initiative: Council adopts new law to decarbonise the aviation sector, consilium.europa.eu, 9 października 2023 r.

¹⁴⁰ EASA Launches EU Sustainable Aviation Fuels Clearing House, aerospacetestinginternational.com, 9 lipca 2024 r.

¹⁴¹ Sustainable Aviation - towards zero emission Aviation, easa.europa.eu.

i inicjatywy związane ze zrównoważonymi paliwami lotniczymi. Narodowy przewoźnik Australii – Qantas planuje, aby do 2030 r. 10% zużywanego przez przewoźnika paliwa pochodziło z SAF, natomiast do 2050 r. wartość ma wzrosnąć do ok. 60%¹⁴². Japońskie linie All Nippon Airways planują, aby do 2030 r. 10% paliwa pochodziło z SAF, natomiast do 2050 r. linia chce osiągnąć pełną neutralność węglową¹⁴³. Z kolei, Malezja ustanowiła cel 1% SAF w paliwie lotniczym w ramach Narodowej Mapy Przemian Energetycznych z 2023 r., z planem do 47% do 2050 r.¹⁴⁴

Rysunek 3. Regulacje i cele w zakresie SAF w wybranych państwach



Źródło: Financing Sustainable Aviation Fuel: Case Studies and Implications for Investment, reports.weforum.org, luty 2025 r., s. 8.

W raporcie Światowego Forum Ekonomicznego pt. „Financing Sustainable Aviation Fuel: Case Studies and Implications for Investment” z 2025 r. przedstawiono analizę barier i możliwości rozwoju rynku zrównoważonych paliw lotniczych. Według zaprezentowanej tam prognozy, do 2030 r. globalny popyt na SAF ma wynieść 17 mln ton rocznie, co stanowi ok. 5% całkowitego zużycia paliwa lotniczego. W dokumencie przedstawiono szereg kluczowych mechanizmów finansowych, które mogą przyspieszyć rozwój rynku SAF, takich jak m.in.:

- **dotacje na badania i inwestycje** – wsparcie na wczesnych etapach rozwoju technologii SAF w celu obniżenia kosztów początkowych;
- **strategiczne inwestycje** – współpraca z liniami lotniczymi, portami lotniczymi, producentami sprzętu i firmami energetycznymi;
- **zielone obligacje powiązane z produkcją SAF** – skuteczne narzędzie pozyskiwania kapitału zorientowanego na wpływ środowiska.

¹⁴² Sustainable aviation fuel, qantas.com.

¹⁴³ ANA Procures Sustainable Aviation Fuel Blended in Japan, anahd.co.jp, 30 marca 2023 r.

¹⁴⁴ Asia's sustainable aviation fuel tasks and agreements, logistics.maritimeprofessional.com, 10 lipca 2024 r.

W raporcie zaprezentowano cele wybranych państw na wykorzystanie zrównoważonych paliw lotniczych. Spośród przedstawionych krajów, najbardziej ambitne plany w wykorzystaniu SAF mają Japonia i Kanada, które założyły cel, według którego do 2030 r. SAF będzie stanowić ok. 10% paliwa wykorzystywanego w lotnictwie¹⁴⁵.

Istnieje wiele sposobów produkcji zrównoważonych paliw lotniczych, w zależności od rodzaju surowca, tj. wykorzystanie: odpadów komunalnych (m.in. ogrodniczych, spożywczych, opakowań po produktach), odpadów celulozowych (pochodzących z przemysłu leśnego oraz rolniczego), olejów kuchennych, alg, zielonego wodoru (pochodzącego z elektrolizy przy użyciu OZE)¹⁴⁶.

SAF pod względem chemicznym jest zbliżone do konwencjonalnego paliwa lotniczego, co pozwala na jego stosowanie bez konieczności modyfikacji istniejących silników odrzutowych oraz infrastruktury naziemnej. Co ważne, w całym cyklu życia zrównoważone paliwa mogą zmniejszyć emisje CO₂ nawet o 80%, w porównaniu z paliwami kopalnymi. Jeśli chodzi o emisje spalin, jakie powstają podczas spalania to są one porównywalne do paliw kopalnych, jednak SAF charakteryzują się znacznie niższym śladem węglowym w procesie produkcji. Istnieją warianty SAF, które mogą być wręcz neutralne pod względem emisyjności netto, jeśli do ich produkcji wykorzystano energię elektryczną z OZE i wychwyconego CO₂ – takim przykładem jest SAF wytworzone w technologii PtL (Power to Liquid)¹⁴⁷.

Zrównoważone paliwa lotnicze produkowane są głównie metodą HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids), do której jako surowca, wykorzystuje się oleje roślinne i tłuszcze¹⁴⁸. W pierwszym kroku następuje estryfikacja lub transestryfikacja, czyli przekształcenie tłuszczów w estry metylowe lub etylowe. W kolejnym kroku mieszanina estrów i kwasów tłuszczowych jest poddawana działaniu wodoru pod wysokim ciśnieniem i temperaturą w obecności katalizatora, a następnie następuje odparafinowanie i izomeryzacja, tym samym poprawiając właściwości paliwa. Ostatnim krokiem produkcji jest frakcjonowanie, czyli uzyskanie frakcji paliwowych, które odpowiadają nauce lotniczej¹⁴⁹. Oprócz metody HEFA, w fazie rozwoju są inne metody, tj.:

- **proces Fischera-Tropscha** – umożliwia konwersję biomasy lub CO₂ i wodoru do paliw ciekłych;
- **Alcohol-to-Jet (AtJ)** – fermentacja alkoholi (np. bioetanolu) do paliw lotniczych;
- **Synthesized Iso-Paraffins (SIP)** – przekształcenie izoparafiny z hydroprocesowanych cukrów fermentowanych;
- **Power-to-Liquid (PtL)** – syntetyczne paliwa z wodoru i CO₂¹⁵⁰.

Mówiąc o zrównoważonych paliwach lotniczych należy również wspomnieć o wyzwaniach oraz ograniczeniach, jakie za sobą niosą SAF. Pomimo znacznych korzyści środowiskowych, wdrażanie SAF napotyka na kilka kluczowych barier, tj.:

- **ograniczona zdolność produkcyjna** – produkcja SAF jest ograniczona, w porównaniu do konwencjonalnego paliwa lotniczego;
- **koszty** – produkcja SAF jest droższa niż produkcja konwencjonalnego paliwa lotniczego;

- **regulacje** – standaryzacja ścieżek produkcji SAF i jasne regulacje¹⁵¹.

Linie lotnicze coraz częściej wykorzystują zrównoważone paliwa lotnicze, są to m.in. Emirates¹⁵², Virgin Atlantic¹⁵³, Iberia¹⁵⁴ oraz Japan Airlines¹⁵⁵.

Emirates Airline: lot demonstracyjny wykorzystujący SAF

W 2023 r. linie lotnicze Emirates wykonały pierwszy lot demonstracyjny Boeingiem 777-3000ER, zasilając jeden z silników w 100% zrównoważonym paliwem lotniczym (SAF). Lot trwał ponad godzinę i został zrealizowany nad wybrzeżem Dubaju. Linia Emirates współpracowała z partnerami, takimi jak GE Aerospace, Boeing, Honeywell, Neste i Virent, w celu opracowania i pozyskania odpowiedniego SAF, tak aby odzwierciedlić właściwości konwencjonalnego paliwa lotniczego. W wyniku przeprowadzonego lotu demonstracyjnego uzyskano potwierdzenie, że SAF jest bezpiecznym i niezawodnym źródłem paliwa dla samolotów. Warto dodać, że linia Emirates wcześniej podejmowała próby wykorzystania SAF. W 2017 r. samolot Boeing 777 lecący z Chicago do Dubaju częściowo wykorzystał SAF, które było mieszane z tradycyjnym paliwem lotniczym¹⁵⁶.

Z punktu widzenia funkcjonowania portów lotniczych, konieczne jest zapewnienie skutecznej obsługi samolotów zasilanych zrównoważonymi paliwami lotniczymi. Co istotne, porty lotnicze mogą wykorzystać istniejącą infrastrukturę naziemną do przechowywania paliwa. Paliwa SAF mogą być przechowywane i dystrybuowane na dwa sposoby:

- **oddzielne zbiorniki i pojazdy do tankowania** – umożliwiają dokładne śledzenie i certyfikowanie emisji CO₂ związanych z SAF, ale wiąże się to z wyższymi kosztami i potrzebą dodatkowej infrastruktury;
- **mieszanie SAF z tradycyjnym paliwem (tzw. mass balance)** – ułatwia logistykę, ale wymaga uzyskania odpowiednich systemów certyfikacji, w celu zapewnienia przejrzystości i zgodności z normami środowiskowymi.

Port lotniczy Gävle-Sandviken: rozbudowa infrastruktury dla SAF

Na terenie szwedzkiego portu lotniczego Gävle-Sandviken firma Inter Terminals Sweden, we współpracy z SAS Scandianaivian Airlines, rozbudowała zakład paliw lotniczych poprzez przekształcenie zbiorników, które przeznaczonych pierwotnie do magazynowania konwencjonalnego paliwa, w zbiorniki przystosowane do mieszania i przechowywania SAF. SAS Scandinavian Airlines założyło cel środowiskowy, według którego do 2030 r. samoloty tego przewoźnika latające po Skandynawii będą zasilane zrównoważonym paliwem lotniczym. Dlatego też, aby osiągnąć założony cel, linia lotnicza ma zwiększyć udział SAF w każdym nadchodzącym roku. Co równie ważne, rozbudowa infrastruktury wpisuje się w strategię portu lotniczego, jaką jest przeprowadzenie zielonej transformacji oraz realizacja zrównoważonego systemu logistycznego i energetycznego¹⁵⁷.

¹⁵¹ Sustainable Aviation Fuel (SAF): The Challenge and Potential, aaaairsupport.com.

¹⁵² Emirates operates milestone demonstration flight powered with 100% Sustainable Aviation Fuel, emirates.com, 30 stycznia 2023 r.

¹⁵³ SAF. What is it, and why is everyone talking about it?, corporate.virginatlantic.com.

¹⁵⁴ Sustainable fuel, iberia.com.

¹⁵⁵ Development and Use of SAF (Sustainable Aviation Fuel), jal.com.

¹⁵⁶ Emirates operates milestone..., op. cit.

¹⁵⁷ SAS and Inter Terminals invest in infrastructure for sustainable aviation fuel - Inter Terminals, interterminals.com, 19 marca 2024 r.

¹⁴⁵ Financing Sustainable Aviation Fuel: Case Studies and Implications for Investment, reports.weforum.org, luty 2025 r.

¹⁴⁶ Zrównoważone paliwo lotnicze, easa.europa.eu.

¹⁴⁷ Power to Liquid (PtL) Synthetic Aviation Fuel - A Sustainable Pathway for Jet Fuel Production, trid.trb.org.

¹⁴⁸ Solutions(HEFA) - CleanAim®, cleanaim.com.

¹⁴⁹ Production of Jet Biofuels by Catalytic Hydroprocessing of Esters and Fatty Acids, mdpi.com.

¹⁵⁰ Technology basics, skynrg.com.

Istotnym elementem dekarbonizacji sektora lotniczego jest wodór, który ma duży potencjał jako paliwo przyszłości w lotnictwie. Wodór wyróżnia się wysoką gęstością energetyczną masową (trzykrotnie większą niż nafta lotnicza¹⁵⁸), ale ma bardzo niską gęstość objętościową, co stwarza wyzwania w przechowywaniu. Zasadniczo, H₂ można przechowywać w dwóch głównych formach: jako gaz sprężony pod wysokim ciśnieniem (350–700 barów) lub w formie ciekłej w bardzo niskiej temperaturze (-253°C). Zarządzający portami lotniczymi stoją więc przed koniecznością przeprowadzenia inwestycji infrastrukturalnych, które obejmą wybudowanie specjalistycznych zbiorników, odpornych na wysokie ciśnienie i ekstremalne temperatury, jak również systemu, który w razie wycieku pozwoli na szybkie odcięcie przepływu łatwopalnego pierwiastka¹⁵⁹.

Ze względu na pochodzenie, paliwo wodorowe określa się jako m.in.: zielony wodór (H₂ produkowany z odnawialnych źródeł energii przez elektrolizę wody, jedyny w pełni zrównoważony sposób jego wytwarzania), niebieski (produkowany z gazu ziemnego, z wychwytem i składowaniem CO₂), szary (produkowany w procesie reformingu parowego metanu, bez wychwytu CO₂, najpowszechniejszy sposób produkcji, ale najmniej ekologiczny)¹⁶⁰.

Wodór znajduje coraz szersze zastosowanie w projektach samolotów, jak i infrastrukturze lotniskowej. Jeśli chodzi o zastosowanie wodoru w samolotach to producenci tacy jak Airbus rozwijają koncepcje samolotów ZEROe, które będą wykorzystywać ogniwa paliwowe wodorowe jako źródła zasilania¹⁶¹. Z kolei, coraz więcej portów lotniczych wprowadzania technologie wodorowe w ramach transformacji energetycznej. Przede wszystkim są to stacjonarne stacje tankowania wodoru. Pierwsze stacje tankowania wodorem powstały m.in. w porcie lotniczym w Brukseli oraz w Tuluzie¹⁶². W marcu 2025 r. ZeroAvia, firma z branży technologii wodorowo-elektrycznych, poinformowała o planach otwarcia centrum badawczo-rozwojowego w porcie lotniczym Stockton Metropolitan w Kalifornii. Inwestycja, wspierana przez Kalifornijską Komisję Energetyczną (CEC), koncentrować się będzie na projektowaniu i testowaniu systemów szybkiego tankowania ciekłego wodoru dla lotnictwa i ciężkiego transportu¹⁶³.

Port lotniczy w Brukseli: pilotażowe rozwiązanie w zakresie paliwa H₂ z mobilną stacją tankowania

Port lotniczy w Brukseli, we współpracy z partnerami Stargate EU Green Deal VIL i DHL, prowadził pilotaż stacji tankowania wodoru i ciągnika holowniczego Mulag zasilanego wodorem do obsługi naziemnej. Głównym celem pilotażu było zbadanie wodoru jako zrównoważonej alternatywy dla paliw kopalnych i sprzętu elektrycznego, przyczyniając się do zmniejszenia emisji i hałasu¹⁶⁴.

Ciekawą współpracę, mającą na celu rozwój wykorzystania wodoru w lotnictwie prowadzi Airbus poprzez rozwój hubów wodorowych w japońskich portach lotniczych. W październiku 2024 r. Airbus wraz z Kansai Airports i Kawasaki Heavy Industries podpisał umowę, mającą na celu ocenę

wykonalności infrastruktury w trzech lokalizacjach: Kansai International Airport, Osaka International Airport i Kobe Airport. Inicjatywa jest częścią programu „Hydrogen Hub at Airbus”, którego celem jest rozwój infrastruktury oraz łańcucha dostaw wodoru. Poszczególni partnerzy odpowiedzialni są za:

- Airbus – dostarczenie wiedzy na temat charakterystyki samolotów, zużycia energii floty oraz operacji naziemnych z wykorzystaniem wodoru;
- Kawasaki Heavy Industries – dostarczenie projektów i budowa infrastruktury do skroplonego wodoru, w tym również sieci dostaw w portach lotniczych;
- Kansai Airports – prowadzenie działań na rzecz dekarbonizacji, w szczególności za wdrażanie ogniów paliwowych w pojazdach naziemnych obsługujących port lotniczy.

Głównym celem kooperacji jest przeprowadzenie analizy, obejmującej aspekty technologiczne, ekonomiczne, prawne oraz operacyjne zasadności wykorzystania wodoru w sektorze lotniczym. Ich wyniki posłużą jako podstawa do opracowania rekomendacji politycznych do dalszego rozwoju technologii wodorowych¹⁶⁵.

W kwietniu 2024 r. norweski Avinor (spółka państwowa, zarządzająca portami lotniczymi w Norwegii) wraz z tamtejszym Urzędem Lotnictwa Cywilnego, nawiązał współpracę w celu przekształcenia tego kraju w arenę testów lotnictwa zeroemisyjnego. Pod koniec 2025 r. pierwsze samoloty elektryczne zaczną latać pomiędzy Stavanger i Bergen. Będą to loty cargo, realizowane przez jednostki ALIA. Istotnym elementem przygotowania do wykonywania regularnych lotów samolotami elektrycznymi stanowi rozwój infrastruktury lotniskowej. W Stavanger zostanie zamontowana stacjonarna ładowarka, natomiast w Bergen samoloty będą obsługiwane przez mobilne punkty ładowania¹⁶⁶. Wprowadzenie testowych samolotów elektrycznych jest częścią rządowego planu dla norweskiego sektora lotniczego, który zakłada całkowite wyeliminowanie paliw kopalnych do 2050 r.¹⁶⁷

W lutym 2025 r. nowozelandzka firma Fabrum, we współpracy z portem lotniczym Christchurch uruchomiła obiekt testowy wodoru. Znajduje się on w centrum energii odnawialnej funkcjonującej na terenie portu lotniczego. Głównym celem inwestycji jest wspieranie rozwoju technologii zasilania lotnictwa wodorem. Obiekt umożliwi rozwój i testowanie technologii skraplania wodoru, systemu zarządzania tym paliwem, jak również technologii służących zarządzaniem gazem parującym. Inwestycja dostępna jest dla firm zajmujących się rozwojem systemów skraplania H₂, oferując specjalną przestrzeń do przeprowadzania testów i udoskonalania technologii. Inwestycja ma wspierać rozwój zeroemisyjnych systemów napędowych i przyczynić się do zwiększenia udziału wodoru w lotnictwie jako alternatywy dla paliw konwencjonalnych¹⁶⁸.

¹⁵⁸ M. Graff, Wodór jako paliwo – zalety i wady, [w:] „Technika Transportu Szynowego”, nr 5–6/2020, s. 19.

¹⁵⁹ Wodór w branży lotniczej – wyzwania, przyjaznelotniska.pl, 26 listopada 2024 r.

¹⁶⁰ Wodór zielony, niebieski, szary. Wszystkie kolory wodoru, ey.com, 22 marca 2022 r.

¹⁶¹ Hydrogen Hubs at Airports, airbus.com.

¹⁶² L'hydrogène renouvelable arrive à l'aéroport de Toulouse-Blagnac, infos.ademe.fr, styczeń 2024 r.

¹⁶³ T. May, California: ZeroAvia to Conduct Liquid Hydrogen Research at Stockton Airport, airportindustry-news.com, 3 marca 2025 r.

¹⁶⁴ Pilot project with mobile hydrogen refuelling station and hydrogen tractor at Brussels Airport, brusselsairport.be, 21 czerwca 2024 r.

¹⁶⁵ Airbus, Kansai Airports, and Kawasaki Heavy partner on hydrogen infrastructure feasibility study, japanaviationhub.com, 21 października 2024 r.

¹⁶⁶ Avinor plans procurement of electric aircraft chargers as part of test arena for zero and low-emission aviation, futuretravelexperience.com, styczeń 2025 r.

¹⁶⁷ Bergen Airport flies into the future with electric airplane trials, investinbergen.no, 19 listopada 2024 r.

¹⁶⁸ Fabrum, Christchurch Airport partner to launch hydrogen testing facility, airport-technology.com, 12 lutego 2025 r.

Hałas lotniczy

Jednym z najistotniejszych problemów środowiskowych związanych z działalnością lotniczą jest hałas, który generowany jest przez samoloty na różnych etapach realizacji operacji lotniczych, takich jak start i lądowanie, jak również podczas kołowania samolotu i jego postoju na płycie portu lotniczego. Dźwięk generowany przez samoloty negatywnie wpływa na zdrowie ludzi, jak również wpływa na jakość życia osób zamieszkujących najbliższe otoczenie. Do głównych źródeł hałasu związanych z działalnością lotniczą należą:

- **silniki odrzutowe** – generują hałas podczas wylotu spalin, jak również poprzez wibracje mechaniczne;
- **opór powietrza** – szum aerodynamiczny, który powstaje w wyniku przepływu powietrza wokół elementów samolotu;
- **koła i opony** – hałas powstający wyniku toczenia się samolotu po pasie startowym oraz podczas hamowania;
- **podwozie** – hałas, który jest generowany przez elementy podwozia podczas startu, lądowania oraz podczas lotu.

W celu redukcji hałasu akustycznego, który powstaje w wyniku działalności lotniczej podejmowane są działania, zmierzające do zmniejszenia hałasu i negatywnego oddziaływania na ludzi i środowisko. Podejmowane są działania, takie jak:

- **innowacje w konstrukcji silników** – stosowanie silników o wysokim współczynniku obejścia (high-bypass turbofan), które charakteryzują się większym wentylatorem i mniejszym strumieniem gazów wylotowych, dzięki czemu możliwe jest obniżenie emisji hałasu o nawet 15 dB;
- **optymalizacja konstrukcji samolotu** – stosowanie lżejszych materiałów (np. kompozytów węglowych);
- **modernizacja infrastruktury lotniskowej** – wprowadzenie nowoczesnych technologii (np. cięche nawierzchnie startowe) mogących znacząco zmniejszać poziom hałasu, wprowadzanie barier akustycznych¹⁶⁹.

Innym sposobem ograniczania emisji hałasu akustycznego jest ten testowany przez port lotniczy w Brukseli i skyes. W grudniu 2024 r. rozpoczęły loty demonstracyjne w ramach projektu HERON, mającego na celu przetestowanie bardziej stromych podejść do lądowania. Realizacja projektu ma ograniczyć emisję hałasu, CO₂ oraz zużycia paliwa. Podczas lotów testowane jest rozwiązanie ISGS (Increased Second Glide Slope), zwiększające kąt podejścia z tradycyjnych 3,0° do 3,2° i 3,5°, co pozwala samolotom dłużej utrzymywać większą wysokość i wolniejsze tempo zniżania, zmniejszając tym samym uciążliwość akustyczną dla okolicznych mieszkańców. W testach biorą udział też linie lotnicze DHL, Brussels Airlines, TUI i Vueling¹⁷⁰.

Z punktu widzenia zarządzającego portem lotniczym do najłatwiejszych i najbardziej realnych sposobów redukcji hałasu należą m.in.:

- **monitorowanie hałasu**, za pomocą odpowiedniego systemu, na podstawie którego podejmowane są decyzje dotyczące tras lotów oraz modyfikacji procedur startowych i lądowania – takie rozwiązania zastosowano m.in. w porcie lotniczym Schiphol w Amsterdamie¹⁷¹;

¹⁶⁹ Nowe materiały w budowie lotnisk: Trwałość i ekologia, forum-lotnicze.pl, 18 października 2024 r.

¹⁷⁰ Brussels Airport and skyes launch HERON project demonstration flights, internationalairportreview.com, 9 października 2024 r.

¹⁷¹ Improved noise measurements in the area around Schiphol, nieuws.schiphol.nl, 1 lutego 2022 r.

- **tworzenie barier akustycznych** wokół terminali, które pomagają w tłumieniu hałasu związanego z operacjami lotniczymi (np. bariery dźwiękochłonne, bariery tłumiące hałas) – takie rozwiązanie zastosowano m.in. w porcie lotniczym w Sydney¹⁷²;

- **tworzenie zielonej infrastruktury**, która stanowi naturalną barierę akustyczną, poprzez tworzenie powierzchni zielonych w pobliżu portu lotniczego, ograniczając przenikanie hałasu do stref mieszkalnych, jak również wykorzystanie zielonej infrastruktury na dachach terminali oraz ścianach budynków lotniskowych – takie rozwiązanie zastosowano m.in. w porcie lotniczym w Amsterdamie¹⁷³.

Port lotniczy Schiphol w Amsterdamie: park redukujący hałas lotniczy

W 2013 r. w bezpośrednim sąsiedztwie portu lotniczego Schiphol powstał park (Buitenschot Land Art Park), który łączy w sobie funkcje ekologiczne, akustyczne oraz rekreacyjne. Głównym celem realizacji projektu było zminimalizowanie hałasu, który jest generowany przez samoloty, jak również stworzenie przyjaznej przestrzeni dla lokalnej ludności. Głównym elementem parku są trzymetrowe wały ziemne, które ustawiono w kierunku, z którego dociera hałas, dzięki czemu możliwe jest skuteczne rozproszenie dźwięku. Przewidywano redukcję hałasu o 8–10 dB, jednakże rzeczywiste pomiary wykazały zmniejszenie hałasu o ok. 5,5 dB¹⁷⁴. Między wałami powstały ścieżki piesze i rowerowe, umożliwiając mieszkańcom korzystanie z przestrzeni rekreacyjnej. Projekt zainspirował inne porty lotnicze do stworzenia podobnych parków, m.in. władze portów lotniczych Gatwick w Londynie oraz w Melbourne¹⁷⁵.



Źródło: Your Captain Luchtfotografie / H+N+S Landscape Architects

5 marca 2025 r. Komisja Europejska przyjęła decyzję 2025/519, w której oceniono plany rządu Holandii dotyczące ograniczeń operacyjnych w porcie lotniczym Schiphol. Jest ona odpowiedzią na rosnące obawy społeczne, związane z hałasem lotniczym oraz koniecznością dostosowania europejskich portów lotniczych do wymogów środowiskowych określonych w rozporządzeniu UE nr 598/2014. Rząd holenderski założył, że przyjmie środki ograniczające hałas wokół infrastruktury lotniskowej, tj. ograniczenie liczby operacji lotniczych (z 500 tys. do 478 tys.), redukcję nocnych lotów (z 32 tys. do 27 tys.) oraz zakaz lotów prywatnych odrzutowców w godzinach nocnych. KE wyraziła zastrzeżenia do planu, tj. nieuwzględnienie wpływu lotnictwa ogólnego, zignorowanie potencjału technologicznego samolotów oraz brak pełnego rozważenia alternatywnych procedur operacyjnych. KE nie zablokowała planu, jednak zaleciła rządowi holenderskiemu jego uzupełnienie. Decyzja KE stanowi precedens w kontekście działań prośrodowiskowych i pokazuje, że jest

¹⁷² Sydney Airport Environment Strategy 2019–2024, assets.ctfassets.net, kwiecień 2019 r.

¹⁷³ Landart Park Buitenschot, jveul.wordpress.com.

¹⁷⁴ Tamże.

¹⁷⁵ Land Art Park Buitenschot | Can a Landscape Design Cut Out Noise Pollution?, land8.com, 5 kwietnia 2017 r.

ona gotowa wspierać kraje członkowskie w walce z hałasem i emisjami, jednakże wymagane jest, aby działania te były uzasadnione i kompletne¹⁷⁶.

W zakresie ograniczania emisji hałasu, warto też wspomnieć o rozwiązaniu zaproponowanym w połowie 2023 r. przez Green Taxi Solutions i StandardAero. Oba podmioty ogłosiły współpracę, mającą na celu certyfikację pierwszego elektrycznego systemu kołowania samolotów – eTaxi. Umożliwia on samodzielne przemieszczanie się samolotu po płycie lotniska, bez użycia głównych silników, a jedynie przy wykorzystaniu zasilania z pomocniczych jednostek zasilających (APU). Dzięki zastosowaniu takiego systemu możliwe jest wykonywanie operacji turnaround za pomocą silników elektrycznych umieszczonych w kołach samolotu. Umożliwia to nie tylko redukcję hałasu lotniczego, ale także zmniejszenie spalania paliwa oraz emisji dwutlenku węgla. Według wyliczeń obu partnerów projektu, wykorzystanie eTaxi ma pozwala na osiągnięcie rocznych oszczędności na paliwie w przeliczeniu na samolot w wysokości ok. 250 tys. dolarów, poprzez ograniczanie jego spalania o ponad 300 tys. litrów (80 tys. galonów) w skali roku¹⁷⁷.

5.2 High-tech i innowacje technologiczne w służbie branży lotniskowej – cyfrowa transformacja i Airport 4.0

Cyfrowa transformacja to jeden z kluczowych procesów, przez który przechodzi współczesny świat. Wpływa on na wszystkie sektory gospodarki, w tym również na transport lotniczy. Porty lotnicze – jako złożone organizmy łączące wiele systemów, interesariuszy i użytkowników – są idealnym miejscem do wdrażania cyfrowych innowacji, które mają na celu m.in. zwiększenie efektywności, ograniczenie kosztów oraz poprawę komfortu podróży.

Cyfryzacja (ang. digitisation) to proces techniczny polegający na przekształceniu informacji, produktów lub usług z formy analogowej na cyfrową. Przykłady cyfryzacji to skanowanie dokumentów papierowych do plików PDF, zamiana taśm wideo na pliki cyfrowe, czy wdrażanie systemów do elektronicznego przetwarzania danych. Wydawać się może, że jest to jedynie zamiana „papieru na ekran”, ale jest to fundamentalny krok, który umożliwia dalsze wykorzystanie danych w systemach cyfrowych. Cyfryzacja jest więc warunkiem wstępnym dla kolejnych etapów transformacji cyfrowej. Podczas gdy koncentruje się ona na technologii jako takiej, digitalizacja (ang. digitalisation) polega już na wykorzystaniu tych technologii w praktyce – w procesach biznesowych, w relacjach z klientem, czy w zarządzaniu organizacją. Ostatecznie prowadzi to do cyfrowej transformacji (ang. digital transformation), która oznacza głęboką zmianę kultury organizacyjnej, sposobu pracy i modeli biznesowych¹⁷⁸.

ACI World wskazuje 4 kluczowe obszary, które obejmuje cyfrowa transformacja portów lotniczych¹⁷⁹:

- operacje są usprawniane dzięki technologiom biometrycznym, samoobsługowym kioskom, automatycznym punktom nadania bagażu oraz spersonalizowanym i aktualizowanym w czasie rzeczywistym informacjom o lotach, co poprawia doświadczenie pasażera (Passenger Experience);
- w obszarze komercyjnym transformacja cyfrowa umożliwia m.in. cyfrowe zamówienia z wyprzedzeniem (F&B, sklepy, duty-free), wprowadzanie programów lojalnościowych i inteligentnego parkowania, a także wykorzystanie cyfrowych oznaczeń i technologii AR do zwiększania przychodów;
- infrastruktura obejmuje szybkie sieci (w tym 5G), rozwiązania chmurowe, cyfrowe bliźniaki (tzw. digital twins), zarządzanie cyklem życia zasobów i efektywnością łańcucha dostaw, z uwzględnieniem zrównoważonego rozwoju i wykorzystaniem AI;
- w zakresie funkcji korporacyjnych, digitalizacja działów takich jak HR i finanse pozwala zwiększyć efektywność operacyjną i ograniczyć błędy ludzkie.

W kontekście transformacji cyfrowej bardzo często pojawia się sformułowanie Airport 4.0, będące wizją inteligentnego portu lotniczego w pełni wykorzystującego potencjał cyfrowej transformacji¹⁸⁰. Technologie w tym zakresie podzielić można na siedem kluczowych grup¹⁸¹:

- **analiza i przetwarzanie danych** – m.in. sztuczna inteligencja, uczenie maszynowe, blockchain;
- **modelowanie i wizualizacja** – rzeczywistość rozszerzona (AR), rzeczywistość wirtualna (VR), symulacje;
- **przetwarzanie w chmurze** – umożliwiające elastyczne i skalowalne zarządzanie danymi (m.in. data sharing);
- **urządzenia mobilne** – smartfony, tablety, inteligentne okulary;
- **Internet Rzeczy (IoT)** – czujniki, lokalizacja GPS, sieci 5G;
- **druk 3D (additive manufacturing)** – pozwalająca na szybkie prototypowanie i personalizację produktów;
- **systemy cyberfizyczne** – automatyzacja procesów przy użyciu robotów, pojazdów autonomicznych i urządzeń samoobsługowych.

Poszczególne porty lotnicze ocenić można w zakresie ich „cyfrowej dojrzałości”, czyli modelu tzw. Airport Maturity. Zakłada on cztery etapy rozwoju – od Airport 1.0 (wykorzystanie przede wszystkim systemów analogowych) do Airport 4.0 (wdrożona pełna transformacja cyfrowa)¹⁸². Choć większość portów lotniczych nadal znajduje się na poziomie 2.0 lub 3.0, dążenie do osiągnięcia poziomu 4.0 jest celem długoterminowym dla wielu zarządców portów lotniczych na świecie¹⁸³. Zgodnie z badaniem ACI World (Airport Digital Transformation Survey) przeprowadzonym w 2020 r., 60% portów lotniczych posiadało wówczas dedykowane zespoły ds. innowacji odpowiedzialne za tworzenie i wdrażanie rozwiązań cyfrowych, a 55% aktywnie angażowało wszystkie zespoły funkcjonalne w strategię innowacyjną i cyfrową¹⁸⁴.

¹⁷⁹ Airport Commercial Digital Transformation. Best Practices, ACI World, 2024, s. 8–9.

¹⁸⁰ S. Singh, Airport 4.0: The Future Of Airport Takes Flight, forbes.com, 9 lutego 2024 r.

¹⁸¹ M. Nordqvist, op. cit., s. 5–6.

¹⁸² L. Pliško, T. Remencová, Digital transformation of regional airports, [w:] Conference: Práce a štúdie, styczeń 2022, s. 79.

¹⁸³ R. Pell, M. Blondel, Airport digital transformation. From operational performance to strategic opportunity, Arthur D. Little / Amadeus, wrzesień 2018; M. Nordqvist, op. cit., s. 6–7.

¹⁸⁴ Digital Transformation in Airports, crp.trb.org, 7 września 2022 r.

¹⁷⁶ Decyzja 2025/519 w sprawie procesu wprowadzenia ograniczeń operacyjnych w porcie lotniczym Schiphol zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 598/2014, sip.lex.pl, 18 marca 2025 r.

¹⁷⁷ Green Taxi Solutions and StandardAero Partner to Certify First Electric Aircraft Taxiing (eTaxi) System, standardaero.com, 3 czerwca 2025 r.

¹⁷⁸ M. Nordqvist, The Future Digital Airport Experience, Uppsala Universitet, czerwiec 2022, s. 4.

Tabela 6. Etapy dojrzałości cyfrowej portów lotniczych – model Airport Maturity

Airport 1.0	Airport 2.0	Airport 3.0	Airport 4.0
Tradycyjne porty lotnicze z minimalnym poziomem cyfryzacji	Wprowadzenie technologii samoobsługowych	Automatyzacja operacji, pełna integracja procesów	Pełna transformacja cyfrowa z wykorzystaniem AI i automatyzacji
Systemy analogowe, manualne procesy i ograniczona analiza danych. Minimalny nacisk na Passenger Experience i satysfakcję pasażera.	Podstawowa digitalizacja procesów, np. elektroniczna odprawa, informacja pasażerska w wersji cyfrowej. Budowa sieci Wi-Fi w porcie lotniczym. Funkcjonowanie jednak wciąż w oparciu o tradycyjne procesy.	Szeroka digitalizacja, zastosowanie samoobsługi, wymiana danych z partnerami. Kioski samoobsługowe, zarządzanie operacjami w dużej mierze zautomatyzowane. Wykorzystywanie przenośnych urządzeń inteligentnych (np. tabletów), a także systemów takich jak A-CDM (Airport Collaborative Decision Making), co umożliwia pełną automatyzację operacji. Staranie o lepsze poznanie pasażerów, zbieranie danych z różnych źródeł, takich jak PNR, aplikacje mobilne czy darmowe Wi-Fi, tak aby stworzyć ukierunkowaną reklamę i generować dodatkowe dochody.	Pełna integracja wszystkich systemów lotniskowych i używanych przez interesariuszy, proaktywne i adaptacyjne zarządzanie w czasie rzeczywistym. Wymiana ogromnych ilości danych. Powszechna automatyzacja z wykorzystaniem AI oraz różnorodnych maszyn autonomicznych. Koncentracja na zbieraniu, przetwarzaniu i wykorzystywaniu danych do stworzenia bardziej spersonalizowanego Passenger Experience.

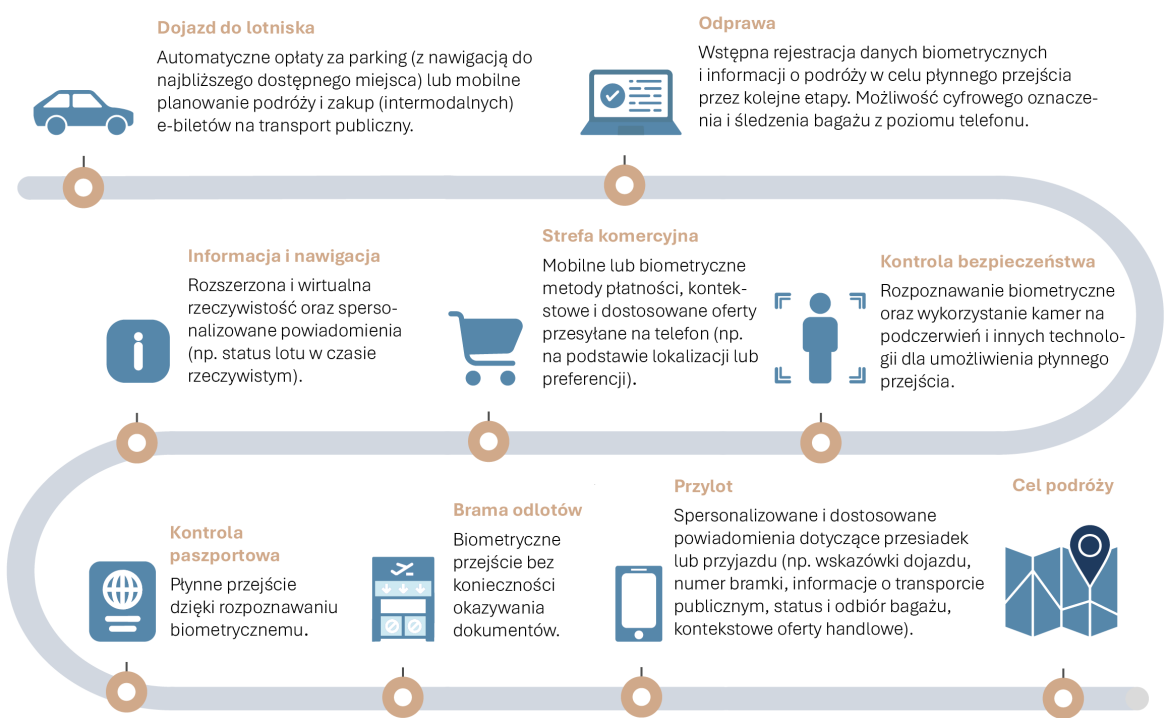
Źródło: opracowanie własne na bazie: R. Pell, M. Blondel, Airport digital transformation. From operational performance to strategic opportunity, Arthur D. Little / Amadeus, wrzesień 2018; L. Pliško, T. Remencová, Digital transformation of regional airports, [w:] Conference: Práce a štúdie, styczeń 2022, s. 78-79.

Cyfrowa transformacja portów lotniczych przynosi wymierne korzyści w czterech kluczowych obszarach: efektywności organizacyjnej (lepsze zarządzanie ruchem lotniczym, pasażerskim i bagażowym), redukcji kosztów (automatyzacja wielu czynności, takich jak odprawa, nadawanie bagażu czy kontrola bezpieczeństwa, co prowadzi do ograniczenia nakładów pracy ludzkiej i obniżenia kosztów operacyjnych), Passenger Experience (zaspokojenie oczekiwania płynnego, bezstresowego doświadczenia podróży) oraz wzrostu przychodów (zadowoleni podróżni są bardziej skłonni do korzystania z lotniskowych usług komercyjnych – restauracji, sklepów czy stref relaksu, a technologie pozwalają na personalizację ofert i reklam w czasie rzeczywistym)¹⁸⁵. Transformacja cyfrowa portów lotniczych znacząco wspiera również redukcję emisji CO₂, generuje oszczędności w zużyciu energii oraz umożliwia efektywne zarządzanie zasobami¹⁸⁶.

185 The Impact of Digital Transformation on Airports, isg-one.com, 2022; M. Nordqvist, op. cit., s. 5-6.

186 H. Rodoplu, R. Demir, S. Gürsel, The effect of digitalization on sustainability and smart airport, [w:] „International Journal of Sustainable Aviation”, styczeń 2022, passim.

Rysunek 4. Etapy podróży opartej o cyfrową transformację



Źródło: Smart Airports – Navigating Digital Transformation of Airports in SEA, ycp.com, 31 lipca 2023 r.

Airport 4.0 utożsamiane jest z koncepcją Smart Airport (inteligentny port lotniczy). Jest ona niezwykle płynna, choć najczęściej obejmuje trzy kluczowe obszary: infrastrukturę, przepływ handlowy i przepływ pasażerów. Cyfryzacja infrastruktury pozwala na integrację systemów (np. transportu bagażu, parkowania, kontroli bezpieczeństwa), co umożliwia lepsze zarządzanie zasobami i szybsze podejmowanie decyzji. W obszarze handlowym automatyzacja procesów i niezawodne sieci komunikacyjne wspierają logistykę i bezpieczeństwo cyfrowe. Z kolei digitalizacja przepływu pasażerów to m.in. inteligentne zarządzanie kolejkami oraz personalizacja usług na podstawie analizy danych.

Wśród innowacyjnych rozwiązań w zakresie Smart Airport najczęściej wymieniane są: biometryczna identyfikacja pasażerów, samoobsługowe kioski, predykcyjne utrzymanie infrastruktury (predictive maintenance) czy zaawansowane systemy monitorowania i ochrony cybernetycznej. Równolegle najnowocześniejsze porty lotnicze na świecie inwestują w energooszczędną infrastrukturę, systemy monitorowania środowiskowego i zarządzanie odpadami¹⁸⁷.

Szczególnie podkreślane jest znaczenie cyfrowej transformacji dla Passenger Experience. Innowacyjne technologie wdrażane są w tym zakresie zwłaszcza w najnowocześniejszych portach lotniczych południowo-wschodniej Azji¹⁸⁸, choć badania zrealizowane w drugiej połowie 2024 r. przez ACI Europe pośród pasażerów 21 europejskich portów lotniczych wykazały, iż rozwiązania związane z transformacją cyfrową cieszą się ogromną popularnością również pośród Europejczyków.

187 The future of Airports: Tech-Driven Smart Airports, Glorious Insight, 26 kwietnia 2023 r.

188 Smart Airports – Navigating Digital Transformation of Airports in SEA, ycp.com, 31 lipca 2023 r.

Aż 73% pasażerów europejskich portów lotniczych czuje się pewnie w korzystaniu z produktów i usług cyfrowych lub online, natomiast jedynie 11% — głównie osoby powyżej 65. roku życia — nie czuje się pewnie lub unika ich używania. Im młodszy pasażer, tym większa pewność w korzystaniu z technologii cyfrowych. Jednocześnie, pomimo rosnącego poziomu cyfryzacji (np. przy odprawie, kontroli bezpieczeństwa czy granicznej), wielu podróżnych nadal potrzebuje wsparcia personelu, by czuć się komfortowo. Wyniki wspomnianego badania pokazują, że główną barierą w dalszej cyfryzacji jest brak zaufania do technologii (obawy przed awarią czy utratą telefonu) oraz brak dostępności usług dla wszystkich — zwłaszcza dla starszych osób i tych, którzy nie są biegli cyfrowo. Dodatkową przeszkodą jest skomplikowanie obsługi niektórych rozwiązań. Wśród propozycji poprawy dominują dwie postawy: część pasażerów nadal potrzebuje kontaktu z personelem i wsparcia, inni natomiast postulują dalszy rozwój cyfryzacji, zwłaszcza w zakresie dostępu do informacji w czasie rzeczywistym. Technologia nie zawsze jednak działa poprawnie i bywa trudna w obsłudze. Co więcej, dla 19% pasażerów istotnym problemem pozostaje kwestia prywatności danych — obawy dotyczą udostępniania informacji osobowych oraz sposobu ich przechowywania i zarządzania¹⁸⁹.

W kontekście europejskim, warto w tym miejscu wspomnieć o pochodzącym z marca 2021 r. dokumencie zatytułowanym „Cyfrowy kompas na 2030 r.: europejska droga w cyfrowej dekadzie”¹⁹⁰, będącym strategiczną inicjatywą Unii Europejskiej, wyznaczającą kierunki rozwoju cyfrowego kontynentu do końca obecnej dekady. Jego celem jest osiągnięcie „cyfrowej suwerenności Europy” poprzez rozwój infrastruktury, kompetencji i usług cyfrowych, zgodnych z europejskimi wartościami – takimi jak prywatność, bezpieczeństwo, inkluzywność i zrównoważony rozwój. W kontekście nowoczesnych technologii lotniskowych, Kompas stanowi ramy dla wdrażania innowacji, które zwiększają efektywność, bezpieczeństwo i odporność transportu lotniczego. Dokument wskazuje cztery główne obszary transformacji cyfrowej: umiejętności cyfrowe obywateli, bezpieczna i wydajna infrastruktura cyfrowa, cyfryzacja usług publicznych, transformacja cyfrowa przedsiębiorstw. W każdym z tych obszarów wyznaczono konkretne cele do osiągnięcia do 2030 r. – m.in. zapewnienie ultraszybkiego internetu dla wszystkich, rozwój europejskich centrów danych, powszechny dostęp do e-usług czy zwiększenie liczby specjalistów ICT. W zakresie mobilności, „Cyfrowy kompas...” podkreśla potrzebę cyfryzacji infrastruktury transportowej, w tym portów lotniczych. Zakłada m.in. rozwój inteligentnych systemów zarządzania ruchem, interoperacyjnych platform danych, automatyzacji procesów logistycznych oraz integracji technologii takich jak AI, IoT czy 5G. Celem jest nie tylko zwiększenie efektywności i bezpieczeństwa, ale także redukcja emisji i poprawa Passenger Experience. W grudniu 2022 r. Parlament Europejski przyjął program polityki „Droga ku cyfrowej dekadzie” do 2030 r., którego celem jest przekształcenie wizji cyfrowej Europy w konkretne działania, mierzalne cele i wspólne projekty państw członkowskich¹⁹¹.

W zakresie technologii, których rozwój w najbliższych latach będzie szczególnie przydatnych dla lotniczego cargo, prognozy IATA wymieniają te w zakresie¹⁹²:

- **inteligentnego podejmowania decyzji i analityki** – sztuczna inteligencja, zaawansowana analityka (Machine Learning, modele statystyczne), wizyjne systemy komputerowe (Computer Vision);
- **urządzeń ubieralnych / noszonych (wereables)** – urządzenia rozszerzonej rzeczywistości (XR),

189 ACI Europe survey on the impact of digitalisation and automaton on the Passenger Experience, ACI Europe, październik 2024, s. 7.

190 Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Cyfrowy kompas na 2030 r.: europejska droga w cyfrowej dekadzie, COM(2021) 118 final Komisja Europejska, 9 marca 2021 r.

191 Decyzja Parlamentu Europejskiego I Rady (UE) 2022/2481 z dnia 14 grudnia 2022 r. ustanawiającego program polityki „Droga ku cyfrowej dekadzie” do 2030 r., PE/50/2022/REV/1, Parlament Europejski, 14 grudnia 2022 r.

192 Za: 2025 Vision..., op. cit., s. 13–24.

skanery, gogle, zestawy słuchawkowe, egzoszkielety robocze;

- **robotyki** – drony, pojazdy i roboty autonomiczne (AGV i AMR), roboty stacjonarne, roboty współpracujące (koboty, cobots);
- **zrównoważonych operacji** – materiały biopochodne, infrastruktura wydajna energetycznie, lokalna produkcja energii (on-site), zaawansowane rozwiązania opakowaniowe, pojazdy zeromisyjne;
- **widoczności i transparentności** – urządzenia zdalnie połączone (IoT), RFID, platformy do monitorowania transportu w czasie rzeczywistym (RTTVPs), inteligentne etykiety (smart labels);
- **cyfrowej automatyzacji i integracji procesów** – zaawansowane technologie samoobsługowe, technologie API, automatyzacja procesów za pomocą robotów (Robotic Process Automation, RPA).

Tabela 7. Przyszłościowe technologie w lotniczym cargo wg IATA

Technologia	Poziom wpływu	Horyzont wdrożenia
Technologie w zakresie inteligentnego podejmowania decyzji i analityki		
Sztuczna inteligencja (AI) Zwiększanie efektywności transportu lotniczego cargo poprzez predykcyjne utrzymanie, optymalizację przestrzeni ładunkowej oraz automatyzacja planowania pracy ludzi i sprzętu.	Wysoki	5-10 lat
Zaawansowana analityka Wykorzystywanie zaawansowanej i predykcyjnej analityki opartej na AI, uczeniu maszynowym oraz modelach statystycznych do przetwarzania danych historycznych i bieżących w celu wspierania prognozowania i podejmowania decyzji.	Bardzo wysoki	Mniej niż 5 lat
Wizyjne systemy komputerowe (CV) Automatyzacja identyfikacji ładunków, inspekcji i monitorowania procesów dzięki analizie danych wizualnych. Usprawnianie śledzenia przesyłek w czasie rzeczywistym poprzez skanowanie kodów kreskowych, QR i etykiet, co zwiększa efektywność i bezpieczeństwo operacji cargo.	Średni	5-10 lat
Urządzenia ubieralne/noszone (wereables)		
Rzeczywistość rozszerzona (EX) Wykorzystanie EX do usprawniania szkoleń, planowania obiektów, obsługi ładunków i prac serwisowych. Zastosowanie AR i VR w tworzeniu immersyjnych środowisk szkoleniowych zwiększające gotowość pracowników w zakresie obsługi ładunków, urządzeń i procedur bezpieczeństwa.	Średni	5-10 lat
Skanery, gogle, zestawy słuchawkowe Zwiększanie efektywności, produktywności i bezpieczeństwa pracowników poprzez dostarczanie informacji lub wsparcia w czasie rzeczywistym. Umożliwienie szybkiego dostępu do danych operacyjnych, komunikacji bez użycia rąk oraz monitorowania parametrów pracy i stanu zdrowia.	Średni	Mniej niż 5 lat
Egzoszkielety Urządzenia służące do wspierania fizycznych możliwości pracowników poprzez zmniejszenie obciążenia i zmęczenia.	Średni	Ponad 10 lat
Robotyka		
Drony Bezzałogowe statki powietrzne, które w cargo umożliwiają szybki, elastyczny i opłacalny transport lekkich, pilnych przesyłek oraz wsparcie operacyjne.	Średni	5-10 lat
Autonomiczne pojazdy prowadzone (AGV) Samojezdne jednostki poruszające się po wyznaczonych trasach z użyciem sensorów, taśm magnetycznych lub przewodnic, służące do efektywnego transportu ładunków w terminalach cargo.	Wysoki	Mniej niż 5 lat

Roboty autonomiczne (AMR) Samodzielnie nawigujące roboty transportujące ładunki w magazynach i centrach cargo bez potrzeby wyznaczania tras.	Wysoki	5-10 lat
Roboty stacjonarne Systemy robotyczne zamontowane na stałe, służące do automatycznej obsługi ładunków, sortowania i inspekcji w terminalach cargo.	Wysoki	Mniej niż 5 lat
Roboty współpracujące (koboty, cobots) Zaprojektowane do pracy obok operatorów ludzkich, wykorzystujące zaawansowane czujniki, AI oraz funkcje bezpieczeństwa. Umożliwiają wykonywanie fizycznych wymagających i powtarzalnych zadań, zapewniając płynną interakcję człowiek-robot.	Średni	Ponad 10 lat
Zrównoważone operacje		
Materiały biopochodne Materiały pochodzące z odnawialnych zasobów biologicznych, takich jak włókna roślinne, biopolimery i odpady rolnicze, będące zrównoważoną alternatywą dla tradycyjnych materiałów.	Wysoki	Mniej niż 5 lat
Infrastruktura wydajna energetycznie Projektowanie energooszczędnych budynków uwzględniające materiały, technologie i praktyki mające na celu minimalizację zużycia energii (izolacja, zoptymalizowane układy, energooszczędne systemy HVAC oraz wykorzystanie światła naturalnego).	Bardzo wysoki	Mniej niż 5 lat
Lokalna produkcja energii (on-site) Lokalna produkcja energii w obiektach cargo, głównie z wykorzystaniem odnawialnych źródeł, takich jak panele słoneczne, turbiny wiatrowe lub systemy kogeneracji (CHP).	Wysoki	5-10 lat
Zaawansowane rozwiązania opakowaniowe Opakowania nowej generacji wykorzystują innowacyjne materiały, projekty i technologie w celu poprawy ochrony ładunków, ekologiczności i efektywności.	Wysoki	5-10 lat
Pojazdy zeroemisyjne (ZEV) Zastępowanie pojazdów napędzanych paliwami kopalnymi, takich jak sprzęt wsparcia naziemnego (GSE), wózki widłowe, przenośniki palet i pojazdy do dostaw ostatniej mili. Przyczynia się to do tworzenia ekosystemu logistycznego o niższej emisji.	Bardzo wysoki	Mniej niż 5 lat
Widoczność i transparentność		
Urządzenia zdalnie połączone Internet Rzeczy (IoT) – łączenie fizycznych urządzeń wyposażonych w czujniki i zdolności przetwarzania z Internetem, co umożliwia zbieranie i wymianę danych.	Bardzo wysoki	Mniej niż 5 lat
RFID Wykorzystuje pola elektromagnetyczne do automatycznej identyfikacji i śledzenia tagów przymocowanych do obiektów. System stosowany jest w zarządzaniu zapasami, śledzeniu aktywów i monitorowaniu bezpieczeństwa, oferując np. możliwość automatycznej identyfikacji ładunków.	Wysoki	Mniej niż 5 lat
Platformy do monitorowania transportu w czasie rzeczywistym (RTTVPs) Platformy RTTVP wykorzystują GPS, czujniki IoT, RFID, AI oraz systemy oparte na przetwarzaniu chmurowym, aby dostarczać zainteresowanym stronom informacje o statusie przesyłek, ich lokalizacji i stanie, umożliwiając reagowanie na zakłócenia oraz optymalizację operacji wewnątrz i na zewnątrz obiektów.	Bardzo wysoki	Mniej niż 5 lat
Inteligentne etykiety (smart labels) Tagi wyposażone w technologie, które łączą tradycyjne oznaczenia (tekst, obrazy, kody kreskowe, kody QR) z wbudowanymi czujnikami, RFID lub funkcjami IoT.	Wysoki	5-10 lat
Cyfrowa integracja i automatyzacja procesów		

Zaawansowane technologie samoobsługowe Automatyczne systemy i narzędzia pozwalające użytkownikom na samodzielne wykonywanie zadań przy minimalnej lub zerowej pomocy. Umożliwiają m.in. rezerwację przestrzeni ładunkowej, śledzenie przesyłek oraz obsługę dokumentów. Rozwiązania typu self-service: kioski, portale internetowe i aplikacje mobilne.	Wysoki	5-10 lat
Technologia API Usprawniają procesy rezerwacji, planowania, śledzenia w czasie rzeczywistym, wymiany danych celnych oraz zarządzania pojemnością, zapewniając płynną współpracę między spedytorami, liniami lotniczymi, obsługą cargo i organami regulacyjnymi.	Bardzo wysoki	Mniej niż 5 lat
Automatyzacja procesów za pomocą robotów (RPA) Technologia automatyzacji oparta na oprogramowaniu, usprawniająca procesy wprowadzania danych, dokumentacji i przepływu pracy. Działa na platformach cyfrowych, automatyzując powtarzalne zadania administracyjne (zarządzanie rezerwacjami, fakturowanie, deklaracje celne i weryfikacja zgodności).	Wysoki	Mniej niż 5 lat

Źródło: 2025 Vision for the Future of Air Cargo Facilities, IATA, 2025, s. 13–24.

Nowoczesne technologie wdrażane są w ramach transformacji cyfrowej w portach lotniczych na całym świecie. Przykładowo, na Dubai International Airport zastosowano m.in. skanowanie tęczywki oparte na sztucznej inteligencji do bezkontaktowej weryfikacji tożsamości oraz inteligentny skaner eliminujący konieczność wyjmowania urządzeń elektronicznych i płynów z bagaży¹⁹³. Port lotniczy integruje dane z linii Emirates oraz biura imigracyjnego Dubaju, co podnosi poziom bezpieczeństwa i efektywności. Z kolei port lotniczy Changi w Singapurze wdrożył program DIVA, który obejmuje aplikacje takie jak Safe Travel Concierge i ChangiQ, usprawniające zarządzanie podróżami i kolejkami, oraz aplikację Where2Clean wykorzystującą IoT do optymalizacji sprzątania. Changi jest również pionierem w cyfrowych instalacjach, takich jak cyfrowy wodospad The Wonderfall oraz The Dreamscape – ogród z dynamicznym niebem¹⁹⁴. W rzymskim porcie lotniczym Fiumicino zastosowano natomiast technologię nawigacyjną Airsiders, która umożliwia intuicyjne poruszanie się po terenie terminali, zmniejszając poziom stresu pasażerów i zwiększając efektywność operacyjną dzięki analizie danych w czasie rzeczywistym¹⁹⁵.

To tylko niektóre przykłady pokazujące, jak innowacje technologiczne, w tym sztuczna inteligencja, IoT oraz inne cyfrowe systemy, zmieniają doświadczenia pasażerów i poprawiają funkcjonowanie portów lotniczych. W dalszej części opracowania wskazano i opisano wybrane technologie, wraz z przykładami wdrożeń na całym świecie.

Automatyzacja i autonomizacja

Automatyzacja to proces wykonywania określonej sekwencji operacji przy jedynie niewielkim nakładzie pracy ludzkiej lub bez jej udziału, z wykorzystaniem specjalistycznego sprzętu i urządzeń. Pojęcie to jest często używane wymiennie z robotyzacją, jednak ta ostatnia zakłada jedynie zastosowanie formy automatyzacji wiążącej się z zastąpieniem pracy ludzkiej przez robota. Początkowo automatyzacja i robotyzacja rozpowszechniały się głównie w obszarze produkcji przemysłowej.

193 C. Mahoney, Scanning for Security, securitymiddleeastmag.com, 5 października 2024 r.

194 C. Wong, The Making of ‘The Wonderfall’ and ‘Dreamscape’, changiairport.com, 1 grudnia 2023 r.

195 The Rise of Digital Airports: Streamlining the Airport Journey for Passengers, airsiders.com, 15 lutego 2023 r.

wej¹⁹⁶. Obecnie jednak towarzyszą one człowiekowi w coraz szerszych obszarach jego aktywności – również w usługach czy w transporcie.

W odniesieniu do działalności portów lotniczych, główne obszary wdrażania automatyzacji obejmują samoobsługowe stanowiska odprawy i obsługi bagażu, inteligentne systemy kontroli bezpieczeństwa, automatyzację procesów boardingu, cyfrowe systemy informacji i nawigacji, autonomiczne pojazdy obsługi naziemnej oraz drony, a także inteligentne zarządzanie przestrzeniami dla pasażerów i wsparcie decyzyjne oparte na sztucznej inteligencji. Dzięki tym rozwiązaniom porty lotnicze znacząco zwiększają efektywność operacyjną, poprawiają komfort pasażerów (co ma wpływ na poprawę poziomu Passenger Experience) i minimalizują ryzyko błędów¹⁹⁷. Według dostawców technologii, automatyzacja i wykorzystanie AI może skrócić czas oczekiwania w kolejkach na lotniskowych punktach kontrolnych nawet o 50%, znacząco poprawiając płynność obsługi pasażerów¹⁹⁸.

W dziedzinie bezpieczeństwa lotniskowego rozwijane są zaawansowane systemy do automatycznego skanowania bagażu i pasażerów oraz patrolowania płyt lotniskowych oraz ich otoczenia. Przykładem takiej technologii jest system iCMORE Prohibited Items wykorzystujący algorytmy sztucznej inteligencji do identyfikacji niebezpiecznych przedmiotów, takich jak broń palna czy ostre przedmioty¹⁹⁹. Na terenie Kansai International Airport w Japonii autonomiczne roboty Secom Robot X2 wspierają zespoły ochrony, patrolując przestrzeń publiczną i monitorując otoczenie dzięki kamerom 360°²⁰⁰. W 2022 r. port lotniczy w Hongkongu rozpoczęło natomiast eksploatację czterech bezałogowych pojazdów patrolujących (Autonomous Patrol Cars, APCs), których zadaniem jest monitorowanie bezpośrednich okolic ogrodzenia dwóch pasów startowych. Każdy z nich posiada 8 kamer HD, 3 czujniki LiDAR oraz 2 zestawy lokalizacji dGPS²⁰¹. W 2024 r. amerykański port lotniczy Fairbanks na Alasce w 2024 r. testował natomiast robota Aurora, monitorującego i odstrasżającego faunę z okolic pasa startowego²⁰².

Port lotniczy Fairbanks na Alasce: robot patrolujący odstrasżający dzikie zwierzęta

W 2024 r. Fairbanks International Airport rozpoczął testy czworonożnego robota o nazwie Aurora, mającego zwiększyć bezpieczeństwo operacji lotniczych poprzez aktywne odstrasżanie dzikiej fauny z terenów operacyjnych portu lotniczego. Wykorzystuje on technologię dostarczoną przez firmę Boston Dynamics, waży ok. 32,5 kg, a jego wartość to ok. 70 tys. dolarów. Wyposażona w zaawansowane sensory, Aurora patroluje okolice pa-



Źródło: Fairbanks International Airport

196 B. Zinczuk, Automatyzacja i robotyzacja jako wyzwanie dla rynku pracy, [w:] „Zeszyty Naukowe UEK”, nr 2(992)/2021, s. 107.

197 M. Ghoush, Elevating Air Travel: The Evolution of Airports with Automation, inxee.com, 22 lutego 2024 r.

198 R. Roy, Why Automation Is Key to Airport Efficiency, blog.gunneboentrancecontrol.com.

199 Smiths Detection launches new automatic object recognition software – iCMORE Prohibited Items, smithsdetection.com, 22 lutego 2023 r.

200 Meet Secom, the security robot patrolling at Kansai international airport, en.newsroom.vinci-airports.com, 23 października 2021 r.

201 T. May, Autonomous Patrol Cars Deployed at Hong Kong International Airport, 17 marca 2022 r.

202 T. Batchelor, Robots: Airports benefit from automation, airportsinternational.com, 5 czerwca 2024 r.

sów startowych, pomagając zapobiegać kolizjom z dzikimi zwierzętami, a także zbiera dane we współpracy z biologiem dzikiej przyrody, identyfikując gatunki i dokumentując obecność ptaków migrujących. Robot stosuje wyłącznie nieletalne metody odstrasżania. Aurora może poruszać się z prędkością do 5,7 km/h i pracować przez około 90 minut przed koniecznością 30-minutowego ładowania. Jest sterowana za pomocą pilota, tabletu lub komputera przez operatora, ale posiada także funkcje autonomiczne oraz możliwość zdalnej obsługi przez LTE/5G (zasilanej przez GCI). Podczas pracy zawsze towarzyszy jej ludzki operator. Aurora potrafi chodzić, czołgać się, siadać i kucać, a jej testy na terenie Fairbanks stanowiły pierwszy tego rodzaju projekt w USA w zakresie wykorzystania robotów do aktywnego zarządzania dziką fauną na terenach lotniskowych. Projekt został sfinansowany w ramach grantu realizowanego we współpracy z Departamentem Rolnictwa USA (USDA) i jest częścią szerszej inicjatywy Alaska DOT&PF mającej na celu wdrażanie nowoczesnych technologii w infrastrukturze transportowej stanu²⁰³.

W zakresie infrastruktury, roboty coraz częściej wspierają budowę oraz prace utrzymaniowe w obiektach lotniskowych. Na terenie portu lotniczego w Stavanger (Norwegia), operator Avinor testuje robota sterowanego technologią 5G, który inspekcjonuje oświetlenie pasów startowych, wykrywa uszkodzenia nawierzchni oraz płoszy ptaki na terenach lotniskowych²⁰⁴. Port lotniczy w Stuttgarcie eksploatuje natomiast system autonomicznego odśnieżania, wykorzystujący pojazdy z technologią AirfieldPilot. Umożliwia ona samodzielne usuwanie śniegu i lodu z pasów startowych, dróg kołowania i płyt lotniskowych nawet przy ograniczonej widoczności, a jego działanie opiera się na precyzyjnej nawigacji satelitarnej²⁰⁵.

W obszarze zarządzania ruchem bagażowym nowoczesne rozwiązania, takie jak elektryczny autonomiczny ciągnik Auto-DollyTug testowany m.in. w porcie lotniczym Changi w Singapurze, umożliwiają szybki i elastyczny transport kontenerów bagażowych w ciasnych przestrzeniach²⁰⁶. W Mexico City Airport robot Leo już od 2017 r. pomaga pasażerom przy odprawie i automatycznie przewozi ich bagaże do systemu sortowania²⁰⁷.

Automatyzacja i autonomizacja obsługi bagażowej

W nowoczesnych portach lotniczych automatyzacja procesów związanych z obsługą bagażu i pasażerów jest coraz szerzej stosowanym sposobem zwiększania wydajności i poprawy jakości usług. Jednym z przykładów takich rozwiązań jest autonomiczny system transportu bagażu Daifuku wdrożony w porcie lotniczym Detroit Metropolitan (USA). System ten wykorzystuje autonomiczne wózki, które samodzielnie przewożą oznaczone bagaże z taśmociągu do stanowisk kontrolnych i dalej po zakończonym skanowaniu, odciążając



Źródło: Dallas Fort Worth International Airport

203 Meet Aurora – Wildlife Mitigation, dot.alaska.gov.

204 A. Turner, Civil airport operator chooses Telia Norway as its 5G pilot partner, mobileeurope.com, 27 października 2023 r.

205 T. May, Stuttgart Airport Deploys Autonomous Snow Clearing Vehicles, airportindustry-news.com, 23 września 2022 r.

206 Changi Airport in Singapore to Utilize Auto-DollyTug Autonomous Electric Baggage Vehicles, assemblymag.com, 14 maja 2024 r.

207 SITA demonstrates baggage handling robot Leo at Mexico City Airport, airport-technology.com, 22 lipca 2017 r.

w ten sposób pracowników ochrony i usprawniając cały proces kontroli bezpieczeństwa²⁰⁸.

Kolejnym innowacyjnym rozwiązaniem jest system FLEET, wdrożony m.in. w portach lotniczych w Rotterdamie, Dallas-Fort Worth oraz Charlotte Douglas International Airport. Eliminuje on konieczność stosowania stałych taśmociągów i tradycyjnych sortowni bagażu – każda sztuka bagażu jest transportowana przez autonomiczny pojazd, który samodzielnie wyznacza najbardziej optymalną trasę przejazdu przez terminal²⁰⁹.

W 2020 r. w londyńskim porcie lotniczym Heathrow, w Terminalu 5, testowane były autonomiczne roboty od brytyjskiego start-upu BotsAndUS. Ci zautomatyzowani asystenci podróżnego, wyposażeni w sztuczną inteligencję, wspomagali obsługę pasażerów, poprawiając płynność ruchu w terminalu, a w efekcie utrzymanie punktualności lotów²¹⁰.

W obszarze transportu bagażu na płytach lotniskowych rozwijany jest również system Orokarts firmy Orok. To flota autonomicznych, elektrycznych wózków wyposażonych w systemy antykolizyjne i posiadające zdolność jazdy we wszystkich kierunkach. Orokarts wykorzystują AI do planowania tras i zarządzania ładunkami, umożliwiając efektywne przemieszczanie bagażu między terminalem a samolotami, co pozwala na redukcję zużycia energii i kosztów operacyjnych nawet o odpowiednio 70% i 50%²¹¹.

Robotyka poprawia również efektywność realizacji prac budowlanych w portach lotniczych. Przykładowo, w Londynie, w 2022 r. podczas modernizacji tunelu cargo na Heathrow, firma Mace wykorzystwała robota-psa „Dave” wyprodukowanego przez Boston Dynamics. Wyposażony był on w skaner 3D i zbierał dane z placu budowy, co pozwoliło na lepsze monitorowanie postępu prac²¹².

Równie dynamicznie rozwija się wykorzystanie robotyki w przestrzeniach handlowych i usługowych portów lotniczych. W monachijskim porcie lotniczym autonomiczny robot Jeeves sprzedaje przekąski i napoje, umożliwiając pasażerom zakupy bez konieczności kontaktu z personelem²¹³. W porcie lotniczym w Belfaście (Irlandia Północna) w jednej z restauracji testowano roboty BellaBot i HolaBot, które dostarczały zamówienia oraz zbierały brudne naczynia, odciążając tym samym obsługę i pozwalając jej skupić się na klientach²¹⁴.

Automatyzacja nie omija także sfery związanej z utrzymaniem czystości w przestrzeniach lotniskowych. W tym zakresie technologia ta gwałtownie zyskuje na popularności – zestawiając II kwartał 2023 i 2024 r., wykorzystanie robotów do sprzątania w europejskich portach lotniczych wzrosło o 96%, a floty tych urządzeń obsłużyły w tym czasie ponad 270 mln m² powierzchni²¹⁵. W październiku 2023 r. w porcie lotniczym w Birmingham wdrożono koboty firmy ICE, które samodzielnie myją podłogi, korzystając z kamer 3D do dokładnego mapowania powierzchni i automatycznego

ładowania oraz napełniania zbiorników²¹⁶. W 2020 r. port lotniczy Cincinnati/Northern Kentucky był pierwszym amerykańskim portem lotniczym, które wdrożyło robota Neo do sprzątania terminali. Podobne urządzenia funkcjonują m.in. w portach lotniczych Charles De Gaulle w Paryżu, singapurskim Changi, tokijskich Narita i Haneda, Kansai w Osace, Montréal-Pierre Elliott Trudeau International oraz Ben Gurion w Tel Awiwie²¹⁷.

Innowacyjne rozwiązania skierowane bezpośrednio do pasażerów również zyskują na popularności. W Stanach Zjednoczonych, w salonikach XpresSpa, pasażerowie mogą skorzystać z autonomicznego urządzenia MiNiCURE firmy Clockwork, które wykonuje szybkie manicure dzięki technologii 3D. Technologia ta jest dostępna m.in. w portach lotniczych w Miami i JFK²¹⁸. Natomiast w japońskim porcie lotniczym w Kobe pasażerom pomagają roboty-asystenci, które odpowiadają na pytania, pomagają w nawigacji i doradzają w wyborze restauracji²¹⁹.

W zakresie lotniczego ruchu cargo, automatyzacja i autonomizacja w połączeniu z robotyką staje się podstawą bardziej inteligentnych, elastycznych i bezpiecznych operacji logistycznych. Technologie te przekształcają procesy, zwiększając efektywność, ograniczając błędy ludzkie i poprawiając bezpieczeństwo operacyjne²²⁰. Coraz większą rolę ogrywają np. wizyjne systemy komputerowe (Computer Vision, CV). Umożliwiają one zautomatyzowane skanowanie kodów kreskowych, QR i etykiet w czasie rzeczywistym, co poprawia śledzenie przesyłek i zwiększa bezpieczeństwo. CV mierzą też wymiary ładunków w ruchu, wspierając automatyzację budowy jednostek ładunkowych (ULD), a także wykrywają uszkodzenia podczas załadunku, transportu i rozładunku, zapewniając integralność przesyłek. CV wspomagają również wykrywanie zagrożeń poprzez analizę zdjęć rentgenowskich, co pozwala na identyfikację nielegalnego handlu i zwiększa skuteczność kontroli bezpieczeństwa. Monitorowanie przepływów pracy w magazynach pozwala na wykrywanie nieefektywności i wąskich gardeł. Automatyczna kontrola jakości umożliwia natomiast weryfikację stanu opakowań, zgodności z przepisami oraz analizę rozbieżności danych z lotniczymi listami przewozowymi (Air Waybill, AWB). CV wspiera również bezpieczeństwo pracowników dzięki analizie potencjalnych zagrożeń w środowisku pracy. Efektywność tych systemów zależy jednak od zaawansowanej infrastruktury, stabilnej sieci i integracji danych, co wiąże się z wysokimi kosztami wdrożenia i wyzwaniem regulacyjnymi²²¹.

W branży lotniczego cargo wykorzystywane są coraz częściej automatyczne pojazdy prowadzone (Automated Guided Vehicles, AGV) oraz autonomiczne roboty mobilne (Autonomous Mobile Robots, AMR). Te pierwsze poruszają się po z góry określonych trasach przy pomocy pasów magnetycznych, torów lub czujników. Wykorzystywane są do transportu kontenerów, ULD-ów i palet pomiędzy strefami załadunku, magazynami i samolotami. Dzięki automatyzacji tych procesów, AGV ograniczają konieczność ręcznego przemieszczania ładunków, zwiększają wydajność i poprawiają wykorzystanie przestrzeni magazynowej. Sprawdzają się w środowiskach o dużym wolumenie ładunków i przewidywalnych trasach, ale sztywna infrastruktura przy pomocy której się

208 Helping Reduce Staff Workload at US Airports with the “MIT” AGV-Based Inspection Table, Daifuku.com, 15 grudnia 2023 r.

209 J. Turner, The sky's the limit: how automation is transforming airside operations, airport-technology.com, 22 kwietnia 2021 r.

210 British Airways to trial AI-powered robots at Heathrow T5, airport-technology.com, 20 grudnia 2019 r.

211 J. Turner, The sky's..., op. cit.

212 'Dave' the robot dog reports for duty at Heathrow Airport, macegroup.com, 5 grudnia 2022 r.

213 T. May, Autonomous Service Robot introduced at Munich Airport, airportindustry-news.com, 8 marca 2024 r.

214 SSP to trail robot servers at Belfast's Sip & Stone Restaurant, reataurantonline.co.uk, 20 października 2022 r.

215 M. Spruijt, How automation is transforming European airports, listopad 2024.

216 U. O'Sullivan-Dale, Birmingham Airport introduces ICE cleaning cobots, roboticsandautomationmagazine.co.uk, 10 października 2023 r.

217 S. Crowe, CVG first US airport to deploy Advibots Neo floor-scrubbing robot, therobotreport.com, 7 kwietnia 2020 r.

218 XpresSpa debuts Clockwork robotic manicures at MIA, news.miami-airport.com, 20 lipca 2023 r.

219 Robots to welcome and assist passengers at Kobe airports, en.newsroom.vinci-concessions.co, 20 września 2021 r.

220 Artificial Intelligence in Air Freight: Transforming the Industry, expedock.com, 12 lutego 2025 r.

221 2025 Vision..., op. cit., s. 14.

poruszają, ogranicza elastyczność w dynamicznie zmieniających się układach magazynowych²²². Wymagają więc one dedykowanego środowiska pracy oraz integracji z systemami zarządzania ruchem i zasobami. Testowe wdrożenia AGV zrealizowano m.in. w hubach cargo w portach lotniczych we Frankfurcie i w Barcelonie.

AGV w portach lotniczych we Frankfurcie i Barcelonie

W 2022 r. w centrum cargo Swissport w porcie lotniczym we Frankfurcie uruchomiono pilotażowy projekt zastosowania automatycznych pojazdów prowadzonych (AGV), zastępujących ręczny transport ładunków. Pojazd o nośności 6,8 t samodzielnie przemieszczał



Źródło: Lödige Industrie

różne jednostki ULD, w tym kontenery 15-stopowe, pomiędzy kluczowymi strefami: magazynem, rampami ładunkowymi, centrum farmaceutycznym oraz obszarem składowania ULD. AGV wykorzystywał napęd umożliwiający płynne poruszanie się w wielu kierunkach, skanery laserowe, komunikował się z bramami i innymi urządzeniami automatyki oraz współpracował z systemem zarządzania materiałami²²³.

W 2023 r. na terenie portu lotniczego Josep Tarradellas Barcelona-El Prat przeprowadzono 10-tygodniową pilotażową eksploatację ciągnika AGV przeznaczonego do transportu cargo między magazynem a płytą lotniskową. Projekt zrealizowała firma Worldwide Flight Services (WFS) i operator lotniskowy Aena oraz partnerzy technologiczni. AGV przemieszczał ładunki na trasie o długości 2,3 km między terminalem cargo WFS a Terminalem 1, nie wjeżdżając do stref manewrowych samolotów. Ciągnik samodzielnie rozpoznawał otoczenie, wykrywając przeszkody z odległości 4–10 m, a także dostosowywał swoją prędkość i ruch, aby unikać kolizji. AGV pracował całodobowo, zapewniając stałą prędkość działania, monitorowanie trasy, elastyczne trasowanie oraz śledzenie w czasie rzeczywistym dzięki systemowi telemetrycznemu i geolokalizacji²²⁴.

W przeciwieństwie do AGV, autonomiczne roboty mobilne (AMR) nie korzystają jedynie ze stałych tras. Poruszają się dynamicznie, analizują otoczenie za pomocą czujników, mapowania w czasie rzeczywistym i algorytmów AI. Wykorzystywane są więc w złożonych, często modyfikowanych środowiskach cargo. Wspierają transport wewnętrzny, sortowanie, inwentaryzację oraz procesy przygotowania przesyłek przed ich dalszym transportem lub załadunkiem. Znajdują zastosowanie również w logistyce chłodniczej, przemieszczając towary wrażliwe na temperaturę. Minusy wykorzystania AMR w lotniczym cargo to wysokie koszty początkowe, złożoność integracji z istniejącymi systemami oraz konieczność zapewnienia niezawodnej łączności bezprzewodowej. Ich znaczenie będzie jednak rosło, wraz z rozwojem technologii IoT, AI i przetwarzania chmurowe-

222 From manual to automated: A deep dive into AGVs in air cargo, lodige.com.

223 Swissport launches test of Automated Guided Vehicle in Frankfurt, aircargoweek.com, 1 sierpnia 2022 r.

224 E. Hardy, WFS and Aena launch trial of Automated Guided Vehicles for cargo transportation at Barcelona airport, aircargoweek.com, 27 marca 2023 r.

go²²⁵. Rozwiązania AMR testowane już były w warunkach lotniskowych – np. w porcie lotniczym w Monachium w 2024 r.

EvoBOT w porcie lotniczym w Monachium

W 2024 r. w monachijskim porcie lotniczym testowany był robot evoBOT, stworzony przez Fraunhofer Institute. W terminalu cargo wykonywał on transport ładunków (do 100 kg) i wspomagał prace przy załadunku samolotów. EvoBOT porusza się na dwóch kołach i posiada ramiona chwytające, co pozwala mu na samodzielne, stabilne operowanie. Testy odbyły się w terminalu cargo oraz na płycie lotniskowej przy współpracy z firmą Cargogate. EvoBOT, osiągający prędkość do 60 km/h, udowodnił swoją wszechstronność m.in. w transporcie przesyłek, obsłudze towarów niebezpiecznych i wsparciu przy załadunku i rozładunku samolotów. Jak wskazywały władze portu lotniczego, celem realizacji projektu była odpowiedź na braki kadrowe w obsłudze cargo lotniczego i postępującą cyfryzację. Inicjatywa była częścią programu Digital Testbed Air Cargo (DTAC), finansowanego przez niemieckie ministerstwo transportu i realizowanego przez konsorcjum 11 partnerów branżowych i badawczych²²⁶.



Źródło: Munich Airport

W lotniczym cargo coraz częściej zastosowanie znajdują także roboty stacjonarne i roboty współpracujące (koboty, cobots). Te pierwsze realizują powtarzalne zadania na wyznaczonych stanowiskach pracy z dużą precyzją i szybkością²²⁷. Znajdują one zastosowanie w automatycznym sortowaniu ładunków, układaniu palet, skanowaniu oraz w systemach kontroli bezpieczeństwa, gdzie wykorzystują AI i rozpoznawanie obrazu do analizy przesyłek. Wspierają także logistykę w kontrolowanej temperaturze, umożliwiając stabilną obsługę ładunków wymagających określonych warunków klimatycznych. Ich zaletą jest wysoka dokładność i szybkość działania, natomiast ograniczeniem – brak elastyczności oraz konieczność kosztownej integracji z infrastrukturą. Kluczowymi technologiami wspomagającymi są tu AI, zaawansowane czujniki oraz Internet Rzeczy (IoT)²²⁸.

Natomiast roboty współpracujące, czyli koboty, pracują „ramię w ramię” z człowiekiem. Również wykorzystują czujniki, AI oraz systemy bezpieczeństwa, dzięki czemu są w stanie zachowywać interakcję z pracownikami²²⁹. W sektorze lotniczego cargo, koboty wspierają sortowanie, układanie i pakowanie ładunków, a także skanowanie kodów i kontrolę jakości. Dzięki większej elastyczności niż w pełni autonomiczne systemy, są praktycznym rozwiązaniem do zautomatyzowania powtarzalnych procesów bez konieczności eliminowania nadzoru ludzkiego. Wdrażanie kobotów wiąże się jednak z potrzebą przeszkolenia załogi, integracji z istniejącymi procesami oraz inwestycji w infrastrukturę. Ich skuteczność zależy od kompatybilności z systemami zarządzania, łączności

225 2025 Vision..., op. cit., s. 16.

226 B. Wessling, evoBOT completes first tests at Munich Airport, therobotreport.com, 20 lipca 2023 r.

227 Types of industrial robots and their different uses, howtorobot.com, 5 września 2024 r.

228 2025 Vision..., op. cit., s. 17.

229 Cobots: Cooperation between humans and machines, cargo-partner.com.

IoT i algorytmów decyzyjnych opartych na danych²³⁰. Koboty wykorzystywane są m.in. w portach lotniczych Schiphol w Amsterdamie²³¹ i w Birmingham²³².

Biometria

Biometria to dziedzina technologii informatycznych zajmująca się identyfikacją oraz weryfikacją tożsamości osób na podstawie ich indywidualnych cech fizycznych lub behawioralnych. W środowisku portów lotniczych wykorzystywane są przede wszystkim trzy rodzaje technologii opartych na biometrii: rozpoznawanie twarzy, skanowanie tęczówki oka oraz odciski palców. Są one implementowane w różnych punktach procesu podróży – od odprawy, przez kontrolę graniczną, aż po wejście na pokład samolotu – stanowiąc alternatywę dla tradycyjnych metod identyfikacji pasażerów.

W ostatnich latach technologie biometryczne zyskały na znaczeniu jako kluczowe narzędzia zwiększające efektywność operacyjną oraz poziom bezpieczeństwa w portach lotniczych. Umożliwiają one m.in. skrócenie czasu obsługi pasażerów, zmniejszenie kolejek oraz zwiększenie przepustowości terminali przy jednoczesnym podniesieniu komfortu podróży. W 2024 r. systemy biometryczne funkcjonowały już w 238 portach lotniczych w Stanach Zjednoczonych, gdzie cieszą się wysokim poziomem akceptacji społecznej²³³.

Zastosowanie technologii rozpoznawania twarzy w porcie lotniczym w Monachium pozwoliło znacząco skrócić czas odprawy oraz zautomatyzować procesy bez konieczności ingerencji personelu²³⁴. To wdrożenie uznawane jest za modelowe i wskazujące kierunek dalszego rozwoju cyfryzacji procesów lotniskowych w skali międzynarodowej.

Należy też zwrócić uwagę, iż biometria wykracza poza obszar portu lotniczego, pojawiając się już na etapie zakupu biletu lotniczego w zaciszu domowym. Zgodnie z badaniem IATA Global Passenger Survey z 2024 r., aż 72% klientów linii lotniczych rezerwuje większość swoich lotów za pośrednictwem internetu²³⁵. Mogą oni rejestrować dane biometryczne w aplikacji linii lotniczych lub na terenie terminalu, przysyłając selfie i zdjęcie paszportu do jednorazowego porównania. Po powiązaniu profilu z kartą pokładową, możliwe jest korzystanie z biometrycznej identyfikacji przy wybranych lotach.

Technologie biometryczne mogą być wykorzystywane w różnych sferach aktywności w portach lotniczych – w odprawie bagażowej, w ramach śledzenia bagaży, uwierzytelnianiu załogi czy nawet dostępu do poczekalni²³⁶. Mają one szczególne znaczenie dla śledzenia pasażerów i bagażu na terenie portów lotniczych bez użycia fizycznych etykiet, dzięki integracji biometrii z RFID, AI oraz technologiami chmurowymi²³⁷.

Sama procedura uwierzytelniania biometrycznego złożona jest z wielu procesów. Podstawą jest

230 2025 Vision..., op. cit., s. 18.

231 Baggage robot takes over the heavy lifting, schiphol.nl, 27 listopada 2023 r.

232 U. O'Sullivan-Dale, Birminhgam Airport introduces..., op. cit.

233 B. Kumar, How biometrics are redefining the airport experience, airport-technology.com, 25 listopada 2024 r.

234 L. Pichler, U. Barth, The role of biometrics at Munich Airport, internationalairportreview.com, 5 lipca 2024 r.

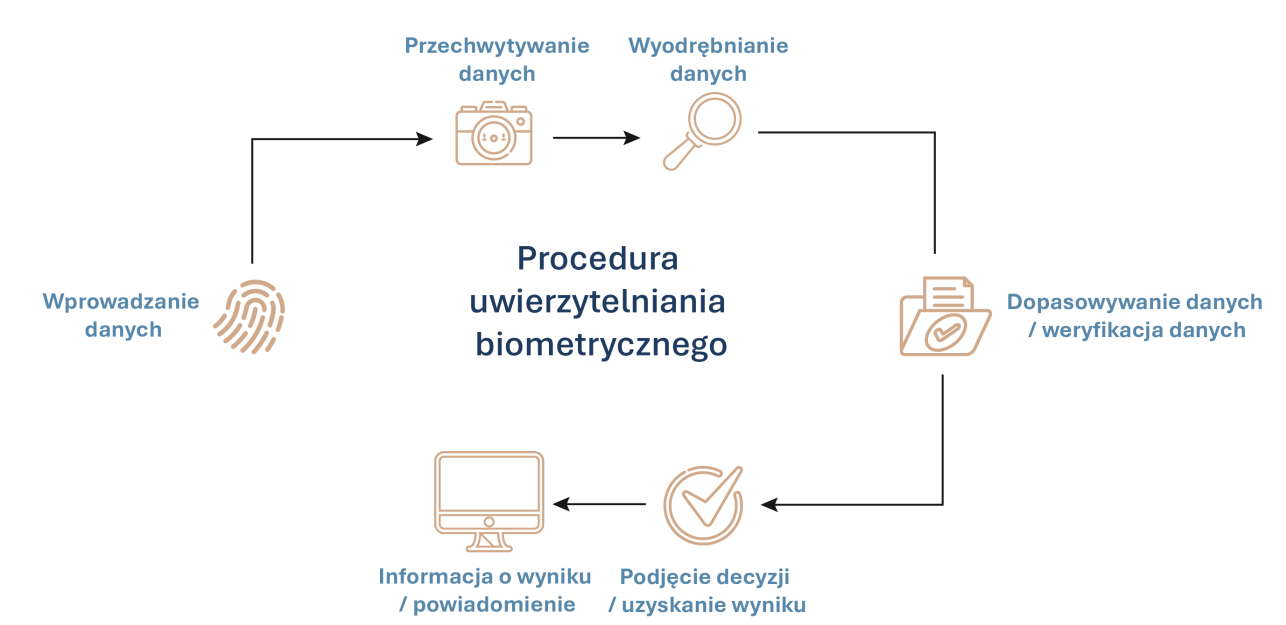
235 N. Dunets, How Biometrics Is Revolutionizing the Airport Security and Boarding Process, regulaforensics.com, 31 stycznia 2025 r.

236 A. Sharma, What are the Applications of Biometrics in Airports, encstore.com, 23 stycznia 2024 r.

237 Biometric bag IDs: A future without tags, beimergroup.com.

dobrze skalibrowany i skonfigurowany system złożony m. in. ze skanerów linii papilarnych, kamer do rozpoznawania twarzy, skanerów tęczówki. System musi mieć dostęp do bazy danych, na podstawie których można dokonać uwierzytelnienia. Następnie podczas rejestracji biometrycznej w wyznaczonych punktach przekazywane są dane, takie jak odciski palców czy zdjęcia twarzy. System sprawdza ich jakość, a następnie szyfruje i bezpiecznie przechowuje dane w bazie, aby mogły być użyte do późniejszego uwierzytelniania. Kolejnym etapem jest proces uwierzytelniania biometrycznego polegający na przechwyceniu danych biometrycznych użytkownika w czasie rzeczywistym, wyodrębnieniu z nich cech charakterystycznych i porównaniu ich z zapisanymi wcześniej szablonami w celu określenia, czy spełniają próg dopasowania, a następnie poinformowaniu użytkownika o wyniku. W trakcie procesów weryfikacyjnych stosowane są środki bezpieczeństwa i prywatności systemu, takie jak szyfrowanie danych biometrycznych oraz uwierzytelnianie wieloczynnikowe, jak np. łączenie danych biometrycznych z hasłami lub tokenami. System jest nieustannie monitorowany operacyjnie pod kątem wystąpienia błędów lub manipulacji. Baza danych jest regularnie aktualizowana, tak by zapewnić jak największą dokładność i usuwać nieaktualne informacje. W przypadku awarii systemu lub nieudanej autoryzacji, przewidziane są procedury awaryjne, polegające na ręcznym sprawdzaniu tożsamości. Operatorzy dbają o ochronę danych osobowych zgodnie z obowiązującymi przepisami jak np. RODO czy też innymi wytycznymi władz lokalnych. W celu zapewnienia najwyższej jakości uwierzytelniania, sprzęt podlega regularnej aktualizacji oraz rutynowym audytom²³⁸.

Rysunek 5. Procedury przeprowadzania uwierzytelniania biometrycznego



Źródło: A. D. Pena, M. Gutierrez, M. Guinto, Balancing Security and Privacy: A Study on Biometric Authentication Implementation in Airports and Airlines, [w:] „International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology”, vol. 4, nr 1, grudzień 2024.

Technologie biometryczne w ostatnich latach odnotowały znaczny rozwój. W latach 2013–2021 w USA prowadzono testy takich systemów, opartych na rozpoznawaniu twarzy na obszarach portów lotniczych. Ujawniły one cały szereg problemów, wynikających z relatywnie niskiej jakości

238 A.D. Pena, M. Gutierrez, M. Guinto, Balancing Security and Privacy: A Study on Biometric Authentication Implementation in Airports and Airlines, [w:] „International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology”, vol. 4, nr 1, grudzień 2024.

zdjęć, zmieniających się rysów twarzy pasażerów wraz z wiekiem oraz warunków oświetleniowych. Technologia była stosowana tylko dla osób w wieku od 14 do 79 lat, a największe problemy dotyczyły podróżnych poniżej 29 lat i powyżej 70. roku życia. Z czasem jednak wdrożenie nowoczesnych systemów i lepszego oprogramowania pozwoliło osiągnąć skuteczność dopasowań na poziomie 99,97%²³⁹.

Obecnie biometria uważana jest za skuteczną i bezpieczną, zwłaszcza gdy stosuje się podejście multimodalne, łączące różne metody – np. odciski palców i rozpoznawanie tęczy. Minimalizuje to liczbę błędów i zwiększa niezawodność systemu. Wyzwania pojawiają się jednak w przypadku osób starszych oraz zaawansowanych prób oszustwa, takich jak np. używanie silikonowych masek. Dlatego kluczowe jest wdrażanie zróżnicowanych, wzajemnie uzupełniających się metod weryfikacji tożsamości²⁴⁰. Innym podnoszonym wyzwaniem są zagrożenia związane z ochroną danych osobowych i możliwością cyberataków²⁴¹.

Mimo rosnącej popularności technologii biometrycznych, ich implementacja nie jest wolna od przeszkód. W szczególności w USA obserwuje się silny wpływ przepisów prawnych, które spowalniają wdrażanie nowoczesnych systemów. Przykładem jest projekt ustawy Traveler Privacy Protection Act, zakładający konieczność uzyskania zgody Kongresu przed każdą implementacją rozwiązań biometrycznych przez TSA (Transportation Security Administration)²⁴². W marcu 2025 r. IATA zaapelowała do przedstawicieli rządu i przemysłu o przyjęcie technologii tożsamości cyfrowej w celu usprawnienia bezpieczeństwa lotnictwa, podkreślając znaczenie globalnej współpracy i standardów, takich jak Verifiable Credentials i Decentralized Identifiers. W związku z tym organizacja promuje inicjatywę One ID oraz opublikowała dokument Aviation Security Trust Framework, a kluczowe znaczenie mają również systemy takie jak elektroniczny system autoryzacji podróży do strefy Schengen ETIAS (European Travel Information and Authorization System), który ma ruszyć pod koniec 2026 r.²⁴³ Choć sam w sobie nie jest on wizą, stanie się obowiązkowym elektronicznym zezwoleniem dla obywateli 59 państw zwolnionych z obowiązku wizowego, podróżujących do 30 krajów europejskich, w tym państw strefy Schengen²⁴⁴. Jego zadaniem będzie wczesna identyfikacja potencjalnych zagrożeń, zanim podróżny przekroczy granicę, co istotnie wpisuje się w szerszy trend automatyzacji i prewencyjnej analizy danych.

Komplementarnym rozwiązaniem będzie system EES (Entry/Exit Systems), który ruszy kilka miesięcy wcześniej – w październiku 2025 r. – i zastąpi ręczne stemplowanie paszportów, rejestrując w sposób cyfrowy wszystkie wjazdy, wyjazdy oraz odmowy wjazdu obywateli państw trzecich, przy użyciu danych biometrycznych, takich jak odciski palców i obrazy twarzy²⁴⁵, ²⁴⁶. Oba systemy, stanowiące nową warstwę europejskiej infrastruktury granicznej, będą również wpływać na sposób funkcjonowania portów lotniczych i zintegrowanych systemów odpraw wspieranych przez sztuczną inteligencję.

239 J. Horkay, V. Tymofiv, S. Al-Rabeei, Using biometrics for Facial Recognition at Airports, [w:] „Acta Avionica Journal”, grudzień 2022 r.

240 The role of biometrics in transforming airport operations, worldconstructiontoday.com, 15 stycznia 2025 r.

241 J. Nowak, K. Ogonowski, J. Z. Achimowicz, Impact of biometry on airport safety, current status and perspectives, luty 2024 r.

242 J. Lunter, How biometrics is driving innovations in airports despite legislative restrictions, internationalairportreview.com, 13 września 2024 r.

243 L. Pfalz, IATA Calls for Digitization of Aviation Security, travelpulse.ca, 24 marca 2025 r.

244 What is ETIAS, travel-europe.europa.eu, 10 marca 2025 r.

245 Key differences between ETIAS and the EES, travel-europe.europa.eu, 9 stycznia 2025 r.

246 What is the EES?, travel-europe.europa.eu, 10 marca 2025 r.

Początki wdrażania technologii biometrycznych w portach lotniczych sięgają końca drugiej dekady XXI w. Pilotażowe programy rozpoznawania twarzy były realizowane przez niektóre amerykańskie porty lotnicze już w 2018 r. Pandemia COVID-19 dodatkowo przyspieszyła rozwój technologii bezdotykowych, ze względu na potrzebę zapewnienia higienicznych warunków podróży²⁴⁷, w tym także tych opartych na biometrii²⁴⁸, ²⁴⁹. Badanie z 2022 r. zrealizowane w Hiszpanii wykazało, że pandemia zwiększyła zaufanie i akceptację wobec biometrycznych systemów płatności, uznawanych za wygodne i bezpieczne²⁵⁰. Natomiast badanie opinii użytkowników egipskich (marzec – wrzesień 2022 r.) portów lotniczych wskazało, iż turyści mają obawy dotyczące wpływu biometrii na zdrowie i komfort, ale postrzegana łatwość użycia poprawia jej odbiór²⁵¹. Ogólnie więc technologia biometryczna zyskuje akceptację, choć nadal budzi pewne wątpliwości.

Na początku 2024 r. w Wielkiej Brytanii rozpoczęto wdrażanie największego w Europie programu rozwoju biometrii w transporcie lotniczym. Rozbudowanym systemem rozpoznawania twarzy, zintegrowanym z istniejącymi procedurami kontroli, bezpieczeństwa i odprawy objęto 14 głównych portów lotniczych w kraju, w tym Heathrow, Gatwick i Manchester²⁵². Program mający na celu poprawę efektywności operacyjnej oraz ograniczenie zależności od pracy manualnej przy kontroli pasażerów oparto na wcześniejszych udanych próbach implementacji technologii biometrycznych, które miały miejsce w 2018 r. w portach lotniczych Heathrow i Gatwick.

Monachium – w pełni zintegrowana ścieżka biometryczna

Port lotniczy w Monachium jest jednym z europejskich liderów w zakresie zastosowania biometrii. W listopadzie 2020 r. wprowadzono oprogramowanie do rozpoznawania twarzy Star Alliance Biometrics (obejmujący także m.in. porty lotnicze w Wiedniu, Frankfurtu czy Zurychu). System identyfikacji pasażerów oparty na rozpoznawaniu twarzy działa na wszystkich kluczowych etapach podróży: przy odprawie biletowej, kontroli bezpieczeństwa oraz boardingu. Projekt ten pozwolił na znaczne usprawnienie przepływu pasażerów i skrócenie czasu oczekiwania w kolejkach, a także zwiększenie poziomu bezpieczeństwa operacyjnego²⁵³.



Źródło: Munich Airport

247 M. Overkaemping, Making the Passenger Journey Touchless: Biometrics on the Rise, blog.aci.aero, 17 lutego 2021 r.

248 J. Werner, Pandemia COVID-19 a rozwój technologii biometrycznych w portach lotniczych, [w:] „Aviation and Security Issues”, no. 5, styczeń 2024 r.

249 Benefits of Innovation on the Future Air Traveller's Journey: Airport Experience, Riyadh Airports, maj 2024 r.

250 F. LiébanaCabanillas, F. MuñozLeiva, S. Molinillo, E. HigueraCastillo Do biometric payment systems work during the COVID-19 pandemic? Insights from the Spanish users' viewpoint, [w:] „Financial Innovation”, no. 8, marzec 2022 r.

251 H. El Fkharany, Applying Biometric Technology for Enhancing Airports' Efficiency: A Technology Acceptance Model as an Assessing Tool, [w:] „The International Journal of Tourism and Hospitality Studies”, vol. 3, nr 2, październik 2022 r.

252 UK Airports Launch Major Facial Recognition Expansion Across 14 Hubs, idtechwire.com, 3 stycznia 2024 r.

253 L. Pichler, U. Barth, The role ..., op. cit.

Port lotniczy Zayed International w Abu Zabi

Od 2024 r. port lotniczy w Abu Zabi (ZEA) wdraża projekt Biometric Smart Travel²⁵⁴. Obejmuje on wdrożenie czujników biometrycznych na każdym punkcie wymagającym kontroli tożsamości. Projekt jest realizowany we współpracy z tamtejszym Federalnym Urzędem ds. Tożsamości, Obywatelstwa, Cel i Bezpieczeństwa Portów ZEA, który zbiera dane biometryczne od każdego podróżnego przybywającego do Zjednoczonych Emiratów Arabskich po raz pierwszy.

Porty lotnicze w Portugalii – VINCI Airports i seamless travel

W styczniu 2024 r. VINCI Airports ogłosiło wdrożenie nowego systemu biometrycznego w portach lotniczych w Lizbonie i Porto. Pozwala on pasażerom na przejście przez cały proces podróży – od odprawy po boarding – bez konieczności okazywania dokumentów²⁵⁵. System ten wpisuje się w globalną koncepcję seamless travel, której celem jest stworzenie w pełni bezdotykowej, zautomatyzowanej ścieżki pasażera.

Red Sea International Airport (RSI)

W saudyjskim porcie lotniczym Red Sea International Airport (RSI) w 2024 r.²⁵⁶ rozpoczęto wdrażanie zaawansowanych rozwiązań technologicznych firmy SITA, które obejmują m.in. automatyzację odprawy i kontroli odlotów dzięki systemom SITA Flex i Maestro. Umożliwiają one pasażerom korzystanie z urządzeń mobilnych jako swego „pilota podróży”. Zastosowano również system SITA Bag Manager do zaawansowanej kontroli bagażu w czasie rzeczywistym. W przyszłości infrastruktura techniczna wspierać także będzie operacje wykonywane w terminalu taksówek powietrznych (AAM). RSI, promowany jako luksusowy kierunek turystyczny, ma osiągnąć obsługę miliona pasażerów rocznie do 2030 r., a jego zarząd kładzie duży nacisk na zrównoważony rozwój i ekologiczne innowacje²⁵⁷.

Międzynarodowy port lotniczy w Kuala Lumpur

W porcie lotniczym Kuala Lumpur w 2024 r. rozpoczęto inwestycję polegającą na instalacji biometrycznych bramek Datasonic z technologią kodów QR. Nowe bramki, wyposażone m.in. w urządzenia umożliwiające rozpoznawanie twarzy, skracają czas odprawy do poniżej 5 sekund i poprawiają wydajność oraz bezpieczeństwo. Rozwiązanie to, wcześniej dostępne głównie dla obywateli Malezji, zostanie rozszerzone na podróżnych z 63 krajów²⁵⁸.

254 K. Williams, The world's first airport to require biometric boarding is set to arrive in 2025, cncb.com, 22 sierpnia 2024 r.

255 VINCI Airports launches new biometric solution dedicated to passengers in Portugal, en.newsroom.vinci-concessions.com, 12 stycznia 2024 r.

256 SITA and Red Sea International Airport announce strategic partnership for Main Terminal Building, sita.aero, 10 grudnia 2024 r.

257 J. C. Convey, New era in travel: airports, airlines continue to be sweet spot for biometrics, biometricupdate.com, 10 grudnia 2024 r.

258 J. C. Convey, New era..., op. cit.

Port lotniczy Narita w Tokio

Na początku 2025 r. władze lotniska zrezygnowały z ekranów dotykowych na rzecz kiosków biometrycznych sterowanych gestami. Podróżni stojąc przed ekranem nawigują za pomocą samych ruchów dłoni²⁵⁹.

Indie

Cztery porty lotnicze w Indiach: Varanasi, Pune, Kalkucie i Vijayawadzie, wraz z firmą NEC i w ramach inicjatywy DigiYatra, wprowadziły biometryczne wejścia na pokład. Pasażerowie rejestrują swoje dane i selfie w aplikacji DigiYatra lub kioskach lotniskowych, dzięki czemu ich twarz zastępuje fizyczne dokumenty. System Digital ID firmy NEC umożliwia bezpieczne przejście przez terminal bez konieczności noszenia paszportów czy kart pokładowych. Niezwykle istotne są tutaj procedury ochronne – użytkownicy wyrażają zgodę na przetwarzanie danych biometrycznych, które są chronione za pomocą zaawansowanego szyfrowania, kontroli dostępu oraz technologii blockchain. Dzięki temu pasażerowie mają pełną kontrolę nad swoimi danymi, które są bezpiecznie przechowywane i udostępniane wyłącznie w zaufanej sieci²⁶⁰.

Nowa Zelandia

Na terenie portów lotniczych Nowej Zelandii obowiązuje system eGate, który wykorzystuje dane biometryczne, m.in. do porównania zdjęcia twarzy w e-paszporcie ze zdjęciem zrobionym przy bramce. Dane pasażerów, w tym biometryczne, przechowywane są przez 3 miesiące, po czym są trwale usuwane. Inne informacje, takie jak dane dotyczące przekraczania granicy Nowej Zelandii, przechowywane są bezterminowo. Wszystko odbywa się zgodnie z ustawą o ochronie prywatności z 2020 r. oraz innymi obowiązującymi aktami prawnymi. W razie potrzeby dane mogą być udostępniane służbom granicznym lub organom ścigania, co ma na celu zapewnienie bezpieczeństwa i porządku²⁶¹.

Carrasco International Airport (Urugwaj)

Odprawa pasażerów odbywa się z wykorzystaniem biometrycznych bramek Vision-Box, zlokalizowanych przy punktach wejścia na pokład oraz kontroli granicznej. System obsługuje wyłącznie pasażerów podróżujących na trasach międzynarodowych. W celu zapewnienia bezpieczeństwa i efektywności, dla każdego podróżnego tworzony jest jednorazowy token biometryczny, ważny wyłącznie na czas jednej podróży. Dane wykorzystywane przez port lotniczy są usuwane 30 minut po odlocie samolotu. Pozostają jedynie dane statystyczne mogące przynieść korzyści Centrum Kontroli Operacyjnej lub innym podmiotom²⁶².



Źródło: Zwipe

259 N. Dunets, How Biometrics..., op. cit.

260 Revolutionizing Air Travel in India: NEC's Digital ID Solution, nec.org, 31 października 2023 r.

261 eGate, customs.govt.nz, 26 maja 2025 r.

262 S. Wong, E. McClain, J. Cohn, R. Visser, Airport Biometrics: A Primer, Waszyngton 2021, s. 189–195.

Zwipe Access (Fraport, Niemcy)

Port lotniczy we Frankfurcie wprowadził norweskie rozwiązanie Zwipe Access, które do istniejących systemów kontroli dostępu Fraportu dodaje drugą warstwę uwierzytelniania, opartą na kartach – systemie skanowania odcisków palców. Każdy użytkownik otrzymuje spersonalizowaną kartę dostępu z zapisanymi danymi dotyczącymi odcisków palców. Po zbliżeniu jej do czytnika, system porównuje dane biometryczne z odciskiem właściciela. Jeśli wszystko się zgadza, generowany jest kod, który automatycznie otwiera dostęp do chronionej strefy. Rozwiązanie Zwipe chroni dane biometryczne, przechowując je wyłącznie na karcie użytkownika, bez potrzeby przysyłania ich do centralnych baz danych. Dzięki temu system eliminuje ryzyko naruszeń prywatności i zapewnia pełną autonomię procesu uwierzytelniania²⁶³.

„Smart Path” (Tajlandia)

Władze portu lotniczego w Tajlandii wdrożyły system identyfikacji biometrycznej „Smart Path”, który umożliwia pasażerom weryfikację tożsamości na wszystkich punktach kontrolnych bez konieczności okazywania fizycznych dokumentów. Aby z niego skorzystać, pasażer musi wyrazić zgodę na przetwarzanie danych, w tym danych osobowych, biometrycznych oraz informacji o podróży, które zostają połączone w jeden cyfrowy identyfikator – „One ID”. System działa w czasie rzeczywistym, bez przekazywania danych do zewnętrznych baz, co ogranicza ryzyko nieautoryzowanego dostępu i nieuprawnionego przetwarzania. Rozwiązanie zostało wdrożone etapowo na trasie Bangkok–Singapur, stanowiąc przykład zastosowania biometrii przy zachowaniu podstawowych zasad ochrony danych osobowych²⁶⁴.

Obserwowane trendy oraz rosnące zapotrzebowanie na szybkie i bezpieczne przemieszczanie się wskazują, że wdrażanie rozwiązań biometrycznych staje się procesem nieodwracalnym. Porty lotnicze oraz linie lotnicze coraz częściej postrzegają biometrię nie tylko jako element bezpieczeństwa, lecz także istotny czynnik poprawy Passenger Experience. Biometria niewątpliwie ma duży wpływ na czas oczekiwania na punktach kontroli bezpieczeństwa, co wpływa bezpośrednio na zadowolenie pasażerów oraz potencjał zysków portów lotniczych²⁶⁵.

Sztuczna inteligencja (AI)

Współczesne porty lotnicze stanowią złożone środowiska operacyjne, w których rosnące wymagania w zakresie efektywności, bezpieczeństwa oraz jakości obsługi pasażerów stwarzają potrzebę wdrażania zaawansowanych technologii informatycznych. W tym kontekście sztuczna inteligencja (AI) odgrywa coraz istotniejszą rolę. Jak wskazuje IATA²⁶⁶, AI znajduje zastosowanie w automatyzacji licznych lotniskowych procesów operacyjnych, obejmujących m.in. odprawy pasażerskie, zarządzanie ruchem lotniczym oraz optymalizację wykorzystania dostępnych zasobów infrastrukturalnych. Wdrożenie technologii biometrycznych oraz systemów wykorzystujących modele analizy predykcyjnej umożliwia bardziej efektywne i precyzyjne zarządzanie przepływem pasażerów.

263 L. Christou, Fraport ramps up biometric security with Zwipe, airport-technology.com, 31 maja 2022 r.

264 B. Gonzalez, Airports biometric check-ins grow as US eyes security check adoption, 3 listopada 2023 r.

265 E. Merrawe, How fast can airports deploy biometrics use to speed up passenger clearance?, gulfnews.com, 22 marca 2024 r.

266 Generative AI and Aviation. Finding crossroads for future implementation, IATA, 2023 r.

Rezultatem jest redukcja czasu oczekiwania, obniżenie kosztów operacyjnych oraz wzrost ogólnej efektywności funkcjonowania portów lotniczych.

AI rewolucjonizuje zarządzanie operacjami lotniskowymi, łącząc optymalizację procesów z zaawansowanymi metodami zwiększania bezpieczeństwa. Dzięki systemom rozpoznawania obrazu oraz analizie dużych zbiorów danych, sztuczna inteligencja wspomaga monitorowanie przestrzeni lotniskowej, umożliwiając wykrywanie potencjalnych zagrożeń w czasie rzeczywistym. Szybsze identyfikowanie nieprawidłowości oraz przewidywanie kryzysowych sytuacji pozwala na skuteczniejsze reagowanie, co wpływa na poprawę ochrony zarówno pasażerów, jak i personelu. Dodatkowo, zastosowanie AI w automatyzacji procesów odprawy pasażerskiej, zarządzaniu ruchem na pasach startowych oraz monitorowaniu przestrzeni lotniskowej przyczynia się do skrócenia czasu oczekiwania, redukcji błędów ludzkich i poprawy ogólnego komfortu podróży. Technologie te nie tylko usprawniają operacje lotniskowe, ale także znacząco zwiększają ich bezpieczeństwo, umożliwiając szybsze reagowanie na zagrożenia i zapobieganie potencjalnym incydentom.

Samo AI obejmuje cały szeroki obszar technologii. Sztuczna inteligencja w zakresie operacji lotniskowych opiera się na uczeniu maszynowym (Machine Learning, ML) w zakresie m.in. zdolności do przewidywania punktualnych przylotów, zatorów czy też opóźnień, głębokim uczeniu (Deep Learning) w zakresie przewidywania przepływów w ruchu lotniczym na różnych poziomach lotu, bezpieczeństwa czy też Passenger Experience. Jednym z rodzajów ML jest uczenie się przez wzmacnianie (Reinforcement Learning, RL) stosowane w zakresie optymalizacji zasobów, w tym lepszym zarządzaniu przestrzenią powietrzną czy poprawie długoterminowych priorytetów utrzymaniowych. Innym polem AI jest przetwarzanie języka naturalnego (Natural Language Processing, NLP) wykorzystywanego głównie do analizy opinii pasażerów, danych pochodzących z mediów społecznościowych. NLP stosowane jest więc do analizy danych w celu oceny jakości usług²⁶⁷. Ciągłe udoskonalanie tej technologii pozwoliło AI w pełni przetwarzać język ludzi, zamiast stosowania języków kodowania, co sprawiło, że NLP stało się bardziej uniwersalne i możliwe do szerszego zastosowania²⁶⁸.

Jednym z najważniejszych obszarów, w którym AI wpływa na poprawę efektywności operacyjnej portów lotniczych, jest zarządzanie przepływem pasażerów. Dzięki biometrii i systemom rozpoznawania twarzy, pasażerowie mogą przechodzić przez bramki bezpieczeństwa szybciej, co zmniejsza kolejki i zwiększa komfort podróży. Wiele portów lotniczych, w tym np. Glasgow Airport, wdrożyło też już cyfrowych asystentów AI, którzy umożliwiają pasażerom samodzielne sprawdzanie statusu lotów, znajdowanie drogi na terenie terminala oraz rezerwowanie usług²⁶⁹. Systemy oparte na AI mogą również przewidywać czas oczekiwania na różnych etapach podróży, co pozwala pasażerom lepiej planować podróż i unikać stresu związanego z opóźnieniami²⁷⁰.

W zakresie zarządzania ruchem lotniczym, AI wykorzystuje zaawansowane algorytmy do optymalizacji parkowania samolotów i zarządzania kolejnością startów, co pozwala na bardziej płynne operacje na pasach startowych. Technologie takie jak Smart Stand (optymalizacja procesów

267 A. M. Geske, D. M. Herold, S. Kummer, Artificial intelligence as a driver of efficiency in air passenger transport: A systematic literature review and future research avenues, [w:] „Journal of the Air Transport Research Society”, vol. 3, grudzień 2024.

268 C.D. Diaz Moreno, Artificial Intelligence in Airport Security: How AI Can Increase Airport Safety?, Liberty University, kwiecień 2024 r.

269 H. Miles, Glasgow Airport launches new AI-powered digital assistant, internationalairportreview.com, 23 grudnia 2024 r.

270 M. Mäkelä, Artificial intelligence to benefit the passenger experience at the airport, Haaga-Helia University of Applied Sciences, 21 kwietnia 2024 r.

turnaround) pomagają w przewidywaniu opóźnień i zakłóceń w ruchu lotniczym, umożliwiając lepszą koordynację działań i zmniejszając czas oczekiwania na start²⁷¹.

AI ma także ogromny wpływ na monitorowanie i zarządzanie zasobami lotniskowymi. Wykorzystanie uczenia maszynowego do analizy danych o przepływach pasażerów oraz obciążeniu poszczególnych terminali pozwala na bardziej efektywne rozdzielanie personelu oraz dostosowywanie infrastruktury do aktualnych potrzeb²⁷². Ponadto, dzięki systemom analitycznym opartym na AI, możliwe jest lepsze przewidywanie zapotrzebowania na usługi lotniskowe, takie jak transport bagaży czy dostępność przestrzeni parkingowych, co prowadzi do znacznej oszczędności kosztów operacyjnych²⁷³.

Sztuczna inteligencja odgrywa kluczową rolę w analizie danych w czasie rzeczywistym oraz automatyzacji kontroli bezpieczeństwa w portach lotniczych. Dzięki algorytmom predykcyjnym możliwe jest szybkie wykrywanie zagrożeń na podstawie danych z systemów bezpieczeństwa, meteorologicznych i ruchu lotniczego. AI wspiera identyfikację przeszkód na pasach startowych (np. pojazdów, zwierząt), a także automatyzuje monitoring obecności ptaków, uruchamiając procedury ich odstraszania. Technologie rozpoznawania obrazu umożliwiają z kolei szybsze i dokładniejsze skanowanie bagażu oraz kontrolę pasażerów, co znacząco podnosi poziom bezpieczeństwa i ogranicza ryzyko opóźnień. Jednocześnie AI wspomaga szybkość reakcji kontrolerów ruchu lotniczego związaną z oceną ryzyka np. wynikającą z warunków atmosferycznych, w których samolot może wylądować, dając zespołom więcej czasu na podjęcie decyzji o podjęciu istotnych działań wpływających na bezpieczeństwo lotu²⁷⁴.

W obszarze zarządzania kryzysowego sztuczna inteligencja znacząco podnosi efektywność działań ochronnych. Oparte na analizie dużych zbiorów danych systemy AI mogą przewidywać zagrożenia w postaci zakazanych przedmiotów, identyfikowania anomalii i nietypowych wzorców zachowania, sugerujących naruszenie bezpieczeństwa. AI wspiera także koordynację działań ratunkowych, przetwarzając dane z różnych źródeł i pomagając w podejmowaniu decyzji w czasie rzeczywistym. Zastosowanie AI w portach lotniczych pozwala na przewidywanie kryzysów, takich jak przeciążenie terminali czy problemy logistyczne, i wskazywanie optymalnych rozwiązań w celu ich szybkiego rozwiązania²⁷⁵, co sprawia, że operacje lotniskowe stają się bardziej elastyczne i odporne na zmieniające się warunki.

Jednym z najważniejszych obszarów, w którym AI wspomaga ochronę portów lotniczych, jest monitorowanie przestrzeni publicznych i infrastruktury krytycznej. Wdrożenie systemów opartych na AI, które analizują obraz z kamer CCTV, umożliwia automatyczne wykrywanie podejrzanych zachowań, takich jak porzucenie bagażu, nielegalne wtargnięcie do strefy zakazu wstępu czy inne sytuacje wymagające szybkiej reakcji. Dzięki rozpoznawaniu twarzy, AI pozwala na szybsze identyfikowanie osób z zakazem wstępu, co znacznie przyspiesza proces kontrolowania dostępu do określonych stref, takich jak strefy ładunkowe czy pasy startowe²⁷⁶.

271 December Edition: The OAG Airline-Tech Innovation Radar, oag.com, 5 grudnia 2024 r.

272 M. AlSeddiqi, The power of AI and machine learning for airport operations, internationalairportreview.com, 18 września 2024 r.

273 A. Vina, AI in Aviation: A Runway to Smarter Airports, ultralytics.com, 20 czerwca 2024 r.

274 V. Rizzo, How Airports Use AI to Keep Birds Off Runways, aibusiness.com, 19 grudnia 2024 r.

275 A. Grant, How AI can boost airport security, passengerterminaltoday.com, 26 listopada 2023 r.

276 O. Abbasi, Artificial Intelligence at Airports: Revolutionizing Airport Management, embross.com, 3 września 2024 r.

W zakresie skanowania bagaży i kontroli pasażerów, AI umożliwia bardziej precyzyjne wykrywanie niebezpiecznych przedmiotów lub substancji. Nowoczesne systemy oparte na sztucznej inteligencji, które wykorzystują rozpoznawanie obrazu, mogą analizować obrazy z prześwietleń bagażu, identyfikując potencjalne zagrożenia z wyższą dokładnością niż tradycyjne metody²⁷⁷. Wykorzystanie AI w tej sferze ma szczególne znaczenie w kontekście minimalizowania błędów ludzkich, co jest kluczowe w zapewnianiu bezpieczeństwa w portach lotniczych o wysokim natężeniu ruchu.

Warto podkreślić, że rozwój AI w zakresie bezpieczeństwa lotniskowego musi być zgodny z obowiązującymi normami prawnymi dotyczącymi ochrony prywatności i danych osobowych. Dlatego coraz większy nacisk kładzie się na stworzenie etycznych ram dla wykorzystywania AI w tej dziedzinie, które zapewnią równowagę między skutecznością działań ochronnych a poszanowaniem praw pasażerów i pracowników portów lotniczych²⁷⁸. W tym kontekście należy także wspomnieć o Rozporządzeniu, które weszło w życie dnia 1 sierpnia 2024 r. – Akcie o sztucznej inteligencji (AI Act). Jest to pierwsze w skali globalnej kompleksowe unijne prawo regulujące rozwój i stosowanie systemów sztucznej inteligencji. Akt wprowadza zasady mające na celu zapewnienie bezpiecznego, przejrzystego i zgodnego z prawami podstawowymi wykorzystywania AI na terenie Unii Europejskiej. Przewiduje m.in. klasyfikację systemów AI według poziomu ryzyka, zakaz niektórych szczególnie inwazyjnych zastosowań oraz obowiązki dotyczące nadzoru, przejrzystości i oceny zgodności dla systemów wysokiego ryzyka²⁷⁹.

Poza strategicznymi punktami wspomagającymi przepływ pasażerów w portach lotniczych, nowoczesne technologie wykorzystujące AI mają także wpływ na ochronę środowiska, w tym energooszczędne zarządzanie terminalem. Dzięki wykorzystaniu sztucznej inteligencji, obsługa lotniskowa ma zwiększone możliwości monitorowania jego śladu węglowego oraz zarządzania odpadami²⁸⁰. Umożliwia to osiągnięcie celów zrównoważonego rozwoju przy zachowaniu wysokich standardów operacyjnych²⁸¹.

Port lotniczy Heathrow w Londynie

Port lotniczy Heathrow w 2024 r. rozpoczęło wdrażanie systemu AI o nazwie AIMEE, który wspomaga kontrolerów ruchu lotniczego. AIMEE integruje dane radarowe i wideo, monitorując ruch na pasach startowych. System śledzi samoloty od momentu lądowania aż do opuszczenia pasa, zapewniając kompleksową wizualizację ich pozycji. Do grudnia 2024 r. przetestowano go na 40 tys. lotów w londyńskiej przestrzeni powietrznej. Wdrożenie AIMEE ma na celu zwiększenie efektywności operacyjnej i bezpieczeństwa w warunkach ograniczonych zasobów personelu kontrolerów ruchu lotniczego²⁸².

Port lotniczy Haneda w Tokio

Japan Airlines, we współpracy z firmą NEC Corporation, w okresie od kwietnia do września

277 How AI is transforming airports: from efficiency to passenger experience, buildprompt.ai, 2024 r.

278 Artificial Intelligence Roadmap 2.0. Human-centric approach to AI in aviation, Version 2.0, EASA, maj 2023.

279 Rewolucja w regulacji – wchodzi w życie akt o AI, gov.pl, 1 sierpnia 2024 r.

280 J. Kasarda, M. Chen, Airport World, Harnessing the AI Revolution, airport-world.com, 25 marca 2025 r.

281 C. Hen, How AI is reshaping the aviation industry, groundhandlinginternational.com, 9 stycznia 2025 r.

282 December Edition..., op. cit.

2024 r.²⁸³ przeprowadziły pilotażowy projekt „NEC Baggage Counting Solution” w tokijskim porcie lotniczym Haneda. Zakładał on wykorzystanie AI analizującego obrazy bagażu podręcznego pasażerów przy bramkach boardingowych. Oceniał on ich liczbę i rodzaj oraz przewidywaną załężność schowków nad głową. Dzięki temu personel bramki otrzymywał informacje, kiedy pojemność schowków jest zbliżona do maksimum, co pozwalało na efektywne zarządzanie przestrzenią bagażową i usprawnienie procesu boardingu²⁸⁴.

Port lotniczy Gatwick w Londynie

Port lotniczy Gatwick, we współpracy z easyJet, testuje technologię Smart Stand, która umożliwia zdalne zarządzanie obsługą samolotów (operacje turnaround). Koordynatorzy obsługi (TCO) monitorują za pomocą AI procesy takie jak podłączenie mostu pasażerskiego, otwieranie drzwi czy podłączenie zasilania za pomocą systemu AI. Dzięki temu możliwe jest jednoczesne śledzenie i analizowanie realizacji wielu usług, co zwiększa efektywność i redukuje ryzyko błędów ludzkich. Pilotażowy projekt rozpoczął się w maju 2024 r. i potrwa do lata 2025 r.²⁸⁵

Port lotniczy Hazrat Shahjalal – Dhaka

Port lotniczy Hazrat Shahjalal w Dhace (Bangladesz) w 2020 r.²⁸⁶ postawił sobie za cel znalezienie skutecznego rozwiązania w zakresie odstraszenia ptaków. Zdecydowano się na wdrożenie systemu AI BCMS Ventur. Technologia oparta o AI, opracowana przez firmę The Edge Company, wykorzystuje algorytmy rozpoznawania obrazu do identyfikacji gatunków ptaków i śledzenia ich ruchu w czasie rzeczywistym. System emituje nieszkodliwe dźwięki ostrzegawcze, skutecznie zapobiegając kolizjom awifauny z samolotami, bez szkody dla zwierząt. Rozwiązanie to zwiększa bezpieczeństwo operacji lotniczych i stanowi przykład zrównoważonego wykorzystania AI w ochronie portów lotniczych²⁸⁷.

Międzynarodowy Port Lotniczy w Dubaju

W porcie lotniczym w Dubaju wdrożono zaawansowany system biometryczny oparty na sztucznej inteligencji, integrujący rozpoznawanie twarzy i tęczywki w ramach procesu odprawy granicznej. Rozwiązanie to pozwala na weryfikację tożsamości pasażerów w zaledwie kilka sekund, bez konieczności fizycznej kontroli dokumentów. System znacząco zwiększa przepustowość i bezpieczeństwo operacyjne, jednocześnie minimalizując czas oczekiwania i interakcję z personelem. Stanowi to przykład efektywnego zastosowania AI w automatyzacji i optymalizacji procedur bezpieczeństwa w dużych portach lotniczych²⁸⁸.

Port lotniczy Dallas-Fort Worth

Port lotniczy DFW w 2018 r. wprowadziło rozwiązania AI (w tym uczenia maszynowego) w celu optymalizacji operacji lotniskowych oraz zwiększenia poziomu bezpieczeństwa. Zastosowanie

283 JAL and NEC Test AI-Powered Carry-On Baggage Analysis Solution, nec.com, listopad 2024 r.

284 December Edition..., op. cit.

285 Tamże.

286 The Edge Company, theedgecompany.net.

287 V. Rizzo, How Airports..., op. cit.

288 D. Liddell, The future of artificial intelligence in airports, teague.com, 2024 r.

technologii monitorowania kolejek przy użyciu czujników optycznych 3D pozwala na anonimowe śledzenie przepływu pasażerów i bagażu, a także prognozowanie czasów oczekiwania, co wspomaga zarządzanie ruchem w porcie lotniczym. Wdrożenie systemu rozpoznawania twarzy na bramkach do boardingu umożliwia natomiast bezdotykową i przyspieszoną kontrolę tożsamości pasażerów. Inicjatywy te stanowią element szerszej strategii transformacji cyfrowej portu lotniczego, mającej na celu poprawę efektywności operacyjnej i podniesienie jakości obsługi pasażerów²⁸⁹.

Port lotniczy Los Angeles

Na terenie portu lotniczego w Los Angeles sztuczna inteligencja wykorzystywana jest do monitorowania danych z kamer i czujników rozmieszczonych w terminalach. AI analizuje te dane w czasie rzeczywistym, co pozwala przewidywać obciążenie punktów kontroli bezpieczeństwa i odpowiednio zarządzać personelem. Dzięki temu możliwe jest płynniejsze przeprowadzanie odprawy oraz skrócenie czasu oczekiwania pasażerów. Systemy sztucznej inteligencji wspierają też automatyzację procesów kontroli biletów i bagażu²⁹⁰.

Port lotniczy Changi w Singapurze

AI zostało wdrożone na terenie portu lotniczego Changi m.in. w postaci zautomatyzowanych systemów obsługi bagażu oraz technologii rozpoznawania twarzy. Implementacja tych rozwiązań umożliwiła eliminację manualnych procedur oraz tradycyjnej weryfikacji tożsamości w trakcie procesu odprawy pasażerów. W rezultacie, cały proces kontroli odlotów stał się w pełni zautomatyzowany, co przyczyniło się do zwiększenia efektywności oraz precyzji operacji lotniskowych. Wprowadzono też nowoczesne roboty policyjne, które mają na celu zwiększenie poziomu bezpieczeństwa i zapewnienie dodatkowej obecności funkcjonariuszy. Dzięki AI port lotniczy może skuteczniej monitorować i reagować na sytuacje wymagające interwencji, co znacząco podnosi efektywność systemów bezpieczeństwa²⁹¹, ²⁹².

Port lotniczy w Lublanie

W styczniu 2024 r. słoweński port lotniczy w Lublanie wprowadził rozwiązanie AI firmy Assaia do obsługi postojowej. Wdrożenie programu umożliwiło optymalizację zadań przypisanych personelowi w czasie rzeczywistym²⁹³.

Analiza wdrożeń AI w różnych portach lotniczych wskazuje, że technologie te stopniowo obejmują całosciowy przebieg podróży – od wejścia na terminal, przez odprawę i kontrolę bezpieczeństwa, aż po odbiór bagażu i wyjście z portu lotniczego. Poniższy schemat obrazuje ten proces, prezentując wpływ zintegrowanego zastosowania AI w obszarach takich jak powiadomienia, kontrole, przepustowość w kolejkach, odprawa, spersonalizowana pomoc, obsługa bagażu. Lista miejsc wdrożenia procesów AI wciąż podlega poszerzeniu oraz personalizacji z uwagi na indywidualne

289 A. Grant, How AI..., op. cit.

290 J. Muller, Airports of the future: virtual queues and more, axios.com, 28 czerwca 2023 r.

291 O. Abbasi, Artificial Intelligence..., op. cit.

292 I. Rozhnovska, How AI transforms airport operations and passenger experience, sigma.software, 8 sierpnia 2024 r.

293 A. James, How is AI revolutionizing airports around the world?, passengerterminaltoday.com, 17 stycznia 2025 r.

potrzeby portów lotniczych²⁹⁴. Usprawnione procesy odprawy oraz możliwość uzyskania spersonalizowanej pomocy, wpływają nie tylko na zwiększenie lotniskowej wydajności operacyjnej, ale i bezpośrednio na komfort podróżującego²⁹⁵.

Rysunek 6. Zastosowanie technologii AI na różnych etapach podróży pasażera



Źródło: I. Rozhnovska, How AI transforms airport operations and passenger experience, sigma.software, 8 sierpnia 2024 r.

AI odgrywa też coraz większą rolę w usprawnianiu procesów lotniczego cargo w portach lotniczych. Jej zastosowanie obejmuje szereg zautomatyzowanych rozwiązań wspierających zarządzanie łańcuchem dostaw oraz obsługę ładunków. Umożliwia predykcyjne utrzymanie ruchu, co pozwala na wczesne wykrywanie potencjalnych usterek sprzętu i ograniczenie ryzyka awarii, minimalizując tym samym przestoje w pracy. Dzięki algorytmom optymalizacyjnym możliwe jest efektywne zagospodarowanie przestrzeni ładunkowej, a także automatyczne planowanie i harmonogramowanie pracy personelu oraz sprzętu, co przyczynia się do redukcji czasu obsługi i kosztów operacyjnych. Zastosowanie robotyki wspieranej przez AI przyspiesza procesy fizycznego przemieszczania i załadunku towarów, a systemy wykrywania anomalii zwiększają poziom bezpieczeństwa, umożliwiając skuteczniejszą identyfikację potencjalnych zagrożeń podczas kontroli ładunku. Zaawansowane analizy danych wspierają zarządzanie zapasami, prognozowanie zapotrzebowania oraz planowanie tras transportu, co przekłada się na lepsze wykorzystanie zasobów i terminową realizację dostaw²⁹⁶. Systemy monitorujące warunki przewożonego ładunku w czasie rzeczywistym pozwalają na zachowanie jego odpowiedniej jakości, zwłaszcza w przypadku towarów wymagających szczególnych warunków, takich jak np. chłodzenie. Ponadto technologie oparte o NLP automatyzują obsługę klienta, usprawniając komunikację i eliminując potrzebę

²⁹⁴ I. Rozhnovska, How AI ..., op. cit.

²⁹⁵ G. Schillaci, H. Carreira, N. Sachdeva, AI at the Airport, rolandberger.com, 5 lipca 2024 r.

²⁹⁶ Zob. V. Chitrakar, S. A. Puthiyaveetil, V. V. Chandran, V. Gopan, Artificial Intelligence in Air Cargo System, [w:] „SAE Technical Paper”, maj 2022 r.

ręcznego wykonywania powtarzalnych zadań. AI wspiera również zgodność z normami i regulacjami branżowymi poprzez automatyzację procesów kontrolnych i raportowania, co zwiększa transparentność i przejrzystość operacji cargo²⁹⁷.

Z AI w kontekście cargo lotniczego związana jest także automatyzacja procesów za pomocą robotów (Robotic Process Automation, RPA) w zakresie procesów administracyjnych w logistyce lotniczej. Dzięki tej technologii, operacje takie jak zarządzanie rezerwacjami, wystawianie faktur, deklaracje celne czy kontrole zgodności są automatyzowane w systemach cyfrowych, bez potrzeby ręcznej interwencji. Pozwala to znacznie zredukować liczbę błędów, przyspieszyć przetwarzanie danych i zwiększyć wydajność operacyjną obsługi cargo²⁹⁸.

Pomimo licznych korzyści, skuteczna implementacja AI wymaga starannego planowania i uwzględnienia szeregu wyzwań. Istotną barierę stanowią wysokie koszty początkowe związane z wdrożeniem technologii AI, a także konieczność dostosowania infrastruktury IT²⁹⁹. Z kolei kwestie związane z ochroną prywatności danych oraz przestrzeganiem przepisów, takich jak ogólne rozporządzenie o ochronie danych (RODO)³⁰⁰, są coraz bardziej wyzwaniem dla operatorów portów lotniczych, którzy implementują technologie rozpoznawania twarzy. Ważnym czynnikiem jest też zrozumienie podziału ról dla ludzi i sztucznej inteligencji, ponieważ od tego zależy utrzymanie równowagi między automatyzacją a możliwościami człowieka³⁰¹, co będzie mieć przełożenie na wydajniejszą pracę pracowników obsługi portów lotniczych³⁰².

Istotnym zagrożeniem dla systemów wykorzystujących AI są ataki hakerskie. Innym zagrożeniem dla cyberbezpieczeństwa są złośliwe oprogramowania oparte na AI, takie jak np. DeepLocker³⁰³. Z tego względu kluczowe staje się zaprojektowanie odpowiednich strategii wdrożeniowych, które będą w stanie zminimalizować te ryzyka, jednocześnie maksymalizując korzyści wynikające z zastosowania AI w codziennych procesach operacyjnych i ochronie portów lotniczych. Aby wykorzystać potencjał AI w pełni, konieczne jest ciągłe monitorowanie wyników jej stosowania oraz dbałość o przystosowanie zarówno infrastruktury technologicznej, jak i organizacyjnej do dynamicznie zmieniającego się środowiska w branży lotniczej³⁰⁴.

Sztuczna inteligencja staje się zatem kluczowym narzędziem w transformacji portów lotniczych, poprawiając efektywność pasażerskich i towarowych operacji lotniskowych oraz bezpieczeństwo. Choć implementacja AI wiąże się z wyzwaniami, takimi jak cyberbezpieczeństwo i kwestie regulacyjne, jej potencjał w optymalizacji procesów i poprawie doświadczeń pasażerów jest niezaprzeczalny.

Ciekawym aspektem jest wykorzystanie sztucznej inteligencji jako narzędzia do wskazania jaka przyszłość czeka porty lotnicze. AI w oparciu o dostępne dane w perspektywie do 2050 r. określa je jako miejsca nie tylko rozwinięte technologicznie w zakresie procesów operacyjnych, ale i o uno-

²⁹⁷ B. Jayaprakash, How airfreight can embrace AI, aircargoweek.com, 14 maja 2025 r.

²⁹⁸ 2025 Vision..., op. cit., s. 24.

²⁹⁹ M. Ibrahim, AI in Airport Management, ultralytics.com, 9 września 2024 r.

³⁰⁰ A. D. Pena, M. Gutierrez, M. Guinto, Balancing..., op. cit.

³⁰¹ AI in Airports, isarsoft.com, 25 marca 2025 r.

³⁰² B. Tossan, AI is already making air travel and airports better, fortune.com, 9 maja 2024 r.

³⁰³ Artificial Intelligence Roadmap 2.0..., op. cit.

³⁰⁴ K. Aravind, The Critical Role AI Plays in Reshaping Airports, airport-technology.com, 18 marca 2024 r.

wocześnionej formie architektonicznej nawiązującej do form bionicznych³⁰⁵. Przewiduje się, że w ciągu najbliższej dekady technologie AI przyczynią się do rewolucji w zakresie podróży, oferując bardziej spersonalizowaną obsługę pasażerów, zrównoważone gospodarowanie zasobami, a nawet futurystycznymi obiektami³⁰⁶. Lotniskowe technologie AI są szeroko omawiane w licznych publikacjach, skupiających się głównie na zagadnieniach dotyczących bezpieczeństwa, zarządzania i administracji, Passenger Experience oraz kontroli ruchu lotniczego. Możliwości AI będą coraz bardziej istotnym elementem przyszłych rozwiązań w branży lotniczej³⁰⁷. Z drugiej strony, choć korzyści są niezaprzeczalne, adaptacja do nowych rozwiązań wiąże się również z licznymi wyzwaniami, które mogą stanowić istotne bariery w pełnej implementacji. Technologie AI wymagają odpowiednich inwestycji, dostosowania do regulacji oraz przygotowania personelu.

Internet Rzeczy (IoT)

Wraz z rozwojem technologii i wzrostem popularności inteligentnych urządzeń w codziennym życiu, również porty lotnicze coraz intensywniej wdrażają rozwiązania oparte na Internecie Rzeczy (Internet of Things, IoT). IoT to koncepcja zakładająca współpracę wielu technologii i urządzeń połączonych w sieć, które gromadzą, przesyłają i analizują dane w celu usprawnienia działania całego systemu. W kontekście portów lotniczych oznacza to stworzenie tzw. connected airports – inteligentnych przestrzeni, w których dane z sensorów i beaconów są wykorzystywane do poprawy operacyjności oraz poziomu Passenger Experience³⁰⁸.

IoT umożliwia fizycznym obiektom – takim jak bagaż, pojazdy czy elementy infrastruktury – „widzieć”, „słyszeć”, „myśleć” i „działać” poprzez wymianę informacji oraz koordynację decyzji. IoT działa dzięki dwóm podstawowym technologiom: czujnikom oraz protokołom komunikacyjnym.

Czujniki stanowią fundament IoT. Ich zadaniem jest rejestrowanie zjawisk fizycznych i przekształcanie ich w użyteczne sygnały – zazwyczaj impulsy elektryczne odczytywane przez komputery. W środowisku lotniskowym najczęściej stosuje się czujniki zbliżeniowe, takie jak:

- **tagi RFID**: Umożliwiają śledzenie bagażu i sprzętu w czasie rzeczywistym, co minimalizuje ryzyko zagubienia i usprawnia zarządzanie zasobami;
- **beacony Bluetooth Low Energy (BLE)** – pozwalają na precyzyjne lokalizowanie pasażerów i personelu, wspierając nawigację wewnętrzną oraz personalizację usług;
- **punkty dostępne Wi-Fi** – oprócz zapewniania łączności, mogą służyć jako czujniki do monitorowania ruchu pasażerów i optymalizacji przepływu ludzi.

Protokoły komunikacyjne służą natomiast temu, aby dane z czujników mogły być efektywnie przesyłane i analizowane. Obecnie stosowane w tym zakresie technologie to m.in.:

- **LoRaWAN** – działający w paśmie nielicencjonowanym, oferujący niskie koszty operacyjne i szeroki zasięg, umożliwia monitorowanie rozległych obszarów lotniskowych;
- **Narrowband IoT (NB-IoT)** – korzystający z pasma licencjonowanego, zapewniający większą niezawodność i mniejsze zakłócenia, co jest istotne w środowiskach o dużym natężeniu sygnałów radiowych.

305 J. Bates, Vision of the Future of US Airports, airport-world.com, 28 września 2023 r.

306 J. Muller, Airports of the future..., op. cit.

307 M. H. Amiri, A. O. Kusacki, A Scoping Review of Artificial Intelligence Applications in Airports, [w:] „Computational Research Progress in Applied Science and Engineering”, 10(02), lipiec 2024.

308 A Primer to Prepare for the Connected Airport and the Internet of Things, The National Academies of Sciences Engineering Medicine 2018, s. 9–10.

W portach lotniczych technologie IoT przynoszą wymierne korzyści w zakresie efektywności operacyjnej, bezpieczeństwa i komfortu pasażerów³⁰⁹. Ich implementacja umożliwia inteligentne zarządzanie procesami, które wcześniej były czasochłonne i podatne na błędy.

Jednym z kluczowych obszarów zastosowania IoT jest śledzenie i obsługa bagażu. Tradycyjne metody były często zawodne, prowadząc do opóźnień i zagubień. Dzięki integracji systemów RFID z platformami IoT, linie lotnicze i pasażerowie mogą w czasie rzeczywistym monitorować lokalizację swoich walizek. To pozwala szybko identyfikować i rozwiązywać ewentualne problemy, znacząco redukując liczbę reklamacji oraz poprawiając jakość obsługi. Hong Kong International Airport wprowadził technologię śledzenia bagażu opartą na RFID już w 2008 r.³¹⁰

IoT umożliwia też dokładne śledzenie położenia samolotów oraz pojazdów obsługi naziemnej w obrębie portu lotniczego. Dzięki temu możliwe jest lepsze planowanie operacji, optymalizacja wykorzystania pasów startowych i stanowisk postojowych, co skutkuje ograniczaniem opóźnień w ruchu lotniczym. Dane z czujników przekazywane w czasie rzeczywistym wspierają koordynację służb lotniskowych i poprawiają płynność operacyjną. Np. dzięki zastosowaniu IoT, port lotniczy Schiphol w Amsterdamie skrócił czas kołowania samolotów o 10%³¹¹.

IoT może także znacząco wpłynąć na komfort podróżnych i poprawiać poziom Passenger Experience (PX). Dzięki danym z beaconów, czujników ruchu i aplikacji mobilnych, porty lotnicze mogą oferować pasażerom spersonalizowane informacje — np. przypomnienia o zbliżającym się boardingu, wskazówki do najkrótszej drogi do bramki czy powiadomienia o opóźnieniach. Systemy te pomagają również w zarządzaniu zbiorami pasażerów i skracają kolejki, co przekłada się na lepsze wrażenia z pobytu w przestrzeni lotniskowej. Port lotniczy w Helsinkach wprowadziło takie rozwiązanie, oparte na Wi-Fi, już w 2014 r.³¹²

IoT w porcie lotniczym w Los Angeles

Międzynarodowe port lotniczy w Los Angeles aktywnie wdraża rozwiązania z zakresu Internetu Rzeczy (IoT) w celu transformacji Passenger Experience oraz usprawnienia operacji lotniskowych. W zakresie cyfrowej nawigacji zaimplementowano zaawansowane systemy wskazywania drogi, które zapewniają pasażerom aktualizowane w czasie rzeczywistym informacje o kierunkach, statusie lotów oraz szacowanym czasie dojścia do poszczególnych punktów na terenie poszczególnych terminali. Rozwiązania te, zintegrowane z mapami portu lotniczego, wykorzystują współpracę IoT i AI, aby pomóc podróżnym w efektywnym poruszaniu się po rozległym kompleksie terminali³¹³. Technologie te są też stosowane do zwiększania przejrzystości procesów obsługi podróżnych, wyświetlając w czasie rzeczywistym informacje o czasie oczekiwania na kontrolę bezpieczeństwa i odprawę imigracyjną. Równolegle rozwijane są nowe kanały cyfrowe, w tym zaktualizowana strona internetowa i aplikacja mobilna, które mają zapewnić spójne i płynne doświadczenie cyfrowe. W ramach innowacyjnych działań funkcjonują również interaktywne kioski informacyjne³¹⁴.

309 D. Mrňa, B. Badánik, A. Novák, Internet of Things as an optimization tool for Smart Airport concept, [w:] „European Transport / Transporti Europei”, nr 82, 2021, passim.

310 P. Tkhir, Elevating the Airport Experience with IoT, iotforall.com, 2 grudnia 2024 r.

311 Exploring the Need for IoT in Airports, iot2market.com, 12 grudnia 2022 r.

312 Helsinki Airport to track passenger flows with new technology, moodiedavittreport.com, 30 lipca 2014 r.

313 Helping the City of Angels Take Flight, greshamsmith.com.

314 H. Norman, How are airports transforming their wayfinding programs?, passengerterminaltoday.com, 28 czerwca 2024 r.

Tabela 8. Zastosowanie IoT w inteligentnych technologiach lotniskowych

Inteligentne rozwiązanie	Definicja	Technologia
Inteligentny terminal (Smart Terminal)	Technologia służąca do optymalizacji zarządzania pasażerami i bezpieczeństwem na terenie portu lotniczego.	IoT, RFID, biometria, aplikacje mobilne
Inteligentny parking (Smart Parking)	System pozwalający pasażerom szybciej znaleźć wolne miejsce parkingowe.	IoT, czujniki, aplikacje mobilne
Inteligentny bagaż (Smart Luggage)	Technologia umożliwiająca podróżnym śledzenie lokalizacji ich bagażu w czasie rzeczywistym.	IoT, GPS, RFID
Inteligentne systemy bezpieczeństwa (Smart Security Systems)	Ulepszone systemy kontroli bezpieczeństwa, wykorzystujące technologię do szybszej i efektywniejszej obsługi.	IoT, biometria, wykrywacze metali
Inteligentne utrzymanie infrastruktury (Smart Maintenance)	Technologia umożliwiająca monitorowanie i planowanie utrzymania infrastruktury lotniskowej w czasie rzeczywistym.	IoT, czujniki, analiza predykatywna
Inteligentna logistyka (Smart Logistics)	Systemy optymalizujące procesy logistyczne na terenie portu lotniczego.	IoT, czujniki, chmura, blockchain
Inteligentne zarządzanie przylotami i odlotami (Smart Management of Arrivals and Departures)	Technologia umożliwiająca bardziej efektywne zarządzanie odlotami i przylotami samolotów.	IoT, czujniki, łączność satelitarna
Inteligentne oświetlenie (Smart Lighting)	Oświetlenie dostosowujące się do warunków i potrzeb portu lotniczego.	IoT, czujniki, technologia LED

Źródło: M. Baláž, K. Kováčiková, A. Novák, J. Vaculík, The application of Internet of Things in air transport, [w:] „Transportation Research Procedia”, vol. 75, 2023.

Podstawowy model działania IoT obejmuje cztery kroki: strategiczne rozmieszczenie sensorów, zbieranie i agregację danych, analizę informacji oraz wdrażanie działań naprawczych i usprawniających³¹⁵. Przykładem takiego zastosowania jest port lotniczy Dallas-Fort Worth, gdzie czujniki monitorują liczbę osób oczekujących na kontrolę bezpieczeństwa. Dane są przetwarzane w czasie rzeczywistym i wyświetlane na ekranach, informując pasażerów o przewidywanym czasie oczekiwania, co pozwala im lepiej zaplanować podróż i zredukować stres³¹⁶.

315 T. Hudson, The Promise of the Internet of Things in an Airport Environment, gensler.com.

316 DFW Airport Partners with AT&T to Bring an Elevated Wi-Fi and Wireless Experience, dfwairport.com, 4 maja 2023 r.

Rysunek 7. Zastosowanie IoT w portach lotniczych w zakresie obsługi pasażera i operacji lotniczych

Etapy podróży pasażera											
Interesariusze	Przyjazd/parking	Odprawa	Odprawa bagażu	Security	Aktywności lotniskowe	Boarding	Odlot	Przylot	Odprawa celna	Odbiór bagażu	Odjazd/parking
Linie lotnicze		Śledzenie bagażu						Śledzenie bagażu			
	Mobilne lotniskowe aplikacje nawigacyjne							Mobilne lotniskowe aplikacje nawigacyjne			
Koncesjonariusze					Beacony w sklepach						
Inni najemcy komercyjni	Aplikacje nawigacyjne										Aplikacje nawigacyjne
Transport poza portem lotniczym	Geofencing										Geofencing
Dostawcy dla lotniska	Śledzenie zasobów										
Władze bezpieczeństwa, celne i lotnicze								Analiza kolejek			
								Kontrola biometryczna			
Lotniskowy personel naziemny		Śledzenie pasażerów za pomocą Wi-Fi							Śledzenie za pomocą Wi-Fi		
	System zarządzania budynkiem										

Etapy operacji lotniczych											
Interesariusze	Lądowanie	Dotarcie do bramki	Obsługa rampowa	Boarding załogi i przygotowanie do lotu	Kontrola bezpieczeństwa	Boarding pasażerów / załadunek cargo	Plan lotu i kołowanie	Odlot	Kontrola ruchu lotniczego	Utrzymanie	
Linie lotnicze	System A-CDM				Śledzenie bagażu						
Inni najemcy komercyjni											
Dostawcy dla lotniska			System A-CDM								
Władze bezpieczeństwa, celne i lotnicze	System A-CDM			Kontrola biometryczna			System A-CDM				
Lotniskowy personel naziemny					Śledzenie bagażu						

Źródło: J. Mariani, J. Zmud, E. Krimmel, R. Sen, M. Miller, Flying smarter. The smart airport and the Internet of Things, www2.deloitte.com, 1 lipca 2019 r.

Inny przykład to port lotniczy w Miami, który korzysta z technologii beaconów (iBeacons)³¹⁷ do lokalizowania pasażerów w terminalu. Dzięki specjalnej aplikacji na smartfony, podróżni mogą uzyskać precyzyjne wskazówki, jak dotrzeć do wybranego punktu – bramki, restauracji, toalety czy salonu lotniskowego. Takie rozwiązania to tzw. digital wayfinding. Nie tylko poprawiają one orientację w przestrzeni, ale także zwiększają komfort podróżowania³¹⁸.

Wartość światowego rynku IoT w portach lotniczych jest różnie oceniana. Analitycy Market Research Future wskazywali w 2022 r., że wynosi ona 6,2 mld dolarów, a do 2032 r. wzrośnie do 38,2 mld dolarów (CAGR na poziomie 8,5%)³¹⁹. Natomiast firma ReAnIn szacuje wartość rynku w 2024 r. na jedynie 1,894 mld dolarów. Według przewidywań jej analityków, wzrośnie ona w 2031 r. do 6,787 mld dolarów, przy rocznej stopie wzrostu (CAGR) na poziomie 20%³²⁰.

Wśród czynników napędzających rozwój rynku wymieniany jest przede wszystkim postęp technologiczny, w tym miniaturyzacja czujników, energooszczędne protokoły komunikacyjne oraz zaawansowana analityka, co przyczynia się do zwiększenia dostępności i obniżenia kosztów tych rozwiązań. Równocześnie globalny wzrost ruchu pasażerskiego wywiera presję na zarządzających portami lotniczymi, którzy muszą poprawiać efektywność operacyjną oraz jakość obsługi podróżnych³²¹.

W obszarze innowacji na rynku IoT w portach lotniczych wyróżnia się kilka kluczowych trendów³²²:

- **postępująca integracja z rozwiązaniami z zakresu AI i biometrii** – zapewniającymi podróż płynną i bezpieczną, podwyższającymi poziom Passenger Experience;
- **coraz większa popularność przetwarzania brzegowego (edge computing)**, w którym obróbka danych odbywa się bliżej ich źródła, co zmniejsza opóźnienia, usprawnia podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym i minimalizuje zależność od scentralizowanej infrastruktury chmurowej;
- **rosnący nacisk na analitykę danych** – rosnąca ilość informacji zbieranych przez urządzenia IoT wymaga zaawansowanych możliwości analitycznych, które dostarczają praktycznych wniosków służących optymalizacji procesów, predykcyjnego utrzymania oraz personalizacji doświadczeń pasażerów;
- **zwiększające się znaczenie technologii blockchain**, oferującej bezpieczne i przejrzyste zarządzanie danymi;
- **rozwój sieci 5G**, dostarczającej szybką łączność o niskiej latencji, która jest kluczowa dla aplikacji IoT działających w czasie rzeczywistym w portach lotniczych. Technologia 5G umożliwia szybszy transfer danych, obsługuje większą liczbę podłączonych urządzeń i poprawia ogólną wydajność systemów IoT.

Pomimo licznych korzyści, lotniskowy rynek IoT mierzy się też z istotnymi ograniczeniami. Jednym z głównych wyzwań są kwestie bezpieczeństwa danych i prywatności. Rozległe gromadzenie i wymiana danych za pośrednictwem urządzeń IoT budzi obawy dotyczące ich ochrony. Porty lotnicze muszą wdrażać zaawansowane systemy cyberbezpieczeństwa oraz przestrzegać przepisów

dotyczących ochrony danych, aby skutecznie zarządzać tymi ryzykami. Kolejnym istotnym ograniczeniem są wyzwania infrastrukturalne – implementacja rozwiązań IoT w istniejącej infrastrukturze lotniskowej często napotyka trudności związane z przestarzałymi systemami, problemami z łącznością oraz wysokimi kosztami wdrożenia. Modernizacja starszej infrastruktury, aby umożliwić integrację urządzeń i czujników IoT, bywa złożonym i kosztownym procesem. Dodatkowo, wraz z rosnącą liczbą urządzeń IoT od różnych producentów, coraz większym wyzwaniem staje się zapewnianie ich interoperacyjności i standaryzacji³²³.

W zakresie lotniczego cargo, IoT odgrywa coraz większą rolę w zakresie transformacji operacji w portach lotniczych. Technologia ta umożliwia monitorowanie i automatyzację procesów w czasie rzeczywistym. Dzięki czujnikom i urządzeniom połączonym w sieć, przesyłki wyposażone w technologię IoT mogą przekazywać dane o temperaturze, wilgotności, lokalizacji czy stanie zabezpieczeń, co zwiększa widoczność ładunku i zapewnia zgodność z przepisami, szczególnie w przypadku towarów wrażliwych. IoT wspiera także predykcyjne utrzymanie ruchu poprzez wczesne wykrywanie usterek, minimalizując przestoje sprzętu. Internet Rzeczy umożliwia też optymalizację tras pojazdów i procesów magazynowych, a także zwiększa bezpieczeństwo dzięki wykrywaniu naruszeń i automatycznym alertom. Systemy te pomagają również śledzić narzędzia techniczne oraz lokalizację przesyłek w obrębie magazynu. Mimo dużego potencjału, wdrożenie IoT wymaga znacznych inwestycji w infrastrukturę łączności, integrację danych i zabezpieczenia. Kluczowe znaczenie ma kompatybilność z istniejącymi systemami śledzenia, wykorzystanie chmury obliczeniowej i AI.

Dla IoT w lotniczym cargo znaczenie ma także rozwój technologii opartych na:

- **RFID** – umożliwia automatyczną identyfikację i śledzenie przesyłek, ULD-ów oraz sprzętu bez potrzeby skanowania ręcznego. Ułatwia zarządzanie, zwiększa dokładność danych i poprawia bezpieczeństwo dzięki wykrywaniu nieautoryzowanego ruchu ładunków³²⁴.
- **platformach do monitorowania transportu w czasie rzeczywistym (Real-Time Transportation Visibility Platforms, RTTVPs)** – integrują one IoT z GPS, RFID, AI i chmurami obliczeniowymi, zapewniając pełną widoczność przesyłek w czasie rzeczywistym. Umożliwiają monitorowanie transportu, prognozowanie zakłóceń i szybką reakcję na nieplanowane zdarzenia³²⁵.
- **inteligentnych etykietach (smart labels)** – łączą one elementy IoT, RFID, kodów kresowych i QR z czujnikami, umożliwiając ciągłe śledzenie lokalizacji ładunków. Ich zastosowanie przekształca zwykłe etykiety w aktywne źródła danych w łańcuchach dostaw³²⁶.

Uczenie maszynowe (ML)

Uczenie maszynowe (Machine Learning, ML) to dziedzina sztucznej inteligencji, która polega na tworzeniu algorytmów i modeli pozwalających komputerom na uczenie się na podstawie danych. Dzięki ML systemy mogą samodzielnie poprawiać swoje działanie bez potrzeby programowania ich na każdy możliwy scenariusz³²⁷. Wyróżnić można kilka kluczowych obszarów wykorzystania

³²³ Airport Internet of Things..., op. cit.

³²⁴ The “Transparency Revolution” in Air Cargo: How RFID Achieves Full-Link Visibility for Air Freight Packages, rfidlabel.com.

³²⁵ Understanding RTTVP: A comprehensive Guide for Beginners, macropoint.com, 22 lutego 2024 r.

³²⁶ Smart Labels. An opportunity and a call for standarisatation, Kuehne+Nagel, 2022, passim.

³²⁷ H. Huang, J. Zhu, A Short Review of the Application of Machine Learning Methods in Smart Airports, [w:] „Journal of Physics Conference Series”, styczeń 2021.

³¹⁷ Miami Airport installs common iBeacon system for all stakeholders, futuretravelexperience.com, październik 2014 r.

³¹⁸ Y. Kossovsky, A Seamless Journey: The Latest Mapping Trends for The Connected Airport, 3 września 2024 r.

³¹⁹ Global Airport IOT Market Overview, merketresearchfuture.com, kwiecień 2025 r.

³²⁰ Global Airport Iot Market Growth, Share, Size, Trends and Forecast (2025 - 2031), reanin.com, marzec 2025.

³²¹ Airport Internet of Things market Analysis – Inustry Size, Share, Research Report, Insights, Covid-19 Impact, Statistics, Trends, Growth and Forecast 2025–2034, markwideresearch.com, styczeń 2025.

³²² Airport Internet of Things..., op. cit.

uczenia maszynowego w portach lotniczych³²⁸:

- **optymalizacja procesów odprawy** – ML wspiera automatyczne systemy odprawy, w tym rozpoznawanie twarzy i skanowanie paszportów, co przyspiesza proces check-in i poprawia bezpieczeństwo;
- **zarządzanie ruchem pasażerskim** – uczenie maszynowe analizuje dane o liczbie pasażerów, godzinach szczytu i dostępnych zasobach, co pozwala na efektywne zarządzanie kolejkami, personelem oraz optymalizację przepływu pasażerów przez port lotniczy;
- **zwiększenie efektywności obsługi bagażowej** – ML wspiera automatyzację rozpoznawania, śledzenia i transportu bagażu, co minimalizuje ryzyko zgubienia lub uszkodzenia bagażu oraz redukuje czas oczekiwania pasażerów;
- **podwyższanie poziomu bezpieczeństwa** – Machine Learning umożliwia analizę danych z monitoringu wideo, identyfikację podejrzanych zachowań i sygnalizowanie potencjalnego zagrożenia, co przyczynia się do szybszego wykrywania nieprawidłowości oraz poprawy procesów kontroli bezpieczeństwa;
- **personalizacja doświadczeń pasażerów** – ML umożliwia tworzenie spersonalizowanych rekomendacji dla pasażerów na podstawie ich preferencji, historii podróży i lokalizacji; algorytmy przewidują, jakie trasy, atrakcje czy usługi mogą zainteresować konkretnego pasażera, co zwiększa wygodę podróży i oszczędza czas;
- **analiza opóźnień lotów** – Machine Learning jest wykorzystywane do przewidywania opóźnień lotów poprzez analizę danych dotyczących poszczególnych lotów oraz informacji meteorologicznych;
- **analiza środowiska portu lotniczego** – algorytmy ML są również używane np. do szybkiego i dokładnego przewidywania jakości powietrza oraz zużycia wody w portach lotniczych.

Port lotniczy w Hong Kongu wykorzystuje ML w systemach automatycznej odprawy, integrując rozpoznawanie twarzy z zeskanowanymi paszportami i danymi biometrycznymi. Dzięki temu proces odprawy staje się szybszy i bardziej bezpieczny, a pasażerowie unikają długich kolejek³²⁹. Natomiast singapurskie Changi Airport wdrożyło system rozpoznawania twarzy do automatycznego etykietowania bagażu. Pasażerowie mogą samodzielnie oznaczyć swój bagaż i przekazywać go do dalszej obsługi, co znacząco skraca czas oczekiwania na odprawę³³⁰. Amsterdamski Schiphol używa natomiast ML do analizy zachowań pasażerów, co umożliwia wysyłanie im spersonalizowanych rekomendacji dotyczących bramek, lotów i innych usług. Wykorzystuje także technologie IBM Maximo i Watson IoT do zarządzania infrastrukturą i zapewniania wysokiej jakości doświadczeń pasażerów³³¹.

ML razem z AI i modelami statystycznymi jest też podstawą zaawansowanej analityki, która odgrywa coraz większą rolę w obsłudze i organizacji ruchu cargo w portach lotniczych. Dzięki przetwarzaniu danych historycznych i danych w czasie rzeczywistym, technologie te umożliwiają podejmowanie decyzji w sposób proaktywny oraz skuteczne prognozowanie przyszłych zdarzeń operacyjnych. W transporcie lotniczym ładunków zaawansowana analityka znacząco zwiększa efektywność operacyjną poprzez identyfikację wzorców i trendów. Umożliwia lepsze planowanie zapotrzebowania, optymalizację alokacji zasobów oraz zarządzanie trasami i wykorzystaniem

328 Za: Y. Jiang, T. Hieu Tran, L. Williams, Machine learning and mixed reality for smart aviation: Applications and challenges, [w:] „Journal of Air Transport Management”, vol. 111, sierpień 2023; H. Huang, J. Zhu, A Short Review..., op. cit.

329 Self Check-in, hongkongairport.com.

330 Fast and Seamless..., op. cit.

331 Amsterdam Airport Schiphol, ibm.com.

pojemności ładunkowej. Dzięki analizom predykcyjnym operatorzy cargo mogą automatyzować procesy magazynowe i układanie ładunku na paletach, a także podejmować trafniejsze decyzje strategiczne i operacyjne³³².

Kolejnym obszarem zastosowania ML w lotniczym cargo jest dynamiczne ustalanie cen, optymalizacja harmonogramów i zarządzanie przychodami, co pozwala elastycznie reagować na zmieniające się warunki rynkowe i zwiększać rentowność. Integracja zaawansowanej analityki z chmurą obliczeniową, IoT oraz interfejsami API zapewnia stały dostęp do danych oraz interoperacyjność systemów, co stanowi podstawę sprawnego funkcjonowania cyfrowych ekosystemów logistycznych³³³.

Nowoczesne systemy oparte na AI/ML stają się dziś też nieodzownym elementem ochrony infrastruktury krytycznej w obliczu rosnącej liczby incydentów energetycznych. Technologie predycyjne i automatyczne reagowanie stają się kluczem do zapewnienia ciągłości działania portów lotniczych na całym świecie. Przerwa w dostawie prądu trwająca zaledwie godzinę potrafi sparaliżować dziesiątki lotów, wygenerować milionowe straty i narazić bezpieczeństwo operacji. Dlatego coraz więcej portów lotniczych inwestuje w nowoczesne rozwiązania oparte na AI i ML, które pozwalają nie tylko reagować na awarie, ale im skutecznie zapobiegać. Przykładem wdrożenia takich technologii jest Denver International Airport, które rozwija mikrosieci energetyczne zasilane energią słoneczną (produkcja na poziomie 50 MW). Dzięki integracji z systemami AI możliwe jest inteligentne zarządzanie energią – automatyczne przełączanie źródeł zasilania, optymalizacja obciążenia oraz natychmiastowe wykrywanie usterek. Z kolei Changi w Singapurze testuje systemy predykcyjnego utrzymania infrastruktury energetycznej. Dzięki algorytmom ML analizującym dane z tysięcy czujników, możliwe jest wczesne wykrycie anomalii wskazujących na ryzyko awarii, np. przegrzewania się transformatorów czy niestabilności napięcia. Również Heathrow, po kosztownej awarii w 2025 r.³³⁴, inwestuje w inteligentne systemy zarządzania energią we współpracy z firmami takimi jak Honeywell. Ich rozwiązania oparte na AI umożliwiają dynamiczne bilansowanie obciążenia sieci i przewidywanie ryzyka przeciążeń na podstawie danych pogodowych, liczby operacji lotniczych czy zużycia energii w terminalach³³⁵.

Wdrożenie zaawansowanej analityki wymaga jednak spełnienia określonych warunków. Kluczowa jest wysoka jakość danych, ich standaryzacja oraz integracja z istniejącymi systemami informatycznymi. Potrzebni są również specjaliści z zakresu data science i sztucznej inteligencji, którzy potrafią tworzyć i wdrażać zaawansowane modele analityczne. Do wyzwań należy też istnienie tzw. silosów danych, problemy z ujednoliceniem formatów informacji oraz opór pracowników wobec decyzji opartych na AI.

Data Sharing

Data sharing, czyli współdzielenie danych, to proces wymiany informacji między różnymi interesariuszami w środowisku lotniskowym – takimi jak linie lotnicze, porty lotnicze, służby graniczne, operatorzy naziemni czy dostawcy technologii – w celu uzyskania wspólnego obrazu operacyjne-

332 V. Pandit, Predictive analytics & AI: New frontier in air cargo, cargotalk.in, 17 sierpnia 2024 r.

333 Delivering Change – How advanced Analytics Transformed Air Freight's Guessing Game, medium.com, 26 października 2020 r.

334 S. Calder, Heathrow power outage: How airport chaos unfolded as cause remains 'unknown', independent.co.uk, 28 maja 2025 r.

335 M. Lee, Infrastructure Resilience in Aviation: Post-Outage Investment Opportunities, ainvest.com, 19 maja 2025 r.

go i podejmowania lepszych decyzji. Współczesne porty lotnicze, dążąc do zapewnienia płynnej i wydajnej obsługi pasażerów, coraz częściej stawiają na współpracę opartą na zintegrowanych danych.

Rosnąca popularność data sharing jest widoczna: wg badań firmy Amadeus, w połowie 2024 r. aż 36% portów lotniczych planowało wdrożenie w ciągu 12 miesięcy bardziej zaawansowanej wymiany danych z liniami lotniczymi, co stanowi przełom w tradycyjnie zamkniętym podejściu do „własności” danych pasażera³³⁶. Praktyczne zastosowania data sharing obejmują m.in. optymalizację przydziału bramek, skracanie czasów przesiadek, precyzyjne prognozowanie zapotrzebowania na personel, szybkie reagowanie na zakłócenia pogodowe czy przekierowania lotów. Przykładem może być wykorzystanie danych pogodowych do wcześniejszego planowania operacji odladania samolotów: zamiast reagować w ostatniej chwili, odpowiednie informacje mogą być przekazane wszystkim zainteresowanym służbom z 24-godzinny wyprzedzeniem, co pozwala uniknąć opóźnień i minimalizuje wpływ na przepustowość portu lotniczego. W przypadku nieplanowanego przyjęcia samolotów z sąsiedniego portu, udostępnione dane o liczbie pasażerów, ich potrzebach specjalnych czy czasie przylotu umożliwiają odpowiednie przygotowanie zasobów, np. zapewnienie wózka inwalidzkiego przy właściwej bramce.

Coraz więcej portów lotniczych inwestuje również w centra kontroli operacyjnej (Airport Operational Control Centres), które dzięki analizie danych w czasie rzeczywistym mogą przewidywać problemy, zarządzać ruchem i dostosowywać działania do bieżących potrzeb. Kluczowe staje się nie tylko samo posiadanie informacji, ale także zaawansowana analityka i uczenie maszynowe, które pozwalają przejść od reaktywnego zarządzania do proaktywnego planowania.

Oprócz bezpośrednich korzyści operacyjnych, data sharing odgrywa też kluczową rolę w umożliwianiu wdrażania zaawansowanych technologii, takich jak cyfrowa tożsamość, biometria, rozwiązania oparte na chmurze czy generatywna AI. Nowoczesne porty lotnicze coraz częściej integrują swoje systemy IT, co pozwala na lepszy przepływ informacji pomiędzy zarządcami portów, liniami lotniczymi, służbami granicznymi i innymi partnerami. Taka współpraca jest niezbędna do tworzenia spersonalizowanego Passenger Experience oraz skuteczniejszego zarządzania sytuacjami kryzysowymi, takimi jak opóźnienia czy zmiany tras. Co więcej, rosnące wykorzystanie technologii opartych na danych wymaga nie tylko integracji, ale i jasnych regulacji dotyczących dostępu do informacji, własności danych i ich wykorzystania. Dzięki temu porty lotnicze mogą przekształcać się w inteligentne węzły komunikacyjne, reagujące dynamicznie na zmiany i oferujące podróżnym nowy poziom wygody i bezpieczeństwa. W obliczu rosnącej liczby zakłóceń w ruchu lotniczym (52% portów lotniczych odnotowuje ich obecnie więcej niż przed pandemią COVID-19), dzielenie się informacjami operacyjnymi (np. o rotacjach samolotów, załogach, zmianach tras) pozwala reagować szybciej i skuteczniej³³⁷.

Współdzielenie danych w porcie lotniczym w Kopenhadze

Port lotniczy w Kopenhadze obsługujący dziennie ponad 70 tys. pasażerów i zatrudniający ponad 1,9 tys. pracowników oraz 800 firm, stanęło przed wyzwaniem integracji rozproszonych źródeł da-

nych w jednym, spójnym systemie. W obliczu coraz większego ruchu lotniczego oraz rosnących oczekiwań wobec płynności podróży, kluczowe okazało się wdrożenie modelu współdzielenia danych (data sharing), który umożliwiłby sprawniejsze zarządzanie wszystkimi aspektami funkcjonowania portu lotniczego. Odpowiedzią na te potrzeby było powołanie wspólnego przedsięwzięcia z firmą Netcompany i stworzenie systemu Airhart – kompleksowej platformy do zarządzania portem lotniczym w czasie rzeczywistym. Została ona uruchomiona testowo w 2022 r., a pełne wdrożenie miało miejsce w październiku 2023 r. System ten integruje ponad 100 funkcji i udostępnia je za pośrednictwem jednego interfejsu dla ponad 4 tys. użytkowników z 46 organizacji działających na terenie portu lotniczego.

Przed wdrożeniem Airhart, komunikacja między podmiotami – liniami lotniczymi, służbami celnymi, firmami handlingowymi – odbywała się głównie za pomocą rozmów telefonicznych i wiadomości, co uniemożliwiało szybką reakcję na nieprzewidziane zdarzenia. Nowy system zapewnia selektywny dostęp do danych, pozwalając każdemu podmiotowi widzieć tylko te informacje, które są mu potrzebne. Linie lotnicze mają dostęp jedynie do własnych operacji, natomiast operatorzy obsługujący wielu przewoźników mogą śledzić dane dotyczące wszystkich. Dzięki temu możliwe jest skrócenie czasu obsługi przy bramkach, efektywniejsze zarządzanie ruchem samolotów na płycie lotniskowej oraz szybsze reagowanie na zakłócenia.

Jednym z najbardziej zaawansowanych elementów systemu jest Apron AI – narzędzie wspierane sztuczną inteligencją, które monitoruje operacje na płycie lotniskowej (np. czas podłączenia rękawa, rozładunek bagaży) i przewiduje opóźnienia, co pozwala dynamicznie optymalizować zarządzanie bramkami.

Transformacja cyfrowa portu lotniczego w Kopenhadze była procesem wieloletnim – od prób budowy systemu wewnętrznego, przez nieudane zakupy gotowych rozwiązań, aż po stworzenie dedykowanej platformy z Netcompany. Finalnie port lotniczy w Kopenhadze stał się wzorem efektywnego zarządzania operacjami w oparciu o data sharing, a zdobyte doświadczenia przenoszone są już do innych portów lotniczych, m.in. w Norwegii³³⁸.

W kontekście data sharing kluczowe jest wykorzystanie m.in. tzw. cyfrowego bliźniaka (digital twin) – wspólnej, wirtualnej przestrzeni, w której wszystkie dane z różnych źródeł i systemów portu lotniczego są zintegrowane, aktualizowane w czasie rzeczywistym i dostępne dla wszystkich uprawnionych interesariuszy – takich jak zarząd portu lotniczego, linie lotnicze, służby bezpieczeństwa czy firmy obsługi naziemnej. Skuteczne wykorzystanie danych wymaga jednak nie tylko nowoczesnych technologii, ale przede wszystkim przełamania barier organizacyjnych i kulturowych w zakresie współdzielenia danych. W wielu przypadkach obawy o utratę kontroli nad danymi i ich komercyjne wykorzystanie przez innych wciąż hamują współpracę. Tymczasem digital twin może pełnić rolę nie tylko operacyjną, ale i strategiczną – jako wspólna platforma do podejmowania decyzji, predykcji zdarzeń oraz tworzenia nowych usług w ekosystemie portu lotniczego³³⁹.

336 A. Krishna, Airports are becoming insight-driven, airport-technology.com, 15 lipca 2024 r.

337 How Can Information Sharing Help Airports Overcome Disruptions?, blog.aci.aero, 19 grudnia 2023 r.

338 J. Pearce, In it for the long haul: Copenhagen Airport's data management journey, techinformed.com, 14 marca 2024 r.

339 J. Bhatia, How data can augment the airport throughput, waisl.nl, 1 maja 2024 r.

Cyfrowy bliźniak w porcie lotniczym Vancouver

W 2022 r. Vancouver International Airport wdrożyło innowacyjny projekt cyfrowego bliźniaka (digital twin), wykorzystując platformę Unity, aby zrewolucjonizować sposób zarządzania operacjami i infrastrukturą portu lotniczego. Celem projektu było stworzenie interaktywnej, trójwymiarowej reprezentacji terminala i pola manewrowego lotniska, połączonej z danymi operacyjnymi w czasie rzeczywistym, co umożliwiło poprawę efektywności operacyjnej, zwiększenie świadomości sytuacyjnej, a także wspieranie działań na rzecz zrównoważonego rozwoju. Projekt objął integrację danych z różnych źródeł, takich jak czujniki, kamery, systemy utrzymania oraz dane środowiskowe, co umożliwiło lepsze zarządzanie i prognozowanie operacji w porcie lotniczym. Z możliwości digital twin korzysta ponad 600 pracowników operacyjnych portu lotniczego. Dzięki zastosowaniu tego narzędzia możliwe stało się monitorowanie sytuacji w czasie rzeczywistym, detekcja anomalii (np. wykrywanie zbyt długo zaparkowanych pojazdów) oraz szybka reakcja na kryzysowe sytuacje. Dodatkowo, wprowadzono narzędzia MTE (Maintenance and Test Equipment) i 3D Explorer, które wspierają prace utrzymaniowe i umożliwiają symulacje sytuacji kryzysowych, takich jak ewakuacja. Projekt przyniósł konkretne korzyści operacyjne: skrócenie czasu analizy przyczyn zakłóceń, lepsze prognozowanie i optymalizację zasobów, a także usprawnienie działań utrzymaniowych i serwisowych. Dzięki cyfrowemu bliźniakowi, port lotniczy zyskał także narzędzie do monitorowania i modelowania emisji gazów cieplarnianych (GHG) związanych z ruchem lotniczym, co wspiera realizację celów klimatycznych portu lotniczego, w tym dążenie do neutralności węglowej do 2030 r.³⁴⁰



Źródło: Vancouver Airport Authority/GeoSim Cities

Druk 3D

Rozwój technologii druku 3D (wytwarzania addytywnego) stwarza nowe możliwości dla sektora lotniczego, w tym portów lotniczych. Technologia druku trójwymiarowego w ostatnich latach przeszła sporą transformację. Początkowo technologia ta ograniczona była do druku z tworzyw sztucznych, obecnie obejmuje szeroki zakres materiałów, w tym metale, szkło, a nawet materiały organiczne³⁴¹. Coraz szerszy dostęp do technologii 3D umożliwia jej zastosowanie także w środowisku portów lotniczych, gdzie może odgrywać istotną rolę w transformacji operacyjnej i infrastrukturalnej.

³⁴⁰ Flying into the metaverse with YVR's digital twin, unity.com; V. Leung, New digital platform to improve YVR operation efficiency, richmond-news.com, 3 kwietnia 2024 r.

³⁴¹ 3D Printing, crp.trb.org, 7 maja 2021 r.

W kontekście infrastruktury krytycznej, jaką stanowią porty lotnicze, druk 3D może okazać się przełomowy. Porty lotnicze, jako wysoko złożone organizmy operacyjne, wymagają elastyczności, precyzji działania i zdolności szybkiego reagowania na nieprzewidziane okoliczności. Możliwość natychmiastowej produkcji komponentów bezpośrednio na miejscu może zrewolucjonizować sposób, w jaki porty lotnicze funkcjonują – w zakresie konserwacji i utrzymania, budownictwa i rozwoju infrastruktury, zarządzania zapasami, logistyki i transport cargo, zarządzania procesami pasażerskimi, bezpieczeństwa, czy infrastruktury IT.

Należy zwrócić uwagę, iż wykorzystanie technologii druku 3D w lotnictwie może przynieść konkretne korzyści operacyjne. Po pierwsze, drukowanie elementów konstrukcyjnych na żądanie pozwoli na szybsze realizowanie projektów budowlanych na terenach lotniskowych, eliminując potrzebę magazynowania dużych zapasów materiałów i skracając czas realizacji inwestycji. Może również wspomóc optymalizację procesów obsługi pasażerów, np. przez umożliwienie drukowania potrzebnych części wyposażenia w czasie rzeczywistym. Ponadto, produkcja części zamiennych w miejscu ich użycia zmniejszy zapotrzebowanie na tradycyjny transport lotniczy, obniżając koszty logistyczne³⁴².

Druk 3D w portach lotniczych może zatem znacząco zwiększyć efektywność operacyjną, jednocześnie stawiając przed branżą lotniczą nowe wyzwania technologiczne i bezpieczeństwa.

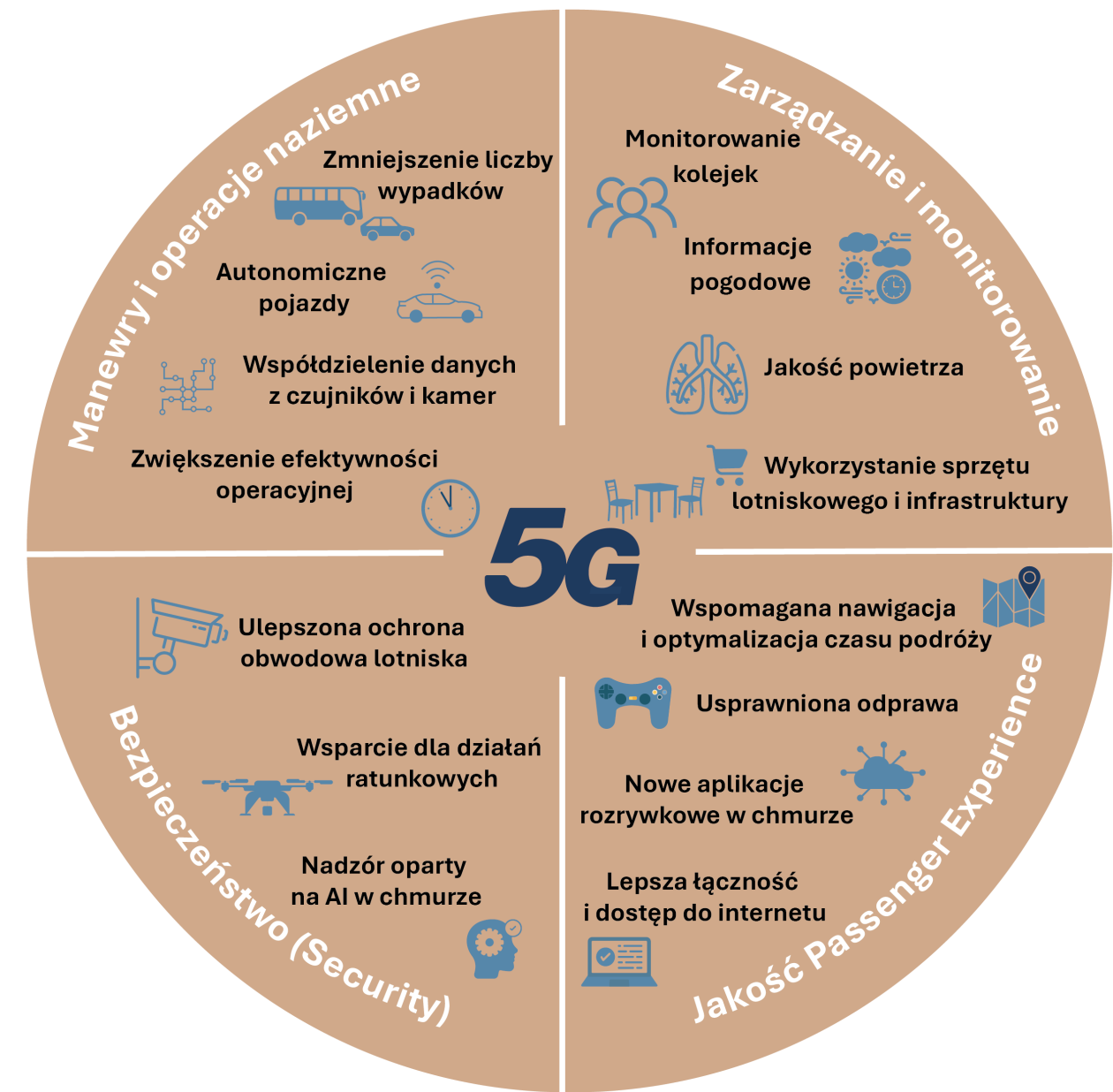
Warto zaznaczyć, że choć technologia wytwarzania addytywnego otwiera wiele możliwości, obecnie brak jest informacji o konkretnych, powszechnie wdrożonych rozwiązaniach druku 3D w środowisku portów lotniczych. Omawiane możliwości zastosowania mają charakter głównie koncepcyjny i wskazują kierunki rozwoju, które mogą stać się rzeczywistością w przyszłości. Obecnie stanowią one raczej założenia i propozycje niż udokumentowane praktyki funkcjonujące na szeroką skalę. Wdrożenie tej technologii w portach lotniczych będzie wymagać nie tylko inwestycji, ale także przystosowania infrastruktury, odpowiedniego przeszkolenia personelu oraz rozwiązania nowych wyzwań związanych z bezpieczeństwem i integracją systemów.

5G/6G

5G (piąta generacja sieci komórkowej) i 6G (szósta generacja, będąca jeszcze w fazie testów) to technologie mobilne nowej generacji, które stanowią znaczący krok naprzód w porównaniu do poprzednich standardów. 5G oferuje znacznie większą przepustowość, bardzo niskie opóźnienia transmisji (poniżej 1 ms), a także możliwość obsługi setek tysięcy urządzeń na kilometr kwadratowy. 6G, której pełne wdrożenie oczekiwane jest w perspektywie 2030 r., to planowana prędkość transferu rzędu terabitów na sekundę, komunikacja holograficzna, pełna integracja z systemami AI, natywna obsługa rozszerzonej rzeczywistości (Extended Reality, XR), tzw. internetu zmysłów (Internet of Senses) i systemów autonomicznych.

³⁴² M. Tyrell, Speeding up aircraft maintenance with 3D printed tools, aero-mag.com, 21 stycznia 2019 r.

Rysunek 8. Sfery działalności portów lotniczych wspierane przez 5G



Źródło: J. Cantizani-Esteva, P. Vera-Soto, C. Baena, E. Baena, R. Barco, S. Fortes, Analysis of 5G Technology in Airports: Requirements, Challenges, and Use Cases Evaluation, IEEE Access, 23 listopada 2023 r., s. 136112.

W sektorze lotniczym, który w dużej mierze opiera się na niezawodnej łączności i precyzyjnej koordynacji, potencjał 5G/6G jest szczególnie duży. Obie technologie przekształcają nie tylko Passenger Experience, lecz także sposób działania linii lotniczych i zarządzania ruchem lotniczym. W kontekście podróży służbowych oznacza to możliwość ciągłego dostępu do sieci podczas lotów, lepsze zarządzanie czasem pracy, a także bardziej komfortowe i produktywne doświadczenie w czasie podróży. Znacznie zwiększona przepustowość sieci pozwala na prowadzenie wideokonferencji, przysyłanie dużych plików oraz dostęp do zaawansowanych aplikacji korporacyjnych bez zakłóceń, co rewolucjonizuje wykorzystanie czasu spędzanego w samolocie.

W miarę jak liczba pasażerów lotniczych rośnie dynamicznie, a przestrzeń operacyjna portów lotniczych obejmuje rozleglejsze i bardziej złożone obszary – od dróg dojazdowych, przez terminale, po strefy airside i ogrodzenia perymetryczne – tradycyjne, kablowe infrastruktury sieciowe okazują się niewystarczające ze względu na koszty, czas realizacji i trudności techniczne. Dotychczasowe rozwiązania, takie jak Wi-Fi działające w paśmie nielicencjonowanym czy komercyjne sieci komórkowe, nie spełniają operacyjnych wymagań z powodu braku kontroli nad jakością usług, zakłóceń oraz ograniczonej penetracji sygnału w środowisku zdominowanym przez beton, stal i ruchome pojazdy. Sieci 5G odpowiadają na te wyzwania, umożliwiając kompleksowe, strategiczne pokrycie całego obszaru portu lotniczego. W takim układzie dane z setek czujników i systemów IoT są przetwarzane w czasie rzeczywistym z udziałem AI. Taka infrastruktura staje się niezbędna nie tylko do poprawy efektywności operacyjnej i bezpieczeństwa, ale również do skutecznego wdrażania np. autonomicznych systemów i pojazdów, które coraz częściej nie są już testami, lecz pełnoprawnymi komponentami lotniskowej rzeczywistości³⁴³.

W najnowocześniejszych portach lotniczych wdrażane są obecnie dedykowane sieci prywatne 5G, które stanowią fundament cyfrowej transformacji i automatyzacji całej infrastruktury lotniskowej. W przeciwieństwie do publicznych sieci operatorów, prywatne 5G działają w licencjonowanym paśmie, co pozwala zapewnić najwyższy poziom bezpieczeństwa, niezawodności i kontroli – kluczowych w środowisku o tak wysokich wymaganiach jak porty lotnicze. Dzięki ultra-niskim opóźnieniom i wysokiej przepustowości, możliwa jest automatyzacja procesów odprawy i kontroli bezpieczeństwa, wdrażanie technologii biometrycznych, inteligentnych systemów zarządzania ruchem pasażerskim oraz predykcje utrzymania technicznego samolotów z wykorzystaniem sensorów IoT, które na bieżąco przesyłają dane do analizy. W zakresie bezpieczeństwa, sieci prywatne 5G umożliwiają ciągły monitoring perymetru lotniska z wykorzystaniem kamer zamontowanych na pojazdach autonomicznych, które działają w każdych warunkach pogodowych, automatycznie wykrywając anomalie – np. uszkodzenia ogrodzenia, obiekty pozostawione na pasie czy pęknięcia w nawierzchni. Z punktu widzenia operacyjnego, sieci te usprawniają komunikację zespołów naziemnych, skracają czas operacji turnaround, umożliwiają natychmiastowy transfer danych z samolotu już w momencie lądowania i optymalizują zarządzanie ruchem lotniczym oraz naziemnym. Dla pasażerów oznacza to płynniejszą odprawę bez fizycznych dokumentów, krótsze kolejki dzięki inteligentnemu zarządzaniu ruchem, a także możliwość korzystania z immersyjnych usług opartych na rzeczywistości rozszerzonej i wirtualnej³⁴⁴. Porty lotnicze przekształcają się w inteligentne, autonomiczne węzły komunikacyjne, w których każdy proces – od przewozu bagażu po transfer między terminalami za pomocą autonomicznych pojazdów – jest zintegrowany, zautomatyzowany i oparty na danych w czasie rzeczywistym³⁴⁵.

Sieci 5G umożliwiają nie tylko natychmiastową poprawę efektywności operacyjnej, ale także stanowią fundament pod przyszłe, kompleksowe przekształcenia infrastruktury cyfrowej portów lotniczych. W przeciwieństwie do tradycyjnych systemów, takich jak TETRA, P25 czy DMR, które były projektowane głównie z myślą o komunikacji głosowej, prywatne sieci 5G oferują znacznie większą przepustowość, niskie opóźnienia oraz możliwość obsługi zaawansowanych aplikacji wideo, danych i geolokalizacji w czasie rzeczywistym. Dzięki integracji technologii takich jak Mis-

343 S. Ingalls, N. Fekrat, Wireless connectivity is foundational to immersive digital transformation at airports, tecknexus.com, 12 września 2024 r.

344 J. Cantizani-Esteva, P. Vera-Soto, C. Baena, E. Baena, R. Barco, S. Fortes, Analysis of 5G Technology in Airports: Requirements, Challenges, and Use Cases Evaluation, IEEE Access, 23 listopada 2023 r., s. 136111.

345 G. Wood, From docks to runways, private 5G is revolutionizing seaport and airport operations, nttdata.com, 2025 r.

sion-Critical Push-to-Talk (MCPTT) i MCX (Mission Critical Services), operatorzy portów lotniczych zyskują możliwość budowy jednolitej platformy komunikacyjnej, która może zastąpić równoległe, kosztowne i często nieefektywne systemy. Tego rodzaju rozwiązania nie tylko usprawniają działania operacyjne, takie jak zarządzanie obsługą naziemną czy operacje turnaround, ale także wspierają nowe scenariusze, w tym automatyczne sortowanie bagażu, kontrolę dostępu opartą o biometrię oraz bezdotykowe zakupy detaliczne³⁴⁶.

Rysunek 9. Zastosowanie 5G w portach lotniczych



Źródło: J. Cantizani-Esteva, P. Vera-Soto, C. Baena, E. Baena, R. Barco, S. Fortes, Analysis of 5G Technology in Airports: Requirements, Challenges, and Use Cases Evaluation, IEEE Access, 23 listopada 2023 r., s. 136114.

Prywatne sieci 5G pozwalają również na precyzyjne zarządzanie zasobami dzięki możliwości dynamicznego przydzielania pasma i priorytetów dla poszczególnych urządzeń i aplikacji. Przykładowo, możliwe jest przypisanie konkretnych zadań odpowiednim pracownikom na podstawie ich lokalizacji, dostępności i kwalifikacji, co zwiększa efektywność i skraca czas reakcji w sytuacjach krytycznych. Integracja funkcji wąskopasmowych i szerokopasmowych umożliwia kompleksowe zarządzanie bezpieczeństwem, monitorowanie wideo, geofencing czy szybkie reagowanie służb ratowniczych³⁴⁷.

Przykładem implementacji 5G jest Hongkong International Airport, gdzie działa autonomiczny sklep Travelwell, oparty na łączności tego rodzaju, umożliwiający zakupy bezobsługowe przez całą dobę. Inne porty, jak Schiphol w Amsterdamie, Newark International Airport czy Gardermoen w Oslo, wykorzystują technologię RFID wspieraną przez 5G do śledzenia bagażu w czasie rzeczywistym, co znacząco zmniejsza liczbę zagubionych walizek³⁴⁸. Natomiast w porcie lotniczym

we Frankfurcie, Fraport AG wdrożyło prywatną sieć 5G we współpracy z firmą NTT, aby zapewnić niezawodną i bezpieczną łączność na całym terenie portu lotniczego o powierzchni 2,5 tys. hektarów. Nowa sieć umożliwia przesyłanie dużych ilości danych w czasie rzeczywistym, co wspiera optymalizację procesów operacyjnych i zwiększa efektywność pracy służb naziemnych. Dzięki 5G możliwe jest testowanie innowacyjnych rozwiązań, takich jak monitorowanie ogrodzenia dronami czy wykrywanie obiektów na płycie lotniskowej z użyciem kamer i AI. Sieć eliminuje problemy z łącznością w trudno dostępnych miejscach, np. pod skrzydłami samolotów, gdzie Wi-Fi nie działa. Infrastruktura 5G we frankfurckim porcie lotniczym stanowi więc podstawę dla wdrażania przyszłych technologii i wspiera działania wielu podmiotów tam działających³⁴⁹. Natomiast w porcie lotniczym w San Sebastián w 2024 r. uruchomiono pierwszą w Hiszpanii prywatną sieć 5G, będącą efektem współpracy Aena i Cellnex Telecom. Nowoczesna infrastruktura wspiera m.in. operacje dronów wykorzystywanych do monitorowania środowiska i bezpieczeństwa. Dzięki 5G mogą one przesyłać dane w czasie rzeczywistym, co umożliwia szybką reakcję na zagrożenia i lepsze zarządzanie przestrzenią lotniskową. Zbierają one informacje o jakości powietrza, hałasie czy wilgotności, które są analizowane za pomocą platformy Cellnex SmartBrain. Sieć umożliwia również testowanie rozwiązań z zakresu IoT, sztucznej inteligencji i rzeczywistości rozszerzonej³⁵⁰.

5G na w porcie lotniczym w Hongkongu

Port lotniczy w Hongkongu (HKIA), obsługujący rocznie ponad 70 mln pasażerów i 5 mln ton cargo, stanął przed wyzwaniem modernizacji swojej infrastruktury telekomunikacyjnej w celu spełnienia rosnących wymagań operacyjnych i bezpieczeństwa. Dotychczasowe rozwiązania oparte na technologii 3G/4G nie były w stanie zapewnić nieprzerwanego, szybkiego i niezawodnego przesyłu danych, szczególnie w kontekście wdrażania nowoczesnych systemów, takich jak autonomiczne pojazdy, inteligentne kamery czy IoT. W odpowiedzi na te potrzeby, HKIA nawiązało strategiczną współpracę z China Mobile Hong Kong (CMHK) oraz Huawei w celu wdrożenia prywatnej sieci 5G. Projekt zrealizowany w 2022 r. zakładał utworzenie kompleksowej, dedykowanej infrastruktury 5G na obszarze całego portu lotniczego, obejmującej zarówno wnętrza terminali, jak i rozległe przestrzenie operacyjne na zewnątrz. Zainstalowano ponad 4 tys. jednostek radiowych obsługujących pasmo C-band oraz 500 aktywnych anten mmWave, a także uruchomiono prywatny rdzeń sieci w chmurze. Sieć została zbudowana w architekturze hybrydowej (NSA/SA), umożliwiającej elastyczne przełączanie między trybami, co zapewniło jednocześnie kompatybilność z istniejącą infrastrukturą oraz możliwość dalszego rozwoju. Rozwiązanie to przyniosło szereg korzyści – wysoka przepustowość i bardzo niskie opóźnienia umożliwiły wdrożenie zaawansowanych aplikacji opartych na AI i analityce czasu rzeczywistego, w tym systemów monitoringu wideo, autonomicznych wózków bagażowych czy automatyzacji kontroli bezpieczeństwa. Prywatność i bezpieczeństwo danych zostały zagwarantowane dzięki całkowitemu oddzieleniu warstw publicznych i prywatnych oraz wdrożeniu zaawansowanych mechanizmów szyfrowania i kontroli dostępu. Dzięki tej inwestycji HKIA nie tylko zmodernizowało swoją infrastrukturę, ale również zbudowało solidne fundamenty pod dalszą cyfryzację operacji lotniskowych, zwiększenie efektywności operacyjnej i poprawę komfortu pasażerów. Projekt ten stanowi wzorcowy przykład zastosowania prywatnej sieci 5G w złożonym, wielofunkcyjnym środowisku przemysłowym³⁵¹.

346 A. Schipper, B. Sinha, S. Krijnen, 5G private networks enable effective mission-critical communications now, while setting the stage for future optimizations across the airport, ericsson.com, 14 czerwca 2024 r.

347 A. Schipper, B. Sinha, S. Krijnen, 5G private networks..., op.cit.

348 B. Sinha, S. Krijnen, A. Schipper, Transforming terminal operations: Top indoor use cases for private networks in connected airports, ericsson.com, 29 lipca 2024 r.

349 Private 5G serves as the network base for Fraport AG's future development, services.global.ntt.

350 5G in European Airports: Enhancing Connectivity and Passenger Experience, telecomrevieweurope.com, 19 listopada 2024 r.

351 5G Network Solutions for Airport Operations. Hong Kong International Airport, gsma.com, 2023.

Najświeższe, pochodzące z początku 2025 r. prognozy firm technologicznych z branży sieci komórkowych wskazują, iż w perspektywie krótkoterminowej, czyli w ciągu najbliższych 1–2 lat, rozwój 5G skoncentruje się na głównych portach lotniczych oraz wybranych samolotach, oferując przede wszystkim poprawę jakości połączeń internetowych i pierwsze wdrożenia operacyjne, takie jak testy zdalnej diagnostyki technicznej. W średnim horyzoncie czasowym, w ciągu 3–5 lat, 5G stanie się powszechnie dostępne w większości portów lotniczych i w większej liczbie samolotów, umożliwiając szerokie zastosowanie analityki danych w czasie rzeczywistym, dynamiczne zarządzanie cenami biletów i przepływem pasażerów, a także rozwój usług rozrywkowych i personalizowanych. W tym czasie rozpoczną się też konkretne prace badawcze nad technologią 6G. W długiej perspektywie, w ciągu kolejnej dekady, pojawienie się 6G zrewolucjonizuje podróże lotnicze. Technologia ta przyniesie możliwość integracji zaawansowanej sztucznej inteligencji, pozwalającej na całkowicie spersonalizowaną obsługę podróżnych, zautomatyzowane zarządzanie podróżą w czasie rzeczywistym oraz pełną konwergencję świata fizycznego i cyfrowego. Dzięki temu pasażerowie będą mogli np. odbywać spotkania w rzeczywistości rozszerzonej podczas lotu (streaming 4K, wideokonferencje), otrzymywać usługi dopasowane dynamicznie do kontekstu podróży, a cała infrastruktura podróżna będzie działać w trybie predykcyjnym i inteligentnym, reagując automatycznie na zmieniające się potrzeby i sytuacje³⁵². W sferze operacyjnej, 6G umożliwi ciągłe monitorowanie stanu technicznego samolotów i przesyłanie danych w czasie rzeczywistym, co przełoży się na wyższy poziom bezpieczeństwa i mniej opóźnień. Usprawni także zarządzanie ruchem lotniczym, dzięki płynnej komunikacji między samolotami, wieżami kontroli i satelitami, co pozwoli na dynamiczną optymalizację tras. 6G zintegruje również bezzałogowe statki powietrzne (UAV) z ruchem w przestrzeni powietrznej, wspierając rozwój miejskiej mobilności powietrznej i transportu dronami. Dodatkowo technologia ta umożliwi też bardziej efektywne operacje linii lotniczych (np. dynamiczne ceny, automatyzacja obsługi) oraz ekologiczne zarządzanie emisjami w czasie rzeczywistym³⁵³.

Bezzałogowe statki powietrzne (UAV-y)

Bezzałogowe statki powietrzne – drony (ang. Unmanned Aerial Vehicle, UAV) są coraz szerzej wykorzystywane w różnych gałęziach gospodarki do realizacji rozmaitych zadań. Drony występują w różnych formach, rozmiarach i konfiguracjach, a ich typy obejmują UAV-y ze stałymi skrzydłami, hybrydowe, jedno- oraz wielowirnikowe. Te ze stałymi skrzydłami, choć przydatne np. przy mapowaniu i inspekcji linii energetycznych, wymagają od operatora specjalnego szkolenia i nie są w stanie dokonać zawisu w powietrzu. Drony jednowirnikowe są natomiast relatywnie drogie, trudne w obsłudze i podatne na wibracje. Najbardziej przystępne i najłatwiejsze do zbudowania są zatem UAV-y wielowirnikowe, które zyskały popularność dzięki zdolności do pionowego startu i lądowania, zwrotności, niskim kosztom wytworzenia i kompaktowej budowie. Drony tego typu są często wykorzystywane do nadzoru wideo i fotograficznego³⁵⁴.

352 Taking Flight With 5G/6G: How Next-Gen Tech Transforms Business Travel, blog.wegopro.com, 8 stycznia 2025 r.

353 L. F. Dsouza, Top 10 Ways 6G Will Transform Aviation: From Connectivity to Operations, medium.com 5 lipca 2024 r.

354 Źródło: S. A. H. Mohsan, N. Q. H. Othman, Y. Li, M. H. Alshari, H. A. Khan, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): Practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends, [w:] „Intelligent Services Robotics”, styczeń 2023, s. 2.

Tabela 9. Charakterystyka różnych rodzajów dronów (UAVs)

Cecha	Stałe skrzydła	Wirnikowe	Hybrydowe
Efektywność energetyczna	Wysoka	Niska	Wysoka
System lotu	Złożony	Prosty	Złożony
Lądowanie	Konwencjonalne	Pionowe	Pionowe
Autonomia	Nie	Tak	Tak
Zawisanie	Nie	Tak	Tak
Źródło zasilania	Bateria, paliwo	Bateria	Bateria, paliwo
Czas lotu	60–3000 min	6–180 min	180–480 min
Ładowność maksymalna	1 t	50 kg	10 kg
Waga	0,1 kg – 6,8 t	0,01 – 100 kg	1,5 – 65 kg

Źródło: S. A. H. Mohsan, N. Q. H. Othman, Y. Li, M. H. Alshari, H. A. Khan, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): Practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends, [w:] „Intelligent Services Robotics”, styczeń 2023, s. 5.

Poza szczególnie gwałtownie rozwijającą się sferą zastosowań militarnych, UAV-y wykorzystywane są m.in. w: rolnictwie (monitorowanie upraw i rozprowadzanie środków ochrony roślin), ratownictwie (lokalizowanie zaginionych osób i dostarczanie pomocy w trudno dostępnych miejscach), logistyce (szybki transport przesyłek), budownictwie (inspekcja trudno dostępnych elementów infrastruktury), geodezji (tworzenie dokładnych map terenu), ochronie środowiska (obserwacja dzikich zwierząt i monitorowania zanieczyszczeń), energetyce (kontrola linii wysokiego napięcia i turbin wiatrowych), przemyśle filmowym i mediach (tworzenie ujęć z powietrza), policji (obserwacja tłumów i prowadzenie działań operacyjnych), meteorologii (zbieranie danych pogodowych), badaniach naukowych (dokumentowanie trudno dostępnych miejsc), czy archeologii (skanowanie stanowisk i poszukiwania śladów dawnych cywilizacji)³⁵⁵.

W portach lotniczych drony odgrywają coraz ważniejszą rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa i efektywności operacyjnej, zwłaszcza w kontekście inspekcji pasów startowych. Tradycyjnie takie kontrole są wykonywane przez personel naziemny lub pojazdy, co jest czasochłonne, kosztowne i potencjalnie niebezpieczne. Obecnie porty lotnicze na całym świecie coraz częściej wykorzystują drony wyposażone w kamery termowizyjne i algorytmy AI do szybszych, bezpieczniejszych i dokładniejszych inspekcji. Kamery termowizyjne umożliwiają wykrywanie pęknięć, nierówności i uszkodzeń często niewidocznych gołym okiem, a systemy AI automatycznie identyfikują obce obiekty na nawierzchni (tzw. Foreign Object Debris, FOD), takie jak śruby czy kamienie, które mogłyby zagrozić samolotom³⁵⁶.

Zastosowanie dronów w portach lotniczych przynosi szereg istotnych korzyści, które wpływają na poprawę bezpieczeństwa, efektywności operacyjnej oraz zrównoważony rozwój portów lotniczych. Przede wszystkim, UAV-y zapewniają wyjątkowo wysoką dokładność pozyskiwania danych dzięki wykorzystaniu kamer o wysokiej rozdzielczości oraz zaawansowanych czujników. Pozwala to na lepsze zrozumienie stanu infrastruktury i podejmowanie trafniejszych decyzji dotyczą-

355 Źródło: S. A. H. Mohsan, N. Q. H. Othman, Y. Li, M. H. Alshari, H. A. Khan, Unmanned..., op.cit., s. 14–18.

356 H. El-Saidi, M. Orfanini, E. Orfanini, Design and Analysis of Drone for Foreign Object Debris (FOD) Detection in the Airport, Proceedings of the 10th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM'24), Barcelona, 22–24 sierpnia 2024 r.

cych jej utrzymania i rozwoju. W porównaniu z systemami statycznymi (np. kamerami systemu PIDS, Perimeter Intrusion Detection System), drony mogą dynamicznie reagować na zmieniające się warunki i monitorować rozległe obszary w czasie jednego lotu. Istotne jest również zwiększenie bezpieczeństwa pracowników – dzięki możliwości zdalnego wykonywania inspekcji, drony ograniczają konieczność fizycznej obecności ludzi w potencjalnie niebezpiecznych strefach operacyjnych. Równocześnie wspierają działania mające na celu zapobieganie kolizjom samolotów z ptakami, minimalizując ryzyko zdarzeń lotniczych. Kolejną ich zaletą jest ułatwienie spełniania wymagań regulacyjnych. Drony umożliwiają dokładne i systematyczne monitorowanie infrastruktury, co pozwala portom lotniczym na bieżąco dokumentować zgodność z przepisami i uniknąć ryzyka sankcji związanych z ewentualnymi nieprawidłowościami. Technologia ta wspiera również ochronę środowiska naturalnego – pozwala na monitorowanie siedlisk dzikich zwierząt oraz ich bezpieczne odstraszenie bez ingerencji w ekosystem. UAV-y to także narzędzie sprzyjające realizacji strategii zrównoważonego rozwoju. W porównaniu do tradycyjnych metod inspekcji i monitoringu są znacznie mniej inwazyjne i bardziej przyjazne środowisku. Dodatkowo, automatyzacja przy użyciu dronów przekłada się na oszczędności finansowe – ogranicza potrzebę pracy ręcznej i skraca czas wykonywania wielu czynności operacyjnych³⁵⁷.

Drony nie tylko przyspieszają i zwiększają dokładność inspekcji, ale również dostarczają pełnej dokumentacji cyfrowej – zdjęć, nagrań i danych sensorycznych – wspierając predykcyjne utrzymanie infrastruktury. Takie rozwiązania są już wdrażane w największych portach lotniczych świata, m.in. Charles de Gaulle w Paryżu (inspekcja pasów startowych pod kątem obecności FOD i uszkodzeń nawierzchni)³⁵⁸, Changi w Singapurze (drony z detekcją wspieraną AI, co zwiększa dokładność rutynowych kontroli bezpieczeństwa), czy Hartsfield-Jackson w Atlancie (wykrywanie FOD, nocne inspekcje, wykorzystanie kamer na podczerwień do identyfikacji potencjalnych zagrożeń)³⁵⁹.

UAV-y mogą być też wykorzystywane w celu ochrony portów lotniczych przed „wrogimi” dronami – używanymi przez osoby pragnące powodować zakłócenia lotów, awaryjne lądowania, a nawet uszkodzenia infrastruktury i samolotów. Ma to znaczenie zwłaszcza w odniesieniu do tzw. dark drones – mogących działać bez emisji sygnału radiowego (RF), przez co są niewykrywalne dla tradycyjnych systemów monitorujących. W takich przypadkach UAV-y wykorzystywane przez porty lotnicze współpracują z systemami antydronowymi, obejmującymi radary, kamery, czujniki akustyczne i inne systemy³⁶⁰. Przykładem może być tutaj system FALKE testowany w porcie lotniczym w Hamburgu w 2021 r., zakładający eksploatację UAV-ów przechwytyjących, wystrzeliwujących specjalne sieci w kierunku dronów nielegalnie wlatujących w przestrzeń lotniskową³⁶¹.

Zdalnie sterowane drony imitujące ptaki drapieżne, poruszające się dzięki ruchom skrzydeł (tzw. ornitoptery) wykorzystywane są też coraz częściej w portach lotniczych w celu odstraszenia ptactwa, którego bytowanie w okolicach pasa startowego stwarza zagrożenie kolizji z samolotami. Rozwiązanie takie, będące alternatywą dla zatrudniania sokolników, jest stosowane m.in. w portach lotniczym w Southampton (Wielka Brytania; 40 minut lotów dziennie zapewniło zmniejszenie

szere tam liczby zderzeń samolotów z ptakami o 74%)³⁶², Edmonton (Kanada), czy Grand Forks (USA)³⁶³. Używane są także drony również imitujące ptaki drapieżne (zazwyczaj sokoły), ale o stałych skrzydłach i napędzie śmigłowym³⁶⁴.

Przyszłość zapowiada jeszcze większą automatyzację i autonomizację, zwłaszcza w zakresie dronów operujących poza zasięgiem wzroku (Beyond Visual Line of Sight, BVLOS) – z integracją z systemami zarządzania portem lotniczym, predykcyjną analizą danych i autonomicznymi rojami UAV-ów. Prognozy mówią o dalszym poszerzaniu roli dronów w portach lotniczych – z narzędzia do monitoringu do aktywnego elementu obsługi technicznej samolotów. Będą więc one częścią zintegrowanych, inteligentnych systemów utrzymania (Maintenance, Repair and Overhaul, MRO), łączących AI, AR i robotykę. A wszystko to w myśl idei collaborative robotics, zakładającej współpracę dronów i robotów z minimalnym udziałem człowieka³⁶⁵.

Wykorzystanie dronów w porcie lotniczym Belo Horizonte

Międzynarodowy Port Lotniczy Belo Horizonte w Brazylii od 2021 r. wykorzystuje drony do nadzoru i zarządzania infrastrukturą lotniskową. Wdrożenie tej technologii poprawiło bezpieczeństwo operacji lotniczych, zwiększyło efektywność działań operacyjnych i pozwoliło na ograniczenie kosztów utrzymania. UAV-y realizują wiele zadań: przeprowadzają inspekcje pasów startowych, dróg kołowania i płyt postojowych — wychwytyjąc uszkodzenia nawierzchni, oznakowania czy obecność FOD. Regularnie monitorują także ogrodzenia ochronne i drogi serwisowe, a także obserwują obecność ptaków i innych zwierząt w rejonie lotniska, pomagając ograniczyć ryzyko kolizji z samolotami. Każdy dron jest wyposażony w system ADS-B (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast), który wykrywa pobliskie samoloty i wyświetla je operatorowi drona, zwiększając bezpieczeństwo. Obraz z kamery w jakości 4K jest na żywo przekazywany do wieży kontroli lotów, centrum operacyjnego i centrum zarządzania kryzysowego, co pozwala na szybsze podejmowanie decyzji. Działania dronów są w pełni zgodne z brazylijskimi przepisami lotniczymi i zawsze wcześniej uzgadniane z kontrolą ruchu lotniczego. Port lotniczy podpisał formalną umowę z lokalną służbą ATC, która określa zasady bezpiecznego użycia dronów w przestrzeni lotniskowej. Każda operacja poprzedzona jest analizą ryzyka, a operatorzy są odpowiednio przeszkoleni. Dzięki użytkowaniu UAV-ów, czas inspekcji skrócił się z kilku godzin do kilkadziesiąt minut, poprawiła się jakość danych, a liczba potencjalnie niebezpiecznych interwencji ludzi w trudno dostępnych miejscach znacząco spadła. Mniej operacji pojazdów naziemnych oznacza także mniejsze zużycie paliwa i niższą emisję CO₂. W przyszłości władze portu lotniczego planują wykorzystać drony do inspekcji systemów naprowadzania samolotów, takich jak wskaźniki ścieżki podejścia precyzyjnego (Precision Approach Path Indicator, PAPI), co jeszcze bardziej ma zwiększyć precyzję i bezpieczeństwo lądowań³⁶⁶.

357 The Disruptive Impact of Drones on Airport Approach Obstacle Analysis & Visualization, aeriumanalytics.com, 1 sierpnia 2024 r.

358 Runway pavement inspections using airsight drone, airsight.de, 2016.

359 D. Shipman, New drone inspection program at Hartsfield-Jackson on display at annual airport safety expo, atlantanewsfirst.com, 13 sierpnia 2024 r.

360 J. Kasuda, B. Clark, Drones: The rising security threat for today's smart airport, airport-world.com, 28 czerwca 2024 r.

361 Project FALKE successful interception of illegally flying drones at Hamburg Airport, frequentis.com, wrzesień 2021 r.

362 Drones for bird hazard control at Southampton Airport, ferrovia.com.

363 M. McNabb, It's Takes a Bird to Stop a Bird: The RoBird Flying Robot Defends Airports Against Bird Strikes, 10 czerwca 2022 r.

364 E. Gent, Robotic Falcon Keeps Birds Away From Airports. Is its large silhouette the real scare factor?, spectrum.ieee.org, 6 listopada 2022 r.

365 The Rise of Drone Technology in Aircraft Inspections, avitrader.com, 15 listopada 2024 r.

366 P. Stochi, Drones at BH Airport: Innovation and safety in airport management, internationalairportreview.com, 9 kwietnia 2025 r.

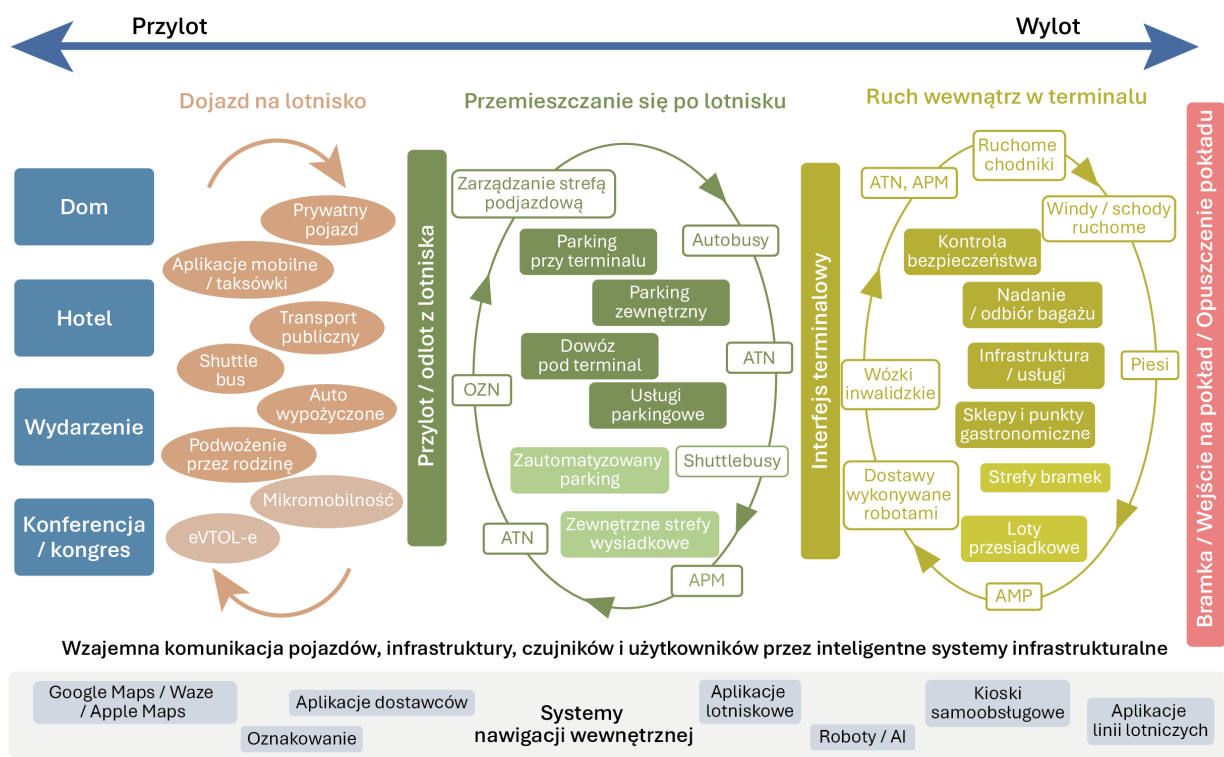
5.3 Transport i mobilność – miejsce portów lotniczych w łańcuchach multimodalnych

W obliczu dynamicznych przemian technologicznych, urbanistycznych i środowiskowych, współczesne porty lotnicze przekształcają się z tradycyjnych węzłów transportowych w złożone ekosystemy skupiające różnorodną aktywność – tzw. aerotropolis. Integrują one funkcje transportowe, biznesowe i społeczne, co nadaje im rolę centrów rozwoju gospodarczego i logistycznego nie tylko w skali lokalnej, ale i międzynarodowej. W tej perspektywie port lotniczy staje się „miastem w mieście”, oferującym pełne zaplecze usługowe, komercyjne, technologiczne i komunikacyjne. Jednym z kluczowych aspektów tej transformacji jest rozwój multimodalnych hubów transportowych, w których lotnictwo łączy się płynnie z innymi sposobami przemieszczania się – zwłaszcza nisko- i zeroemisyjnym transportem publicznym. Szczególne znaczenie zyskuje integracja z kolejami dużych prędkości (KDP) i nowoczesnymi systemami szynowymi, co sprzyja ograniczeniu dojazdu prywatnymi samochodami i redukcji śladu węglowego podróży. Wzmacnianie roli zrównoważonego transportu jest również odpowiedzią na coraz bardziej restrykcyjne regulacje dotyczące krótkodystansowych połączeń lotniczych, które szczególnie mocno mogą wpłynąć na funkcjonowanie regionalnych portów lotniczych.

Postępująca elektryfikacja oraz automatyzacja pojazdów obsługi naziemnej, w tym także pojazdów cargo i taksówek lotniskowych, wpisuje się w trend dekarbonizacji operacji lotniskowych. Jednocześnie rozwijają się koncepcje Advanced Air Mobility (AAM), które otwierają nowe możliwości w zakresie szybkiego, lokalnego transportu powietrznego przy użyciu pojazdów eVTOL (elektrycznych pionowzlotów). W dłuższej perspektywie mogą one uzupełniać, a nawet częściowo zastępować tradycyjne formy mobilności, redefiniując rolę portów lotniczych jako inteligentnych węzłów przyszłości.

Oczywiście, mobilność w kontekście lotniskowym ma więcej wymiarów niż tylko zewnętrzna dostępność transportowa portu lotniczego. Są to także segmenty obejmujące poruszanie się po terenie samego lotniska oraz terminalu pasażerskiego – wykorzystanie zatem zarządzania strefą dojazdu, busów wahadłowych (tzw. shuttle busów), zautomatyzowanych systemów przewozu pasażerów (Automated People Movers, APM) oraz środków transportu osobistego (Personal Rapid Transit, PRT), ruchomych chodników, tworzących całe sieci transportowe (Automated Transit Networks, ATN) itd. W każdej z nich ogromnie wzrasta znaczenie nowych technologii, takich jak autonomizacja, wykorzystanie AI, czy IoT.

Rysunek 10. Wymiary mobilności lotniskowej



Źródło: A. Duvall, *Evolving Ground Mobility at Airports*, National Renewable Energy Laboratory 2023.

W niniejszym rozdziale przedstawione zostaną najważniejsze kierunki rozwoju technologii lotniskowych w zakresie ich wpływu na transformację środków i infrastruktury szeroko pojmowanego transportu.

Aerotropolis i Aerotropolis 4.0

Największe współczesne porty lotnicze ewoluują z tradycyjnych węzłów transportowych w wielofunkcyjne centra gospodarcze, określane mianem aerotropolis. Pojęcie to zostało spopularyzowane przez dr. Johna D. Kasardę (autora książki *Aerotropolis: The Way We'll Live Next* z 2011 r.) i odnosi się do koncepcji miasta zorganizowanego wokół portu lotniczego, w którym infrastruktura, gospodarka i użytkowanie gruntów są silnie powiązane z jego działalnością^{367, 368}. W przeciwieństwie do klasycznych portów lotniczych, które pełnią przede wszystkim funkcję obsługi pasażerów i cargo, aerotropolis integruje lotnictwo z szeroko pojętym rozwojem urbanistycznym, obejmującym hotele, centra biznesowe, kompleksy handlowe, parki przemysłowe, a nawet obszary mieszkalne. Idea ta opiera się na założeniu, że w dobie globalizacji i rosnącego znaczenia transportu lotniczego szybki dostęp do portu lotniczego staje się równie kluczowy jak dostęp do centrum miasta. Wspomniane ośrodki zlokalizowane są zazwyczaj do ok. 30 km od samego portu lotniczego, ale jego bezpośredni wpływ sięga nawet do 100 km od portu lotniczego. W modelu

367 Aerotropolis: Cities of the Future: Exploring the Concept of Aerotropolis, fastercapital.com, 5 czerwca 2024 r.

368 Zob. aerotropolis.com.

aerotropolis kluczowe znaczenie ma rozwój infrastruktury drogowej i kolejowej, która umożliwia efektywne połączenie portu lotniczego z otaczającym regionem.

Z pojęciem aerotropolis często zamiennie używa się sformułowania airport city. Odnosi się ono jednak do bezpośredniego otoczenia portu lotniczego, obejmującego terminale, centra biznesowe, magazyny i obiekty logistyczne. Jego funkcjonowanie koncentruje się na obsłudze pasażerów, cargo oraz działalności gospodarczej bezpośrednio związanej z portem lotniczym. Aerotropolis to znacznie większa struktura urbanistyczna, w której port lotniczy jest centralnym punktem, ale obejmuje rozległy obszar ekonomiczny wokół niego, rozciągający się na wiele kilometrów. Oprócz airport city, aerotropolis obejmuje dzielnice biznesowe, przemysłowe, strefy wolnego handlu, parki technologiczne, osiedla mieszkaniowe i sieć transportową integrującą region.

Największe i najnowocześniejsze aerotropolis i airport cities na świecie

Aerotropolis obejmują duże regiony gospodarcze, gdzie port lotniczy stanowi centralny punkt napędzający rozwój wielu sektorów. Airport cities to kompaktowe obszary bezpośrednio wokół portu lotniczego, koncentrujące się głównie na logistyce, biznesie i hotelarstwie³⁶⁹. Największe aerotropolis na świecie:



Port lotniczy w Inczon (Korea Południowa)

Port lotniczy w Inczon to serce azjatyckiego aerotropolis, integrujące powstające Songdo International Business District, nowoczesne osiedla mieszkaniowe, strefę wolnego handlu, parki technologiczne oraz kampusy uniwersyteckie. Wokół niego rozwinął się ogromny sektor hotelarski, a infrastruktura obejmuje także Incheon Bridge, który łączy aerotropolis z centrum Seulu³⁷⁰.

Port lotniczy Dallas/Fort Worth (USA)

DFW to jeden z największych węzłów logistycznych w USA, otoczony przez AllianceTexas, ogromny park przemysłowy, magazynowy i technologiczny. W aerotropolis znajduje się również Centrum Biznesowe Las Colinas, kompleksy mieszkalne oraz centrum konferencyjne Gaylord Texan Resort. Kluczową rolę odgrywa rozbudowana sieć autostrad i kolejowych terminali cargo.

Port lotniczy Dubaj (Zjednoczone Emiraty Arabskie)

Dubai International Airport wraz z Dubai World Central (DWC) stanowi ogromny hub biznesowy,

łączy lotnictwo, logistykę i nieruchomości. W aerotropolis znajduje się Jebel Ali Free Zone (JAFZA) – jedna z największych stref wolnego handlu na świecie, a także Dubai South, nowoczesny kompleks mieszkaniowo-biznesowy³⁷¹.

Port lotniczy Pekin-Daxing (Chiny)

Daxing, otwarte w 2019 r., jest sercem nowego aerotropolis Pekinu. Otaczają go Daxing Airport Economic Zone, huby transportowe, parki technologiczne, a także nowoczesne dzielnice mieszkalne i usługowe. Port lotniczy jest również zintegrowany z koleją dużych prędkości³⁷².

Port lotniczy w Hongkongu (Chiny)

Hongkong International Airport jest centrum aerotropolis obejmującego m.in. Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge, łączący go z ważnymi ośrodkami biznesowymi, SkyCity – ogromny kompleks rozrywkowy i handlowy, oraz AsiaWorld-Expo, jedno z największych centrów wystawienniczych w Azji³⁷³.

Port lotniczy Hartsfield-Jackson (Atlanta, USA)

Największy port lotniczy świata pod względem liczby pasażerów (108,1 mln pasażerów w 2024 r.) jest otoczony przez centra biznesowe, hotele, logistykę lotniczą oraz Georgia International Trade Center, wspierające rozwój handlu międzynarodowego. Część podmiotów działających w otoczeniu portu lotniczego współpracuje w ramach organizacji Aerotropolis Atlanta, wykorzystującej mechanizmy Partnerstwa Publiczno-Prywatnego³⁷⁴.

Rozwój aerotropolis i airport cities wiąże się z coraz większą konkurencją pomiędzy portami lotniczymi o przyciągnięcie inwestorów i przewoźników. Porty lotnicze, które jeszcze kilkanaście lat temu koncentrowały się wyłącznie na transporcie, obecnie przekształcają się w wielofunkcyjne ekosystemy biznesowe. Doskonałym przykładem jest port lotniczy w Dubaju, który oprócz tego, iż jest jednym z największych hubów pasażerskich na świecie, stanowi także centrum gospodarcze skupiające firmy z branży handlu międzynarodowego, logistyki i technologii.

³⁷¹ Zob. jafza.ae.

³⁷² Airport Economic Zone: Beijing Daxing International Airport celebrates 5th anniversary, news.cgtn.com, 27 września 2024 r.

³⁷³ Developing Airport City into World-leading New Landmark with Expanded Blueprint, hongkongairport.com, 24 października 2024 r.

³⁷⁴ Zob. aeroatl.org.



world

arów

- hub

KOWY

kuje

dąż:

...

1071

środki transportu: pojazdy autonomiczne, czy elektryczne pionowzloty – eVTOL (do pewnego momentu do grupy tej zaliczano także hyperloop³⁷⁸). Przemiany te są odpowiedzią na rosnącą presję na zmniejszenie emisji dwutlenku węgla i zastąpienie lotów krótkodystansowych bardziej ekologicznymi opcjami, takimi jak kolej dużych prędkości³⁷⁹.

Amsterdam-Schiphol jako zintegrowany hub transportowy

Port Lotniczy Amsterdam-Schiphol (AMS) w Holandii jest jednym z najlepszych przykładów zintegrowanego hubu transportowego na świecie. Jego użytkownicy mogą korzystać z różnorodnych środków transportu, zarówno krajowego, jak i międzynarodowego, co czyni go wiodącym centrum mobilności na poziomie globalnym. Pod terminalem portu lotniczego znajduje się stacja Schiphol Airport, która obsługuje zarówno pociągi krajowe, takie jak szybki Intercity Direct, łączący Amsterdam z Rotterdamem i Hagą, jak i międzynarodowe połączenia kolejowe. Pasażerowie mogą skorzystać z takich linii jak Thalys do Paryża i Brukseli czy ICE do Niemiec, co umożliwia szybki i wygodny transport do głównych europejskich miast. Port lotniczy posiada także rozwiniętą sieć transportu publicznego, w tym liczne linie autobusowe, które łączą go z Amsterdamem i innymi miastami w Holandii. Dodatkowo, Schiphol obsługuje szybkie tramwaje, w tym połączenie do Haarlemu, co stanowi wygodny środek transportu dla pasażerów podróżujących w obrębie regionu. Port lotniczy jest położony w strategicznej lokalizacji, z bezpośrednim dostępem do kluczowych holenderskich autostrad – A4 i A9, co zapewnia łatwy dojazd do Schiphol zarówno prywatnym samochodem, jak i taksówkami czy usługami ride-sharingowymi. Istnieje także możliwość dojazdu do portu lotniczego rowerem. Schiphol jest wyposażone w liczne ścieżki rowerowe oraz parkingi dla rowerów, co umożliwia komfortowe i ekologiczne przemieszczanie się. To rozwiązanie przyciąga nie tylko pasażerów, ale także pracowników – mieszkańców okolicznych osiedli i miast. Schiphol nie tylko stawia na tradycyjne środki transportu, ale również wdraża innowacyjne rozwiązania, które wspierają zrównoważoną mobilność. Na terenie portu lotniczego testowane są pojazdy autonomiczne i elektryczne, które stanowią część nowoczesnych usług transportowych, takich jak systemy carsharingowe. Wizja rozwoju portu lotniczego określanego jako Multimodal Hub Schiphol (MHS) jest zatem wciąż rozwijana³⁸⁰.



Źródło: Schiphol

Największe porty lotnicze coraz częściej muszą opracowywać strategie dotyczące ich dostępności transportowej, które skupione są w znacznej mierze na zapewnieniu jak najbardziej zrównoważonego rozwoju w tej sferze. ICAO wskazuje przykłady działań, które mogą podejmować

378 S. Wittlieb, The airport as a mobility hub: Imaging an intermodal transportation crossroads for digital innovation and economic growth, internationalairportreview.com, 13 kwietnia 2022 r.

379 A. Toet, J. van Kuijk, S.C. Santema, Transforming Airport Hubs into Future-Proof Multimodal Transport Hubs, Relating Systems Thinking and Design 2022 Symposium, 13-16 października 2022 r.

380 Multimodal Hub Schiphol (MHS), schiphol.nl.

władze portów lotniczych w tym zakresie³⁸¹.

- **stosowanie odpowiednich materiałów do budowy infrastruktury transportowej** – np. porowaty asfalt ułatwiający wchłanianie wody deszczowej, wykorzystywanie surowców lokalnych, materiałów pochodzących z recyklingu i biomateriałów, wdrażania nowoczesnych systemów monitorowania nawierzchni i optymalizacja utrzymania;
- **cyfryzacja** – ułatwia pasażerom planowanie podróży i korzystanie z ekologicznych rozwiązań, takich jak transport publiczny, współdzielenie pojazdów czy samochody elektryczne. Optymalizuje to trasy i ogranicza czas bezczynności pojazdów. Wykorzystanie MaaS może popularyzować np. kalkulatory emisji w aplikacjach mobilnych i tzw. ridesharing (współdzielenie podróży taksówką z innymi pasażerami).
- **rozwój miejskiej mobilności powietrznej** (Urban Air Mobility, UAM) – wykorzystanie elektrycznych statków powietrznych pionowego startu i lądowania (eVTOL) do przewozu ładunków i pasażerów, w celu zmniejszenia zatłoczenia dróg;
- **wykorzystanie pojazdów połączonych i autonomicznych** (Connected and Autonomous Vehicles, CAV) – pojazdy, które mogą przejmować część funkcji związanych z prowadzeniem dzięki zastosowaniu czujników, kontrolerów, komputerów pokładowych i zaawansowanego oprogramowania. W zależności od wyposażenia mogą komunikować się z pasażerami, innymi pojazdami oraz infrastrukturą transportową. CAV wykorzystywane są zarówno na obszarach ogólnodostępnych, jak i operacyjnych portów lotniczych.
- **stawianie na intermodalność** – wspieranie realizacji podróży łączonych w dojeździe do portów lotniczych oraz integracja różnych środków transportu w ujęciu zarówno technicznym, jak i operacyjnym czy taryfowym. Szczególnie innowacyjne plany w tym zakresie mówią o wykorzystaniu wspomnianych pionowzlotów eVTOL, a także elektrycznych tzw. seagliderów w celu obsługi przybrzeżnych regionalnych portów lotniczych przybrzeżnych i tras między wyspami³⁸².
- **pojazdy zeromisyjne** – zachęcenie pasażerów lub pracowników do wykorzystywania samochodów na energię elektryczną lub wodoru oraz rowerów czy motocykli elektrycznych do dojazdów do portów lotniczych, co wymaga tworzenia odpowiedniej infrastruktury ładowania i tankowania na i w pobliżu portów lotniczych.

Przykładami portów lotniczych, które zwracają szczególną uwagę na zrównoważony rozwój środków transportu w kontekście ich zewnętrznej dostępności komunikacyjnej, są największej brytyjskie porty lotnicze. Są one zobligowane do sporządzania strategii dostępu transportowego (Airport Surface Access Strategies, ASAS)³⁸³, co ma swoje przełożenie m.in. na obowiązki związane z oceną oddziaływania na środowisko i procesy planistyczne w przypadku nowych inwestycji. Takie dokumenty posiadają m.in. londyńskie porty lotnicze Gatwick, Heathrow, Luton, czy porty lotnicze w Manchesterze, Bristolu, Birmingham, Liverpoolu i Edynburgu³⁸⁴. Wyznaczają one cele w zakresie zwiększania udziału transportu publicznego w dojazdach, posiadają zazwyczaj kilkuletnie horyzonty czasowe i są poddawane aktualizacjom zazwyczaj co 5 lat.

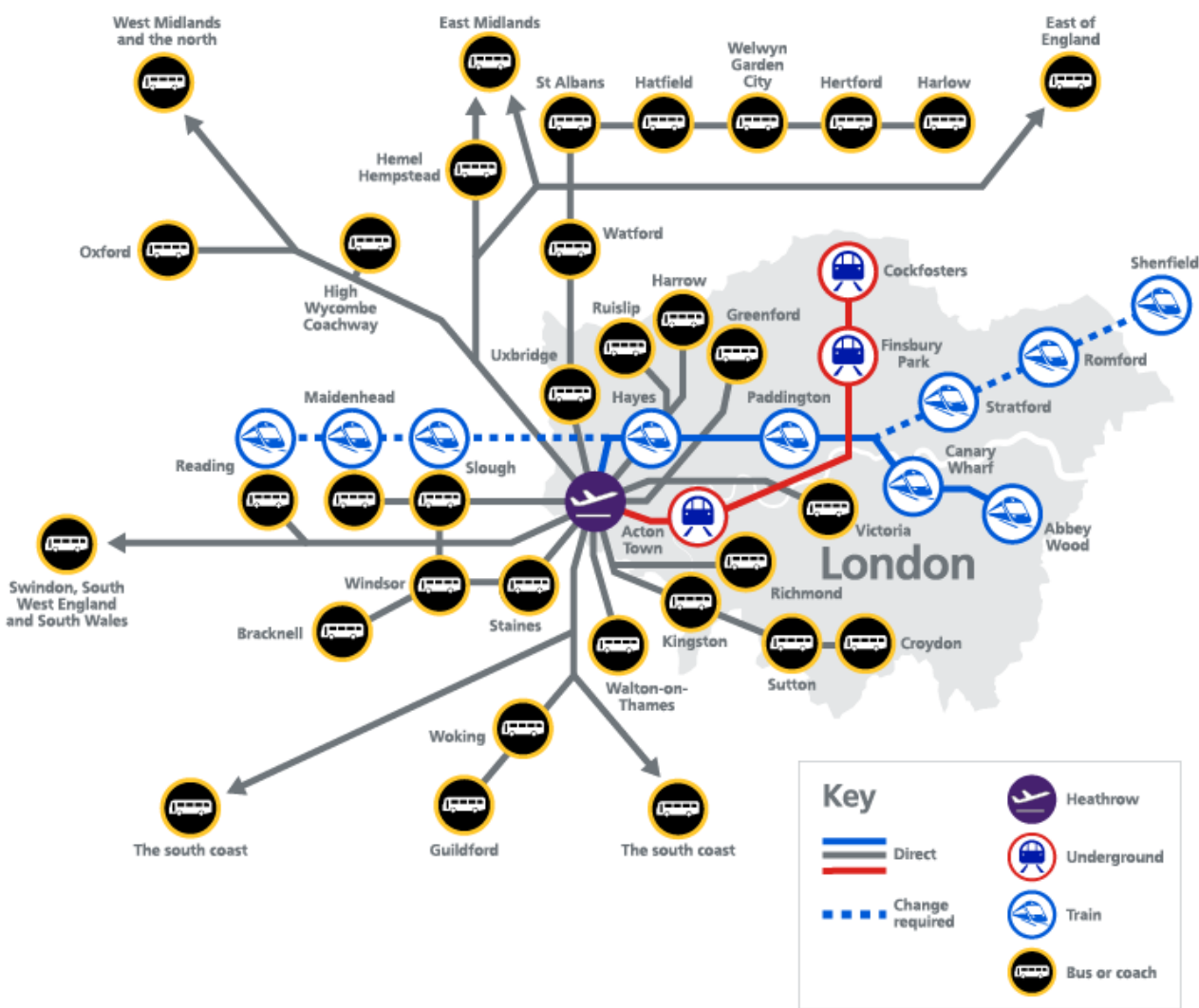
381 Sustainable Considerations for Airport Surface Access. Eco Airport Toolkit, ICAO, 2022.

382 E. Head, How Regent's seaglider is melding maritime and aviation tech, theaircurrent.com, 6 marca 2025 r.

383 S. Ison, Airport Surface Access and the Role of Public Transport: A UK Perspective, 16 sierpnia 2023 r.

384 Airport surface access, The Chartered Institute of Logistics and Transport, marzec 2024.

Rysunek 12. Schemat pokazujący obsługę londyńskiego portu lotniczego Heathrow przez różne środki transportu publicznego



Źródło: Surface Access Strategy, Heathrow, sierpień 2022.

Strategia dostępu transportowego portu lotniczego w Edynburgu

W kwietniu 2024 r. port lotniczy w Edynburgu przedstawił nową odsłonę swojej strategii dostępu transportowego. Jak wskazano w dokumencie, obecnie ok. 16% śladu węglowego tego portu lotniczego jest następstwem podróży odbywających się z i do portu lotniczego. 37% pasażerów dociera tam przy użyciu 12 bezpośrednich linii autobusowych oraz połączenia tramwajowego z centrum Edynburga. Strategia wyznacza główne priorytety dotyczące transportu w kontekście obsługi portu lotniczego, obejmujące zapewnienie silnej łączności portu lotniczego z szeroką siecią transportową Szkocji, wspieranie dekarbonizacji transportu poprzez inwestowanie w nowoczesne technologie oraz ułatwienie dostępu do miejsc pracy na terenie portu lotniczego poprzez poprawę dostępności transportu publicznego. Dokument podkreśla również konieczność proaktywnego zarządzania infrastrukturą drogową w zachodnim Edynburgu, tak aby sprostać rosnącemu zapotrzebowaniu związanym z dalszym rozwojem portu lotniczego i okolicznymi projektami mieszkaniowymi. Strategia wskazuje pięć kluczowych celów transportowych:

- zachęcanie i stymulowanie do powstawania nowych tras transportu publicznego (działania po-

legające m.in. na lepszej współpracy z przewoźnikami autobusowymi – również w zakresie biletów okresowych dla pracowników portu lotniczego, dopasowywanie ich rozkładu jazdy do przylotów i odlotów);

- wdrażanie działań na rzecz zrównoważonego rozwoju transportu w kontekście portu lotniczego i jego otoczenia (działania: rozpoczęcie prac nad oceną wykonalności odprawy pasażerów w lokalizacjach zewnętrznych, takich jak centrum miasta czy domy; współpraca z lokalnymi hotelami w celu rozwoju usług odprawy lotniskowej dla gości, poszukiwanie nowych opcji transportu dla pracowników, w tym elastycznych modeli odpowiadających na zapotrzebowanie, zwłaszcza dla osób pracujących na zmianach; kontynuowanie zachęcania pracowników do korzystania z samochodów elektrycznych);
- wspieranie rozwoju tras aktywnej mobilności, umożliwiających tworzenie „sąsiedztw 20-minutowych” (działania: tworzenie pieszych korytarzy dostępowych, wspieranie tworzenia kompaktowych dzielnic mieszkaniowych w zachodnim Edynburgu wraz z trasami dostępowymi do portu lotniczego, promowanie możliwości zatrudnienia w porcie lotniczym pośród mieszkańców nowo powstających osiedli mieszkaniowych);
- poprawa dostępności drogowej i redukcja lokalnych zatorów komunikacyjnych (działania: współpraca z partnerami w zakresie nowych połączeń drogowych portu lotniczego łączących je z całą siecią szkockiej sieci transportowej oraz zapewnianie nowych dojazdowych połączeń autobusowych);
- promowanie i wdrażanie technologii przyjaznych dla środowiska na terenie portu lotniczego (działania: przyspieszenie dekarbonizacji portu lotniczego, polegające na tworzeniu hubu wodowego, wykorzystaniu energii z wiatru i słońca, wpływanie na partnerów transportowych i dostawców w zakresie użytkowania zeroemisyjnych pojazdów)³⁸⁵.

Porty lotnicze a transport szynowy

Szczególnie istotne będzie znaczenie transportu szynowego w zapewnianiu odpowiedniej dostępności transportowej portów lotniczych przyszłości. Kolej uznawana jest za jeden z najbardziej zrównoważonych i efektywnych energetycznie środków transportu. Potencjał rozwojowy mają zwłaszcza dwa jej segmenty – koleje aglomeracyjne oraz koleje dużych prędkości (KDP). Pierwszy z nich wymieniany jest jako jedno z głównych rozwiązań problemu kongestii, suburbanizacji i ograniczonej przepustowości infrastruktury drogowej. KDP natomiast wskazywana jest często jako ekologiczna alternatywa dla lotów krajowych oraz tych na trasach do ok. 500-800 km (w przypadku kolei bardzo dużych prędkości – 350 km/h i więcej – do nawet 1400 km)³⁸⁶. Z tego też powodu do niedawna kolej dużych prędkości postrzegana była raczej przez pryzmat konkurencji, a nie współpracy z transportem lotniczym. Przyszłość to jednak zwiększanie integracji pomiędzy oboma sposobami przemieszczania się, zwłaszcza w zakresie poprawy dostępności transportowej portów lotniczych i ich otoczenia oraz polepszania Passenger Experience³⁸⁷.

Porty lotnicze będą w większym stopniu włączane do systemów kolei aglomeracyjnych (jak rów-

³⁸⁵ Edinburgh Airport Surface Access Strategy, Edinburgh Airport, kwiecień 2024 r.

³⁸⁶ Z. Yuan, Ch. Dong, X. Ou, The substitution effect of high-speed rail on civil aviation in China, [w:] „Energy”, vol. 263, 15 stycznia 2023 r.

³⁸⁷ E. Lee, T. Kawakita, Y. Huai, H.K. Lo, A. Zhang, Airline and high-speed rail collaboration and competition under travel time variability, [w:] „Transportation Research Part A: Policy and Practice”, vol. 185, czerwiec 2024.

niez rozbudowywać i uruchamiać będą własne systemy transportu szynowego), a inwestycje w linie szybkich kolei będą komplementarne względem budowy i rozbudowy hubów lotniczych. Zakładają to m.in. projekty: budowy polskiego Centralnego Portu Komunikacyjnego (CPK) łącznie z linią „Y”, połączenia kolejowego tureckiej KDP pomiędzy portami lotniczymi w Stambule i Sabiha-Gökçen³⁸⁸ czy tajlandzkiego Airport Rail Link łączącego porty lotnicze Don Mueang, Suvarnabhumi i U - Tapao³⁸⁹. Unijna Strategia na rzecz zrównoważonej i inteligentnej mobilności zakłada dwukrotne zwiększenie ruchu KDP do 2030 r., a trzykrotne do 2050 r., przy jednoczesnym osiągnięciu do 2030 r. neutralności klimatycznej regularnego transportu zbiorowego na dystansach do 500 km³⁹⁰. Chiny planują rozbudowę posiadanej sieci KDP do 60 tys. km w 2030 r. (w samym tylko 2025 r. w Państwie Środka dobudowane zostanie 2600 km sieci kolei dużych prędkości)³⁹¹. Ambitne plany rozwoju tego środka transportu posiadają także inne państwa, m.in. Dalekiego i Bliskiego Wschodu³⁹² czy północy Afryki³⁹³.

Jako kwestie kluczowe dla integracji pomiędzy transportem kolejowym a lotniczym najczęściej wskazywane są udogodnienia związane z obsługą bagażu, czy wyznaczaniem specjalnych ścieżek dojazdu w ramach portów lotniczych, co umożliwi pasażerom dokonywanie płynniejszych przejść pomiędzy pociągami a terminalem, zwiększając komfort i efektywność podróży. Inne istotne możliwości to współpraca między operatorami kolejowymi i liniami lotniczymi w zakresie zakupu łączonych biletów (sztandarowy przykład to szwajcarska usługa Swiss Air Rail)³⁹⁴ lub integracji programów lojalnościowych czy zawierania porozumień w zakresie odpowiedzialności i wypłaty odszkodowań pasażerom w razie opóźnienia pociągu lub lotu³⁹⁵. Na bazie tego można mówić o trzech poziomach współpracy: niskim (zapewnienie szybkiego i bezproblemowego dojazdu do i z portu lotniczego, poprzez np. sprzedaż biletów kolejowych przez linie lotnicze), średnim (umowy typu codeshare między przewoźnikiem kolejowym a linią lotniczą, połączenia łączone – w przypadku opóźnień ułatwienie podejmowania działań przez linię lotniczą lub przewoźnika kolejowego), wysokim (poza kwestiami biletowymi, także udogodnienia w zakresie transportu bagażu oraz wydzielonych stref w pociągu dla pasażerów klasy biznes i pierwszej)³⁹⁶.

Współpraca kolej – linie lotnicze: Swiss Air Rail

Doskonałym przykładem integracji transportu lotniczego i kolejowego jest kooperacja pomiędzy liniami lotniczymi Swiss International Airlines (SWISS) a Szwajcarskimi Kolejami Federalnymi (SBB). W jej ramach, podczas podróży do lub z portu lotniczego w Zurychu bilety lotnicze SWISS są bezpośrednio honorowane w pociągach, a koszt biletu kolejowego wliczony jest w cenę biletu lotniczego. Dodatkowo, pasażerowie mogą zdobywać mile za podróże na trasach Swiss Air Rail,

388 S. Hacialoglu, New high-speed rail to link Istanbul Airport to Sabiha Gokcen Airport, turkiyetoday.com, 27 grudnia 2024 r.

389 Three-airport rail link work 'could start in April', bangkokpost.com, 17 stycznia 2025 r.

390 Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, Strategia na rzecz zrównoważonej i inteligentnej mobilności – europejski transport na drodze ku przyszłości, COM(2020) 789 final, Bruksela, 9 grudnia 2020 r.

391 T. Burman, China's 2030 High-Speed Rail Goal, newsweek.com, 2 stycznia 2025 r.

392 Gulf railway project picks up steam, sovereigngroup.com, 11 marca 2025 r.

393 Transforming Transportation with African High-Speed Rail, railway.supply, 25 stycznia 2025 r.

394 H. Hill, M. Mullen, Bridging the gap: The future of intermodality between airports and rail, internationalairportreview.com, 25 września 2024 r.

395 C. Valero, D. Regueiro, A. Sprock, Modal Competition and Substitution: High-Speed Rail Versus Air Transport, ALG, czerwiec 2024, s. 15.

396 B. Rüdiger, Ch. Albl, Terminal On Rail – Air Baggage drop off during train ride to the airport, 7th Transport Research Arena TRA, kwiecień 2018.

a podróżujący lotniczą klasą pierwszą i biznesową mają zapewnione miejsca w wagonach klasy pierwszej oraz dostęp do salonów VIP na dworcu. Wszyscy pasażerowie otrzymują automatyczną rezerwację miejsc i darmowy dostęp do Wi-Fi.

Od rozpoczęcia współpracy w 2022 r., na stacji kolejowej SBB zlokalizowanej przy porcie lotniczym w Zurychu odnotowano 66-proc. wzrost liczby pasażerów. W tym samym okresie średni wzrost tego wskaźnika na całej sieci szwajcarskich kolei wyniósł ok. 27%. Choć oferta Swiss Air Rail cieszy się rosnącym zainteresowaniem pasażerów, SWISS nadal oferuje krótkodystansowe loty na trasach pokrywających się z połączeniami kolejowymi, takimi jak np. Genewa – Zurych. Firma prowadzi jednak rozmowy na temat dalszego udoskonalania usługi, w tym poprawy obsługi bagażu dla podróżnych korzystających z Air Rail³⁹⁷.

Partnerstwa podobne do Swiss Air Rail funkcjonują także we Francji (Air France), Austrii (Austrian Airlines) i Niemczech (Lufthansa, Rail&Fly). Opierają się one przede wszystkim na możliwości zakupu biletu łączonego. Oferty TAP Portugal i ITA Airways umożliwiają zakup biletu kolejowego u przewoźnika lotniczego pozwalającego na podróże międzynarodowe³⁹⁸.

Inteligentne systemy parkingowe

O ile w ramach stawiania na zrównoważoną mobilność i zmniejszanie śladu węglowego, porty lotnicze przyszłości będą dążyć do ograniczania dojazdów do nich indywidualnym transportem samochodowym, to jednak w zakresie okołolotniskowych technologii parkingowych również wdrażane są nowoczesne rozwiązania. Wykorzystują one AI czy IoT zwiększające efektywność operacyjną i poprawiające passenger experience. Nowoczesne, zautomatyzowane parkingi lotniskowe (Automated Parking Systems, APS) wyposażane są w systemy czujników i kamer monitorujących zajętość poszczególnych miejsc w czasie rzeczywistym. Dane te są integrowane z aplikacjami mobilnymi i tablicami informacyjnymi, które kierują kierowców do najbliższych dostępnych miejsc (tzw. Smart Parking Guidance)³⁹⁹. Coraz częściej wjazd i wyjazd z parkingu lotniskowego odbywa się automatycznie dzięki systemom rozpoznawania numerów rejestracyjnych (Automatic Number Plate Recognition, ANPR). Umożliwia to całkowicie bezdotykową obsługę klienta – bez konieczności pobierania biletu czy korzystania z bramek⁴⁰⁰. Takie systemy funkcjonują m.in. w portach lotniczych Heathrow i Oslo Gardermoen.

Na parkingach lotniskowych zwiększa się też liczba stacji ładowania aut elektrycznych. Są to zarówno szybkie ładowarki DC, jak i standardowe ładowarki AC. Port lotniczy Schiphol w Amsterdamie oferuje ponad 400 punktów ładowania⁴⁰¹, z czego wiele znajduje się na długoterminowych parkingach typu P3 i P6. W wielu portach lotniczych wdrażane są też rozwiązania mające na celu minimalizację negatywnego wpływu parkingów na środowisko. Należą do nich zielone dachy, panele fotowoltaiczne zasilające systemy oświetleniowe, zbiorniki na wodę deszczową oraz priorytetowe miejsca dla pojazdów niskoemisyjnych.

397 C. Valero, D. Regueiro, A. Sprock, Modal..., s. 16.

398 J. Bailey, Combined air-rail tickets: How to fly, ride and explore Europe on one booking, 11 marca 2025 r.

399 Parking Smart. How Smart Parking Technologies Benefit Airports, WGI 2020.

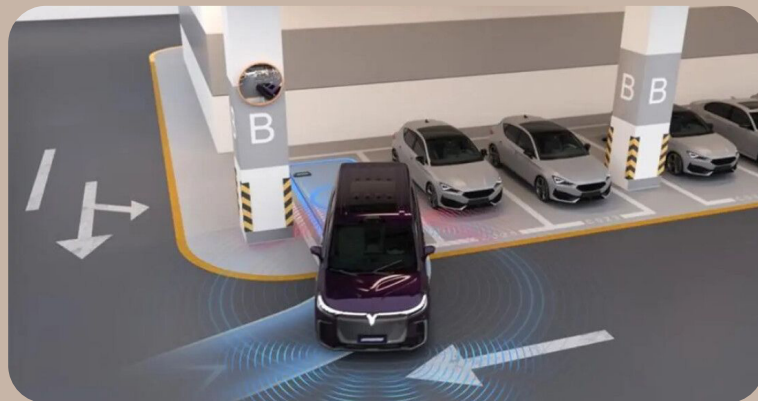
400 L. Caparelli, Enhancing Efficiency and User Experience at Airports: HUB Parking Technology at Passenger Terminal Expo 2025, hubparking.com, 4 marca 2025 r.

401 10,000 new charging stations for electric vehicles, schiphol.nl, 15 listopada 2022 r.

Nowatorskie rozwiązania obejmują także zautomatyzowane systemy parkowania, w których pojazd jest odbierany przez robota-parkingowego lub porusza się autonomicznie do wyznaczonego miejsca. Wykorzystanie takiego rozwiązania jest bardzo pozytywnie przyjmowane przez pasażerów (do 95% pozytywnych opinii) i może doprowadzić do redukcji przestrzeni parkingowych nawet o 50%⁴⁰². Przykładem jest system Stan firmy Stanley Robotics, wdrożony m.in. w porcie lotniczym Lyon-Saint-Exupéry w 2019 r. (testy w 2017 r.), gdzie autonomiczne roboty transportują samochody na wolne miejsca parkingowe. W tym przypadku każdy z autonomicznych botów może podnieść pojazd o wadze do 2,6 tony i ma zdolność przemieszczania do 7 samochodów na godzinę. Wykorzystuje on czujniki ultradźwiękowe, kamery i technologię LiDAR (emisja wiązek laserowych skanujących i mapujących otoczenie). Roboty parkingowe są elektryczne, a 4 godziny ładowania wystarczą na 20 godzin ich pracy. Zbliżone systemy testują też inne porty lotnicze (Charles De Gaulle w Paryżu, port lotniczy w Dusseldorfie oraz London Gatwick), a koreańska firma HL Robotics (która przejęła francuski Stanley Robotics) szacuje, że do 2030 r. wartość światowego rynku takich rozwiązań wyniesie 6,7 mld dolarów⁴⁰³.

Port lotniczy w Shenzhen: Testy systemu autonomicznego parkowania

W styczniu 2025 r. w porcie lotniczym Bao'an w chińskim Shenzhen rozpoczęto testowe wdrożenie technologii autonomicznego parkowania samochodów elektrycznych, dostarczonej przez firmę Huawei. Wykorzystywany jest model Maextro S800. System wykorzystuje zaawansowaną platformę ADS 3.0 VDP (Vehicle Parking Designated Driver). Dzięki niej samochód może samodzielnie przemieścić się do wybranego miejsca parkingowego, omijając przeszkody i pieszych. Kierowca, po dotarciu na parking lotniskowy, wybiera miejsce postoju za pomocą dedykowanej aplikacji mobilnej i opuszcza pojazd. Samochód kontynuuje manewr samodzielnie, unikając kolizji. Jeżeli wybrane miejsce jest już zajęte, pojazd automatycznie znajduje inne wolne miejsce i się wyłącza. Po powrocie użytkownik może jednym kliknięciem przywołać pojazd z powrotem – samochód sam podjeżdża do właściciela, co eliminuje konieczność poruszania się po dużych przestrzeniach parkingowych z bagażem. Technologia ta uwzględnia także dodatkowe funkcje w pojazdach wyposażonych w reflektory pikselowe – pojazd może wyświetlić wzór parkowania na podłożu i ostrzec o ruchu w pobliżu⁴⁰⁴.



Źródło: Huawei

Ciekawym przykładem łączenia technologii parkingowych, robotyzacji, autonomizacji, elektryfikacji i wykorzystania AI jest pilotażowy projekt realizowany od maja 2025 r. przez Hyundai Motor Group we współpracy z Incheon International Airport Corporation. W porcie lotniczym w Inczon

402 A. Duvall, S. Young, J. Fish, A. Henao, J. Sperling, B. Powell, S. Lott, Roadmap to Automated Mobility Systems: Informing the Planning of a Sustainable, Resilient Transportation for Dallas/Fort Worth International Airport, NREL, grudzień 2022, s. 8.

403 C. Hope, Parking Valet Robots Could Roll Out Worldwide in \$24M Deal, iotworldtoday.com, 15 października 2024 r.

404 E. Matsui, Huawei launches world's first autonomous airport parking feature for EVs, huaweicentral.com, 15 stycznia 2025 r.

działają autonomiczne roboty do ładowania pojazdów elektrycznych wykorzystujące sztuczną inteligencję (ACR). ACR, opracowane przez Robotics LAB Hyundai, samodzielnie identyfikują port ładowania w pojeździe i przeprowadzają cały proces bez udziału człowieka. Ich obecność na terenie portu lotniczego ma nie tylko wspierać rosnącą infrastrukturę elektromobilności, ale także przyczynić się do cyfrowej transformacji portu w ramach strategii Incheon Airport 4.0. W ramach współpracy Hyundai zapewnia sprzęt, oprogramowanie oraz wsparcie w zakresie budowy i optymalizacji systemu, a także planuje wdrożenie inteligentnych rozwiązań parkingowych. Port lotniczy w Inczon udostępnia przestrzeń do testów, wspiera proces weryfikacji użyteczności i gromadzi dane zwrotne od użytkowników. Partnerzy wspólnie badają różne scenariusze operacyjne, dostosowane do specyfiki lotniskowej. Projekt ma na celu stworzenie skalowalnego modelu usług ładowania pojazdów elektrycznych, który w przyszłości może być wdrażany również w portach morskich, kolejowych i innych węzłach transportowych⁴⁰⁵.

Innowacje w zakresie car rental

Również usługi wynajmu samochodów w portach lotniczych przechodzić będą intensywną transformację technologiczną. Wdrażane już teraz rozwiązania skupiają się na automatyzacji, uproszczeniu procesu obsługi, poprawie dostępności floty oraz integracji z cyfrowym środowiskiem podróży. Jednocześnie rośnie znaczenie floty elektrycznej oraz usług dostosowanych do indywidualnych potrzeb pasażerów⁴⁰⁶.

Coraz częściej wykorzystywany jest tutaj w pełni cyfrowy proces rezerwacji i odbioru pojazdu (Digital Pick-Up), wynajem bezkluczykowy przez aplikację mobilną (Keyless Rental). Wiele firm funkcjonujących w przestrzeni lotniskowej oferuje możliwość pełnej rezerwacji, weryfikacji tożsamości oraz podpisania umowy najmu przez aplikację mobilną, bez konieczności kontaktu z personelem. Przykładowo, w usługach oferowanych przez firmy takie jak Hertz, Avis czy Sixt możliwe jest zdalne „otwarcie” pojazdu za pomocą telefonu – nawet bez potrzeby odwiedzania stanowiska obsługi na terminalu. Jednocześnie nowoczesne aplikacje wykorzystują AI oraz dane lokalizacyjne do przewidywania preferencji użytkownika (np. sugerując konkretne modele samochodów) oraz optymalizowania miejsc odbioru i zwrotu pojazdów na terenie portu lotniczego lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Np. port lotniczy w Monachium wdrożył innowacyjną technologię skanowania wynajmowanych pojazdów z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, która automatycznie dokumentuje stan samochodów wynajmowanych na terenie portu lotniczego (system oparty na kamerach i algorytmach AI działa w specjalnym tunelu skanującym, przez który klienci przejeżdżają przy odbiorze i zwrocie samochodu)⁴⁰⁷. Na terenie wielu portów lotniczych wdrażane są samoobsługowe terminale do obsługi klienta (Self-Service Kiosks), umożliwiające skanowanie dokumentów, wybór pojazdu, podpisanie umowy i wydrukowanie potwierdzenia rezerwacji. Dzięki temu czas obsługi ulega skróceniu, a kolejki w punktach wynajmu zostają znacznie ograniczone.

Rezerwacja samochodu może być obecnie dokonywana bezpośrednio z poziomu aplikacji przewoźników lotniczych, portali turystycznych oraz stron internetowych portów lotniczych. Niektóre systemy automatycznie dopasowują czas odbioru i zwrotu auta do aktualnych danych o przylocie

405 Hyundai Motor Group and Incheon International Airport to Deliver Next-Level Convenience wit AI-Powered EV Charging Robots, huindaimotorgroup.com, 22 maja 2025 r.

406 Driving innovation: Transforming the airport car rental industry with aviation data, OAG, 23 kwietnia 2024 r.

407 AI improves Munich Airport's car rental experience, internationalairportreview.com, 24 marca 2023 r.

i odlocie pasażera. Przykładem może być współpraca Emirates z firmą Hertz, gdzie pasażerowie klasy biznes otrzymują zintegrowaną ofertę wynajmu premium.

W odpowiedzi na rosnącą świadomość ekologiczną, wiele firm wynajmujących auta wprowadza do swojej floty samochody elektryczne i hybrydowe, jednocześnie zapewniając dostęp do infrastruktury ładowania przy portach lotniczych. Schiphol w Amsterdamie oraz port lotniczy w Oslo dysponują dedykowanymi strefami EV rental wraz z ładowarkami szybkiego ładowania⁴⁰⁸. Zapewnienie odpowiedniej infrastruktury ładowania już teraz jest wyzwaniem – ładowanie 500 samochodów elektrycznych dziennie pochłania podobną ilość energii jak średniej wielkości port lotniczy. Tymczasem flota samochodów na wynajem w Dallas Fort Worth to 22 tys. pojazdów, a port lotniczy w Los Angeles codziennie notuje 4–7 tys. transakcji wynajęcia pojazdu. Elektryfikacja floty takich aut napotyka zatem na pewne bariery techniczne⁴⁰⁹.

Autonomizacja przewozów taksówkowych

Wraz z rozwojem technologii cyfrowych oraz rosnącą konkurencją ze strony usług ride-hailingowych (np. Uber, Bolt, Free Now), również systemy zarządzania i organizacji przewozów taksówkowych w obrębie portów lotniczych ulegają istotnym przemianom. Wdrażane są rozwiązania zwiększające efektywność operacyjną, komfort pasażerów i zgodność z polityką zrównoważonego rozwoju.

Wielu operatorów portów lotniczych stosuje zautomatyzowane systemy kolejkowe dla taksówek, oparte na technologii GPS, RFID i geofencing. Systemy te umożliwiają sprawiedliwą i przejrzystą organizację kolejki oczekujących pojazdów, ograniczają nielegalne kursy i skracają czas oczekiwania pasażerów. Porty lotnicze wykorzystują też kamery, czujniki i systemy ANPR do monitorowania i regulowania przepływu ruchu taxi w strefach dowozu. Taksówki są automatycznie klasyfikowane i kierowane do odpowiednich stanowisk, co minimalizuje korki i poprawia bezpieczeństwo pieszych. Przykładem takiego zaawansowanego systemu zarządzania ruchem taksówek jest Taxi Rank Management wdrożony przez port lotniczy Heathrow, oparty na technologii rozpoznawania tablic rejestracyjnych firmy Sensor Dynamics. W pierwszym kroku system rejestruje dane dotyczące pojazdu taksówki – rozpoznaje i zapisuje numer rejestracyjny, markę, model oraz kolor pojazdu. Następnie przypisuje każdemu pojazdowi jego pozycję w kolejce (tzw. Taxi Queue Ranking). Ranking ten jest dynamicznie zarządzany na podstawie liczby wykonanych lotniskowych kursów przez daną taksówkę – im ich więcej, tym bardziej zmienia się jej kolejność w systemie. Dzięki temu system umożliwia sprawiedliwe i transparentne zarządzanie ruchem pojazdów, zwiększając efektywność obsługi pasażerów oraz ograniczając niepotrzebne przestoje⁴¹⁰.

Wiele portów lotniczych wprowadza preferencje dla taksówek niskoemisyjnych. Obejmują one np. skrócone czasy oczekiwania w kolejce, dedykowane pasy ruchu, miejsca ładowania EV w strefach pick-up/drop-off oraz niższe opłaty licencyjne. Port lotniczy Schiphol w Amsterdamie wprowadził elektryczne taksówki już w 2014 r., a obecnie wszystkie takie pojazdy go obsługujące muszą mieć

napęd elektryczny – to jeden z elementów lotniskowej polityki dekarbonizacyjnej⁴¹¹. Natomiast port lotniczy w Eindhoven 1 stycznia 2025 r. wprowadził wymóg zeroemisyjności dla minimum 60% taksówek je obsługujących, a w 2028 r. ma on objąć 100% floty taxi⁴¹².

Choć ride-hailing stanowi konkurencję dla tradycyjnych taksówek, coraz więcej portów lotniczych decyduje się na oficjalną integrację z operatorami takimi jak Uber czy Bolt, wyznaczając osobne dedykowane strefy odbioru i systemy kolejkowe. Umożliwia to lepszą organizację ruchu oraz kontrolę jakości usług. Pomimo rosnącej popularności rozwiązań z zakresu tzw. ekonomii współdzielenia, przyszłość zapewne należeć będzie jednak do autonomicznych pojazdów taxi – pierwsze wdrożenie w tym zakresie zrealizowano już w USA (port lotniczy w Phoenix).

Phoenix Sky Harbor International: Robotaxis

W grudniu 2023 r. port lotniczy w amerykańskim Phoenix we współpracy z firmą Waymo, uruchomił pierwszą na świecie usługę przewozu taxi bezpośrednio do portu lotniczego realizowaną autonomicznymi pojazdami (tzw. Robotaxis). Wcześniej, od 2022 r. obejmowała ona przejazdy jedynie do stacji kolejki Sky Train. Obecnie zapewnia ona dojazd do i z terminali 3 i 4. Początkowo usługa była dostępna jedynie od godz. 22:00 do 6:00 (ze względu na mniejszy ruch w godzinach nocnych i wczesnoporannych), teraz możliwe jest korzystanie z niej przez całą dobę⁴¹³. W 2024 r. autonomiczne taksówki obsługujące port lotniczy w Phoenix wykonywały średnio ok. 200 kursów dziennie. W 2023 r. co miesiąc realizowały ich ok. 1 tys., a w marcu 2024 r. liczba ta wzrosła do 7,5 tys.⁴¹⁴



Źródło: Waymo

W połowie marca 2025 r. Waymo uzyskało zgodę na rozpoczęcie mapowania terenu wokół portu lotniczego w San Francisco, z myślą o wprowadzeniu taksówek autonomicznych dla obsługi tego portu lotniczego w najbliższej przyszłości⁴¹⁵.

⁴¹¹ More and more electric taxis, schiphol.nl.

⁴¹² Taxi drivers angry about electric car requirement: 'deadline is too tight', pitane.blue, 21 października 2024 r.

⁴¹³ J. Andrews, Phoenix airport becomes first to offer 24-hour AV transport, cities-today.com, 31 sierpnia 2024 r.

⁴¹⁴ How autonomous vehicles can herald a new era for airports, cities-today.com, 18 lipca 2024 r.

⁴¹⁵ Waymo Robotaxis Gain Access to San Francisco International Airport, airportindustry-news.com, 19 marca 2025 r.

⁴⁰⁸ Schiphol Pioneers in Electric Vehicle Car Rentals at Their New Facility, flightchic.com, 15 września 2023 r.

⁴⁰⁹ R. Silk, Airports build for electric vehicles, even as car rental companies pump the brakes, travelweekly.com, 19 lutego 2024 r.

⁴¹⁰ Heathrow Airport Partners With Sensor Dynamics To Install A New Taxi Management System, sensordynamics.com, 8 listopada 2024 r.

Shuttle busy

W zakresie busów wahadłowych, tzw. shuttle busów, obsługujących trasy pomiędzy terminalami lotniskowymi, parkingami a terminalami, portem lotniczym a pobliską stacją kolejową lub hotelem/samolotem a terminalem, wdrażane są innowacyjne rozwiązania technologiczne mające na celu zwiększenie efektywności, komfortu i zrównoważonego charakteru tego typu transportu. Nowoczesne shuttle busy są zintegrowane z cyfrowymi systemami informacyjnymi, które za pomocą tablic LED lub aplikacji mobilnych informują pasażerów o czasie przyjazdu, trasie oraz poziomie zatłoczenia pojazdu. Wiele portów lotniczych wymienia konwencjonalne shuttle busy na pojazdy elektryczne lub zasilane wodorem. Przykładowo amsterdamski Schiphol ma ponad 100 e-busów⁴¹⁶, a południowokoreański Seul-Inczon planuje wymienić wszystkie obsługujące go autobusy na pojazdy wodorowe do 2030 r.⁴¹⁷ Natomiast port lotniczy w Tuluzie wprowadza busy zasilane H₂, łącznie z infrastrukturą tankowania tego gazu⁴¹⁸.

Kansas City International Airport: indukcyjnie ładowane elektrobusy

W 2021 r., w ramach projektu budowy nowego terminalu, wartego ok. 1,5 mld dolarów, międzynarodowy port lotniczy w Kansas City wdrożyło system bezprzewodowego ładowania autobusów elektrycznych obsługujących parkingi. Rozwiązanie to eliminuje konieczność instalowania naziemnej infrastruktury ładowania oraz skraca przestoje techniczne. System działa poprzez dwie stacje ładujące o mocy 300 kW, zlokalizowane przy przystankach autobusowych nowego terminala, tuż przy odbiorze bagażu. Autobusy, oczekując na pasażerów, zatrzymują się nad zatopionymi w podłożu padami ładującymi, co umożliwia ich automatyczne ładowanie podczas wsiadania i wysiadania pasażerów. Proces ładowania kończy się automatycznie w momencie odjazdu autobusu. Dwa stanowiska ładowania obsługują całą flotę 28 pojazdów, zapewniając ich ciągłą gotowość operacyjną w szczytowych momentach. Nocą pojazdy mogą być ładowane w bazie operacyjnej poza zasięgiem wzroku pasażerów. Cały system zaprojektowano z myślą o niezawodnym działaniu w każdych warunkach pogodowych⁴¹⁹.



Źródło: Kansas City International Airport

Coraz więcej portów lotniczych na całym świecie testuje autonomiczne autobusy, które samodzielnie poruszają się po wyznaczonych trasach. Pojazdy te są wyposażone w szereg zaawansowanych technologii, umożliwiających im bezpieczną i efektywną nawigację bez udziału kierowcy. Kluczową rolę odgrywa tutaj system LiDAR (Light Detection and Ranging), który za pomocą wiązek laserowych tworzy precyzyjną, trójwymiarową mapę otoczenia w czasie rzeczywistym, pozwalając pojazdowi na wykrywanie i omijanie przeszkód – nawet w trudnych warunkach atmosferycznych, takich jak mgła czy deszcz⁴²⁰. Autonomiczne autobusy korzystają z radarów dalekiego zasięgu, które umożliwiają śledzenie poruszających się obiektów i ocenę ich prędkości oraz kierunku ruchu⁴²¹. Integralnym elementem systemów percepcji są także kamery, które rejestrują obraz otoczenia i wspierają rozpoznawanie sygnalizacji świetlnej, znaków drogowych oraz pieszych. Ich działanie uzupełnia dane z LiDAR-u i radarów, co pozwala pojazdowi podejmować bardziej trafne decyzje w złożonym środowisku portu lotniczego. Sercem całego systemu jest sztuczna inteligencja, która analizuje dane z czujników w czasie rzeczywistym. Moduły AI odpowiadają za podejmowanie decyzji dotyczących kierunku jazdy, hamowania czy zatrzymywania się na przystankach. Wraz z rozwojem algorytmów uczenia maszynowego, pojazdy te mogą stale się „uczyć” i dostosowywać do zmieniających się warunków, co znacząco zwiększa ich niezawodność i bezpieczeństwo. Dodatkowo, niektóre modele autobusów wykorzystują czujniki ultradźwiękowe, wspomagające manewry na ograniczonej przestrzeni, np. podczas dokowania przy terminalach czy manewrowania na wąskich drogach serwisowych.

Pilotażowo autonomiczne busy lotniskowe były lub są eksploatowane w portach lotniczych m.in.: im. Johna F. Kennedy’ego w Nowym Jorku (pilotaże rozpoczęte w październiku 2022 r.⁴²² i w lipcu 2024 r.⁴²³), Hongkongu (autobusy autonomiczne użytkowane przez pracowników portu lotniczego w niedostępnych dla pasażerów przestrzeniach użytkowane od 2023 r.⁴²⁴), Changi w Singapurze (testy pojazdu dla pracowników od 2024 r.⁴²⁵), Bruksela (również autobusy dla pracowników, testy od 2024 r.⁴²⁶), Honolulu (18-miesięczny pilotaż rozpoczęty w kwietniu 2024 r.⁴²⁷), czy Schiphol w Amsterdamie (testy pojazdów dla pracowników firm handlingowych i personelu sprzątającego, prowadzone od marca 2024 r.⁴²⁸). Do końca 2025 r. władze portu lotniczego w Hongkongu planują uruchomienie floty 26 autonomicznych autobusów. Natomiast w styczniu tego roku w porcie lotniczym w Zurychu uruchomiono pilotaż systemu Robobus – pierwszego w Europie komercyjnego autonomicznego autobusu lotniskowego zbudowanego na potrzeby dróg publicznych. Przewozi on pracowników portu lotniczego na trasie pomiędzy wejściem dla personelu a częścią serwisową (pomiędzy bramkami 101 a 130)⁴²⁹.

420 J. Mann, Sensor technology solutions for airport challenges, airport-technology.com, 4 sierpnia 2022 r.

421 N.P. Bhatt, R. Zhang, M. Ning i in., WATonoBus: Field-Tested All-Weather Autonomous Shuttle Technology, University of Waterloo, 14 sierpnia 2024 r.

422 T. May, PANYNJ and Navya Deploy 2 Autonomous Shuttles at JFK, airportindustry-news.com, 19 października 2022 r.

423 G. Hope, Self-Driving Shuttles Coming to New York’s JFK Airport, iotworldtoday.com, 10 lipca 2024 r.

424 Driverless staff bus starts running at airport, news.rth.hk, 12 maja 2023 r.

425 K. Yufeng, Self-driving bus for airport workers to be trailed at Changi Airport, 18 lipca 2024 r.

426 G. Hope, Autonomous Shuttle Pilot Program Launches at Brussels Airport, iotworldtoday.com, 3 grudnia 2024 r.

427 S. Yamanaka, New electric shuttle fleet named ‘Miki’ launches at Honolulu airport, spectrumlocalnews.com, 17 kwietnia 2024 r.

428 A. Orban, Amsterdam Airport Schiphol conducts trial with self-driving buses on airside, aviation24.be, 28 marca 2024 r.

429 P.R. Mishra, China’s Robobus begins Europe’s first driverless shuttle service at Zurich airport, interestingengineering.com, 12 stycznia 2025 r.

416 111 e-buses launched in Amsterdam – Schiphol: 85 per cent of the concession is now zero emission, sustainable-bus.com, 6 kwietnia 2022 r.

417 S. Ji-Hyoung, Hydrogen to power all Incheon Airport buses by 2030, koreaherald.com, 7 czerwca 2023 r.

418 L. Meillaud, Hyport hydrogen station inaugurated at Toulouse-Blagnac Airport, hydrogentoday.com, 4 grudnia 2023 r.

419 First airport with wireless e-bus charging in the world. US: Kansas Airport turns to Momentum Dynamics, sustainable-bus.com, 3 stycznia 2022 r.

Port lotniczy w Hongkongu: flota autobusów autonomicznych pod koniec 2025 r.

W styczniu 2025 r. władze portu lotniczego w Hongkongu ogłosiły ambitny projekt uruchomienia największej na świecie floty autonomicznych autobusów lotniskowych, który ma zostać zrealizowany do końca 2025 r. Nowy system transportowy będzie łączył kompleks rozrywkowy 11 Skies w Sky-city przy Terminalu 2 z punktem granicznym mostu Hongkong-Zhuhai-Makau. Sama trasa jest stosunkowo krótka – liczy zaledwie 850 m, a jej przebieg zajmuje około 3 minut. W fazie początkowej flota będzie składała się z 26 autonomicznych pojazdów, które mają przewozić ok. 500 osób na godzinę w jednym kierunku. Plany zakładają stopniowe zwiększenie tej liczby do 1 tys. osób w jedną stronę i 2 tys. w obu kierunkach. Pojazdy będą poruszać się po specjalnie zaprojektowanej trasie Airportcity Link, będącej częścią większego projektu infrastrukturalnego o wartości niemal 13 mld dolarów. Trasa będzie składać się z mostu z pasem dla pojazdów oraz chodnikiem dla pieszych. Każdy z autobusów pomieści 16 pasażerów i osiągnie prędkość maksymalną do 38 km/h. Autonomia pojazdów będzie możliwa dzięki zastosowaniu zaawansowanych technologii, takich jak cztery systemy GPS, zewnętrzne kamery monitorujące oraz zdalne systemy nadzoru. Władze portu lotniczego zapowiadają dalszy rozwój projektu – do 2028 r. trasa ma zostać przedłużona do dzielnicy Tung Chung, a liczba autobusów wzrosnąć do 100. Dzięki temu przewidywana przepustowość systemu osiągnie nawet 8 tys. pasażerów na godzinę w jednym kierunku. Usługa ma wspierać płynne przemieszczanie się podróżnych pomiędzy portem lotniczym, strefą rozrywki oraz granicą z Makau i Zhuhai⁴³⁰.



Źródło: Hong Kong International Airport

Automated People Movers (APM)

Porty lotnicze od dawna wykorzystują systemy transportowe znane jako People Movers, a w zautomatyzowanej wersji – jako Automated People Movers (APM). To zazwyczaj niewielkich rozmiarów systemy transportowe (poza portami lotniczymi spotykane także np. w kampusach, centrach miast czy parkach rozrywki), w których pojazdy poruszają się po wydzielonej infrastrukturze (tory stalowe, betonowe lub na prowadnicach z oponami gumowymi). W zależności od zastosowanych technologii, mogą przyjmować formę monoraili, kolejek szynowych (Automated Light Rail Transit, ALRT) i kablowych, maglewów lub wagonów/kapsuł poruszających się po prowadnicach. Zwykle trasy APM przebiegają przez estakady lub tunele⁴³¹.

Pierwszy lotniskowy zautomatyzowany People Mover został uruchomiony w 1971 r. w porcie lotniczym Tampa International Airport (USA). W 1973 r. rozpoczęto eksploatację drugiego takiego systemu w porcie lotniczym Seattle-Tacoma. Następnie przez dwie dekady lotniskowe APM-y funk-

cjonowały wyłącznie w Stanach Zjednoczonych. Dopiero w latach 90. XX w. zostały wprowadzone w Azji i Europie – w 1990 r. w porcie lotniczym Changi w Singapurze, a rok później na London Stansted.

Rozwój technologiczny pozwolił na zastosowanie APM zarówno po stronie airside, jak i landside portów lotniczych. Systemy airside APM funkcjonują za punktami kontroli bezpieczeństwa. Służą głównie do przemieszczania pasażerów pomiędzy terminalami a gate'ami lub między gate'ami w różnych częściach portów lotniczych. Można wyróżnić dwa główne typy: systemy terminal-to-gate (łącznie terminale z gate'ami, obsługujące pasażerów odlatujących i przylatujących) oraz gate-to-gate (umożliwiające szybki transfer między gate'ami). Airside APM znacznie skracają czas przesiadek, umożliwiając budowę odległych hal odpraw oraz wspierają tworzenie dużych węzłów przesiadkowych (hubów), obsługujących powyżej 60 gate'ów i ponad 20 mln pasażerów rocznie. Systemy te są również dostosowane do obsługi pasażerów podróżujących bez dużego bagażu, często tylko z bagażem podręcznym.

Z kolei landside APM funkcjonują po stronie niezabezpieczonej (przed kontrolą bezpieczeństwa). Ich główną rolą jest transport pasażerów pomiędzy terminalami, parkingami, wypożyczalnią samochodów oraz regionalnymi systemami transportu publicznego. W przeciwieństwie do systemów airside, pojazdy landside APM muszą być przystosowane do przewozu większych bagaży, w tym wózków bagażowych. Systemy te odgrywają istotną rolę w ograniczaniu ruchu drogowego na terenie portu lotniczego oraz zmniejszaniu emisji zanieczyszczeń. Funkcjonują zazwyczaj na dłuższych trasach (3–5 km) i obsługują 1–4,5 tys. pasażerów na godzinę w godzinach szczytu⁴³².

Wiodącymi producentami APM są Alstom (dawniej Bombardier), Hitachi, Mitsubishi Heavy Industries, Hyundai Rotem, Siemens Mobility, BYD, Kawasaki czy Doppelmayr. Wartość światowego rynku lotniskowych APM w 2023 r. estymowany był przez jedną z firm doradczych na ok. 680,76 mln dolarów. Według prognoz, w 2030 r. ma ona wzrosnąć do ponad 1,05 mld dolarów⁴³³.

APM działają obecnie w różnych formach w ok. 60 portach lotniczych na całym świecie⁴³⁴. Są one dostosowane do specyficznych warunków infrastrukturalnych i potrzeb operacyjnych. Obsługują m.in.: Hartsfield-Jackson w Atlancie (system Plane Train, łączący wszystkie terminale i hale odlotów, funkcjonujący przez całą dobę, przystosowany do obsługi bardzo dużej liczby pasażerów), Dallas/Fort Worth (system Skylink – w pełni zautomatyzowany, kursujący na estakadach, umożliwiający szybkie i częste połączenia między wszystkimi terminalami), Denver (system podziemnej, zautomatyzowanej kolejki, łączący główny terminal z poszczególnymi halami), czy Hongkong (APM łączący terminale i główne obiekty lotniskowe). Nowe wdrożenia dotyczą m.in. portu lotniczego w Los Angeles⁴³⁵, a wprowadzenie takiego systemu do końca 2027 r. planuje np. port lotniczy w New Delhi⁴³⁶. Najnowocześniejszy na świecie APM ma powstać w rozbudowanym Al Maktoum w Dubaju⁴³⁷.

⁴³² Guidebook for Planning and Implementing Automated People Mover Systems at Airports, Waszyngton 2010, s. 13–17.

⁴³³ S. Chakravarty, How International Airports Are Adopting Automated People Movers?, marketresearchreports.com, 19 czerwca 2024 r.

⁴³⁴ What are Automated People Movers and where can you find them?, airmundo.com.

⁴³⁵ T. May, LAX APM Train to Commence Service in January 2026, airportindustry-news.com, 5 sierpnia 2024 r.

⁴³⁶ Delhi airport to launch India's first air train by 2027, indiatoday.in, 25 września 2024 r.

⁴³⁷ Automated People Mover, daep.gov.ae.

⁴³⁰ G. Hope, New Driverless Bus Program Planned for Hong Kong Airport, iotworldtoday.com, 2 stycznia 2025 r.

⁴³¹ Automated People Mover (APM) | Passenger Transport System (PTS), zatran.com.

Rozwój technologii w zakresie APM będzie zakładał doskonalenie AI i systemów sterowania oraz cyberbezpieczeństwa, zwiększanie niezawodności pojazdów (wyższy poziom wskaźnika dostępności technicznej – np. jego wartość podawana przez Alstom dla pojazdów z platformy Innovia to co najmniej 99,8%), poprawę efektywności energetycznej (ograniczanie zużycia energii o ok. 30%)⁴³⁸, podwyższanie standardów bezpieczeństwa i utrzymania (automatyzacja, wykorzystanie na szeroką skalę metod predykatywnych), design i funkcjonalności zapewniające wyższy poziom Passenger Experience (modułowe i konfigurowalne wnętrza) oraz ograniczanie śladu węglowego (w całym cyklu życiowym pojazdów i infrastruktury – czyli także w procesie produkcji i utylizacji; m.in. zastosowanie lekkich pudeł wagonów wykonanych z aluminium nadającego się do recyklingu). W przypadku systemów szynowych rozwijana jest też technologia sterowania pociągów CBTC (Communications-Based Train Control), opierająca się na komunikacji radiowej oraz systemach komputerowych, zamiast na sygnalizacji świetlnej czy mechanicznych systemach blokady torów⁴³⁹.

APM przyszłości w porcie lotniczym Al Maktoum w Dubaju

Rozbudowa portu lotniczego Al Maktoum International Airport (AMIA) w Dubaju to projekt, który ma uczynić je największym portem lotniczym na świecie (260 mln pasażerów rocznie). Opiera się on na szeregu zaawansowanych technologii, w tym innowacyjnym APM, który ma powstać w latach 2025–2030. Będzie on w pełni zautomatyzowany i obejmie 14 stacji. Zapewni transport pomiędzy pięcioma terminalami i innymi strategicznymi punktami infrastruktury lotniskowej. Będzie integralną częścią inteligentnej infrastruktury portu lotniczego, opartej na technologii cyfrowej, sztucznej inteligencji i komunikacji w czasie rzeczywistym. Autonomiczne pojazdy poruszające się po dedykowanych torach, a sterowane będą przez centralny system zarządzania ruchem (zbliżony do CBTC), zintegrowany z danymi o natężeniu ruchu pasażerów, harmonogramach lotów, a nawet warunkach atmosferycznych. Umożliwi to płynne, dynamiczne i bezpieczne poruszanie się pojazdów, a także pozwoli uniknąć przestoju czy opóźnień. Technologia ta skróci czas oczekiwania na przejazd oraz zwiększy częstotliwość kursów w godzinach szczytu. APM będzie w pełni zintegrowany z innymi inteligentnymi rozwiązaniami lotniskowymi, takimi jak śledzenie bagażu w czasie rzeczywistym, systemy rozpoznawania twarzy, monitorowanie przepływu pasażerów i zarządzanie energią. Dzięki wykorzystaniu AI, możliwe będzie przewidywanie ruchów pasażerów i dynamiczne dostosowywanie rozkładu jazdy APM w czasie rzeczywistym, co zagwarantuje maksymalną efektywność przy minimalnym zużyciu zasobów. Przestrzeń przeznaczona do dokonywania przesiadek na i z APM będą klimatyzowane, wyposażone w nowoczesne systemy informacji pasażerskiej w wielu językach, intuicyjne oznakowanie oraz łatwy dostęp do punktów usługowych i komercyjnych. Pojazdy będą niskopodłogowe, ciche i energooszczędne, z dużą ilością miejsca na bagaż oraz szybkim dostępem do internetu i ładowarek dla smartfonów. Wszystko to wpisze się w szerszą wizję portu lotniczego jako miejsca nie tylko przejściowego, ale również przyjaznego i zorientowanego na potrzeby użytkownika. APM w AMIA będzie także przyjazny środowisku. Zasilanie pojazdów ma pochodzić z OZE, w tym instalacji solarnych rozlokowanych na dachach terminali i zadaszeniach stacji. Dojdą do tego energooszczędne technologie jazdy (hamowanie regeneracyjne) oraz inteligentne zarządzanie oświetleniem i wentylacją w tunelach i stacjach⁴⁴⁰.

438 T. May, Alstom APM Trains Launched at Denver International Airport, airportindustry-news.com, 4 czerwca 2024 r.

439 Innovia automated people mover (APM) systems: Leading solutions for urban and airport transit; Innovia people mover and monorail: Efficient solutions for urban and airport transit, alstom.com.

440 N. Patel, Dubai's Vision Takes Flight: Al Maktoum International Airport Expansion Reaches New Milestone, uaestories.com, 8 kwietnia

Personal Rapid Transit (PRT)

Nowoczesną formą w pełni zautomatyzowanego systemu przewozu pasażerów, uzupełniający APM, jest Personal Rapid Transit (PRT). Wykorzystuje niewielkie elektryczne pojazdy (tzw. kapsuły transportowe lub T-Pods), przeznaczone wyłącznie dla jednej osoby lub małej grupy podróżujących razem. Wszystkie pojazdy w systemie PRT są w pełni zautomatyzowane i nie wymagają kierowcy. Poruszają się one wyłącznie po specjalnie przygotowanych trasach (tzw. guideways). Kluczową cechą tego systemu jest bezpośredni przejazd od punktu początkowego do punktu docelowego, bez konieczności przesiadek ani zatrzymywania się na stacjach pośrednich. Pojazdy PRT poruszają się na żądanie użytkownika, co oznacza, że nie funkcjonują według rozkładu jazdy – są dostępne w trybie 24/7, eliminując czas oczekiwania typowy dla tradycyjnego transportu publicznego⁴⁴¹. W odróżnieniu APM, opierającego się na relatywnie dużych pojazdach kursujących według stałego rozkładu i zatrzymujących się na wszystkich stacjach, PRT jest rozwiązaniem bardziej elastycznym i spersonalizowanym⁴⁴². Coraz częściej oba systemy są projektowane w ramach jednej zintegrowanej infrastruktury ATN (Automated Transit Network), by zapewnić pełne pokrycie mobilności w obrębie kompleksowych węzłów transportowych, jakimi są porty lotnicze.

Systemy PRT są szczególnie atrakcyjne właśnie dla największych portów lotniczych gdzie pojawia się potrzeba obsługi pasażerów w różnych częściach terminali, stref przylotów, odlotów, hoteli lotniskowych czy parkingów, bez tworzenia kosztownej i sztywnej infrastruktury APM⁴⁴³. Potencjał wykorzystano m.in. na Heathrow w Londynie, gdzie system ULTra (Urban Light Transport), wykorzystujący 21 4-osobowych pojazdów obsługuje połączenia między terminalem 5 a parkingiem długoterminowym (trasa o długości niemal 4 km). Dzięki temu pasażerowie mają możliwość szybkiego, komfortowego i całkowicie bezobsługowego przemieszczania się, bez konieczności czekania na autobus czy korzystania z pieszych przejść. System został uruchomiony na Heathrow w 2011 r., po rocznych testach. W 2013 r. planowano jego rozbudowę, a także stworzenie połączenia z najbliższymi strefami hotelowymi⁴⁴⁴. Plany te nie zostały jednak zrealizowane. Budowę PRT zapowiadano także w 2018 r. w chińskim porcie lotniczym Chengdu-Tianfu⁴⁴⁵. Zamiast tego jednak, w 2021 r. uruchomiono tam system APM⁴⁴⁶. Do 2028 r. PRT ma natomiast pojawić się w porcie lotniczym w kalifornijskim San Jose (połączenie terminalu lotniskowego ze stacją kolejową Diridon) – system ma obsługiwać ok. 2 tys. osób na godzinę, a pojazdy mają poruszać się po wydzielonej trasie⁴⁴⁷.

W 2019 r. autonomiczne pojazdy PRT testowane były w porcie lotniczym w Bristolu. W odróżnieniu od innych tego typu systemów, poruszały się one po drogach publicznych. Testy przeprowadzono ze wsparciem z rządowych programów Innovate UK i the Centre for Connected & Autonomous

2025 r.

441 Y. Ding, K. Wang, L. Zhang, X. Qu, Exploring the benefits of personal rapid transit in metropolitan area, [w:] „Communications in Transportation Research”, vol. 4, grudzień 2024.

442 P. J. Muller, Personal Rapid Transit Applications at Airports, ASCE, kwiecień 2005, s. 1–2.

443 M. Kenku, D. Földes, C. Csiszar, Concept of Advanced Personal Rapid Transit at Airports, [w:] „Periodica Polytechnica Civil Engineering”, nr 65(1):15, styczeń 2021, s. 7.

444 Heathrow announces plans for an additional Personal Rapid Transit (PRT) system, ultraglobalprt.com, 13 lutego 2013 r.

445 Connected & Autonomous Vehicles - Part 2, gebelrtooth.co.uk, 26 października 2020 r.

446 Alstom's first airport APM 300 system at New Chengdu Tianfu International Airport enters service, alstom.com, 28 czerwca 2021 r.

447 G. Hope, Self-Driving Pods to Shuttle Airport Passengers in San Jose, iotworldtoday.com, 28 kwietnia 2023 r.

Vehicles (CCAV)⁴⁴⁸. W sierpniu 2024 r. testy niewielkich autonomicznych pojazdów Auto-Pod do-
wożących pasażerów z nowej stacji kolejowej do terminalu lotniskowego rozpoczęły się w porcie
lotniczym w szkockim Inverness⁴⁴⁹.

We wrześniu 2024 r. rozpoczęcie pilotażowego wdrożenia PRT zapowiedziały władze portu lot-
niczego w Atlancie. Chodzi o zapewnienie dojazdu dla ok. 150 tys. pracowników zatrudnionych
w promieniu 10 km od niego. Pilotaż, wart 20 mln dolarów, zakłada uruchomienie samojezdnych
kapsuł przewożących po cztery osoby na dedykowanych pasach ruchu na terenie kompleksu
Georgia International Convention Center w College Park. Pojazdy będą działać na żądanie, mo-
gąc rozwijać prędkość do 48 km/h. Inicjatywa ma stanowić alternatywę dla autobusów i pociągów
poza godzinami ich kursowania. Jeśli projekt zakończy się sukcesem, system może zostać rozb-
dowany o dodatkowe przystanki na terenie całego portu lotniczego, m.in. przy parkingach Delta
i stacji MARTA w College Park, a docelowo przekształcony w regionalne połączenie o długości
20–30 km. System ma mieć potencjał obsłużenia 10 tys. pasażerów na godzinę. Start 2-letniego
pilotażu zaplanowano na koniec 2026 r.⁴⁵⁰

Automated Mobility Platforms (AMP)

Systemami lotniskowej mobilności o skali indywidualnej są pojazdy określane jako Automated
Mobility Platforms (AMP). To niewielkie, bardzo często przeznaczone dla komunikacji indywidual-
nej, autonomiczne pojazdy o napędzie elektrycznym, poruszające się w przestrzeniach wewnątrz-
nych portów lotniczych, łączących np. poszczególne terminale. Bardzo często są one wykorzy-
stywane przez osoby o ograniczonej mobilności (osoby z niepełnosprawnościami, seniorów itd.).
AMP to najczęściej samojezdne wózki inwalidzkie lub pojazdy określane jako np. micromobility
robot pods. Potrzeba wdrażania takich systemów w największych portach lotniczych będzie się
zwiększać, ze względu na zmiany demograficzne – starzenie się społeczeństw oraz coraz większy
odsetek osób z chorobami cywilizacyjnymi. Do 2038 r. nawet 1/3 wszystkich pasażerów będzie po-
trzebować pomocy w poruszaniu się po przestrzeniach lotniskowych⁴⁵¹.

Systemy autonomicznych elektrycznych wózków inwalidzkich zostały wdrożone w portach lotni-
czych m.in. w Winnipeg, Tokyo Haneda oraz Narita International Airport, Los Angeles, Miami czy
Seattle-Tacoma. Wspierają one mobilność osób z ograniczeniami ruchowymi, umożliwiające im
samodzielne dotarcie do gate'ów i innych punktów terminala. Wózki korzystają z technologii ma-
powania, czujników unikania przeszkód i lokalizacji w czasie rzeczywistym, aby bezpiecznie po-
ruszać się wśród innych pasażerów. Oferują one zaawansowaną nawigację – przed rozpoczęciem
kursu są programowane do konkretnej bramki, po czym samodzielnie prowadzą pasażera przez
terminal. Dzięki czujnikom rozpoznają przeszkody i potrafią zatrzymać się w razie potrzeby, a nawet
uprzejmie „poprosić” przechodnia o ustąpienie drogi. Użytkownicy mają możliwość wstrzymania
przejazdu, np. na przerwę toaletową lub zakup posiłku, po czym wózek kontynuuje trasę lub auto-
matycznie wraca do punktu początkowego. W przypadku zmiany gate'u, niektóre modele mogą

być przeprogramowane w trakcie jazdy, dostosowując trasę do aktualnych potrzeb pasażera. Sys-
temy te zwiększają dostępność usług lotniskowych bez konieczności stałej pomocy personelu⁴⁵².

Port lotniczy Narita: autonomiczne elektryczne wózki inwalidzkie

W porcie lotniczym Narita w Tokio
umożliwiono pasażerom mającym pro-
blemy z poruszaniem się korzystanie
z innowacyjnej usługi mobilnościowej
– autonomicznych wózków elektrycz-
nych współpracujących z windami
łączącymi różne piętra terminalu. Za-
pewnia to całkowicie zautomatyzowa-
ną podróż od punktu początkowego
do bramki odprawy. Projekt rozpoczął
się od pilotażu⁴⁵³, który miał miejsce
w lipcu 2022 r. Komercyjną wersję usługi uruchomiono w kwietniu 2023 r. Jest ona dostępna
w terminalach 1 i 2. Pasażerowie wybierają swoje miejsce docelowe na panelu dotykowym, a po-
jazdy autonomiczne przewożą ich do samych bramek. System oferuje obsługę w języku m.in.
angielskim, japońskim, chińskim, koreańskim. Usługa skierowana jest do osób, które potrzebują
pomocy w poruszaniu się po obszarze terminali, w tym osób wymagających pomocy wózków in-
walidzkich lub obawiających się długich spacerów po terminalu⁴⁵⁴.



Źródło: WHILL

Podobny system testowany jest od 2024 r. w porcie lotniczym Schiphol w Amsterdamie. Pojazdy
dostarczone przez firmę WHILL umożliwiają podróżnym – bez konieczności rezerwacji czy asysty
– dotarcie do bramki odlotów w strefie poza Schengen. Wystarczy wsiąść, zapiąć pas i wybrać
numer bramki – wózek samodzielnie nawiguje do celu, omijając przeszkody i innych pasażerów.
Po dotarciu na miejsce wraca automatycznie na stację początkową. Testy obejmują również wy-
korzystanie wind i planowane są dalsze udoskonalenia, jak możliwość zatrzymywania się po dro-
dze. Celem projektu jest ocena wpływu tej technologii na procesy operacyjne oraz doświadczenie
pasażerów, a także przygotowanie gruntu pod ewentualne wprowadzenie usługi na stałe⁴⁵⁵.

Jednoosobowe micromobility robot pods były natomiast testowane m.in. przez porty lotnicze
w Atlancie (w 2022 r.)⁴⁵⁶ oraz Vancouver (w 2024 r.). Aby poruszać się po terenie portu lotniczego,
wykorzystują one połączenie zintegrowanego oprogramowania do mapowania w czasie rzeczy-
wistym oraz kamer, sonaru i technologii LiDAR⁴⁵⁷.

452 R. Silk, Moving the needle in airport mobility technology, travelweekly.com, 16 listopada 2024 r.

453 World's First Autonomous Mobility Service Linked to Elevator System Allows Transportation between Multiple Floors at Narita Interna-
tional Airport, whill.inc, 21 lipca 2024 r.

454 WHILL Autonomous Service Commercially Available at Narita International Airport, whill.inc, 3 kwietnia 2023 r.

455 Self-driving wheelchairs bring travellers to their gate at Schiphol, news.schiphol.com, 9 września 2024 r.

456 T. May, A&K Robotics Trials Autonomous Pods at ATL, airportindustry-news.com, 26 sierpnia 2022 r.

457 G. Hope, Self-Driving Robot Pods to Improve Mobility, Accessibility for People with Disabilities, iotworldtoday.com, 18 sierpnia 2024 r.

448 D. Symonds, Autonomous shuttle pods trialled at Bristol Airport, autonomousvehiclesinternational.com, 10 lipca 2019 r.

449 Aurigo introduces autonomous vehicles to Inverness Airport and beyond, in the Scottish Highlands and Islands, aurigo.com, 20 sierp-
nia 2024 r.

450 T. Fingert, Self-driving pods pilot program to arrive at Atlanta's airport, fox5atlanta.com, 18 września 2024 r.

451 S. Sugie, Inclusive Mobility in Airports: Self-Driving Mobility Chairs Change the Way Passengers Move through Airport Terminals, avia-
tionpros.com, 10 czerwca 2023 r.

Opracowano także koncepcje systemów AMP wykorzystujących lekkie autonomiczne pojazdy mogące zabierać od 1 do 4 osób, zaprojektowane do transportu na żądanie w przestrzeniach wewnętrznych terminali lotniskowych, zastępujące np. ruchome chodniki. Pojazdy mają być wstępnie pozycjonowane pod nadzorem systemu zarządzającego, a użytkownicy mogą je zamawiać za pomocą aplikacji lub przycisków na panelach sterowniczych, samodzielnie wybierając miejsca docelowe przejazdu. Przykładem takiego koncepcyjnego systemu jest ten stworzony w 2022 r. przez amerykańskie federalne centrum badawcze NREL (National Renewable Energy Laboratory)⁴⁵⁸.

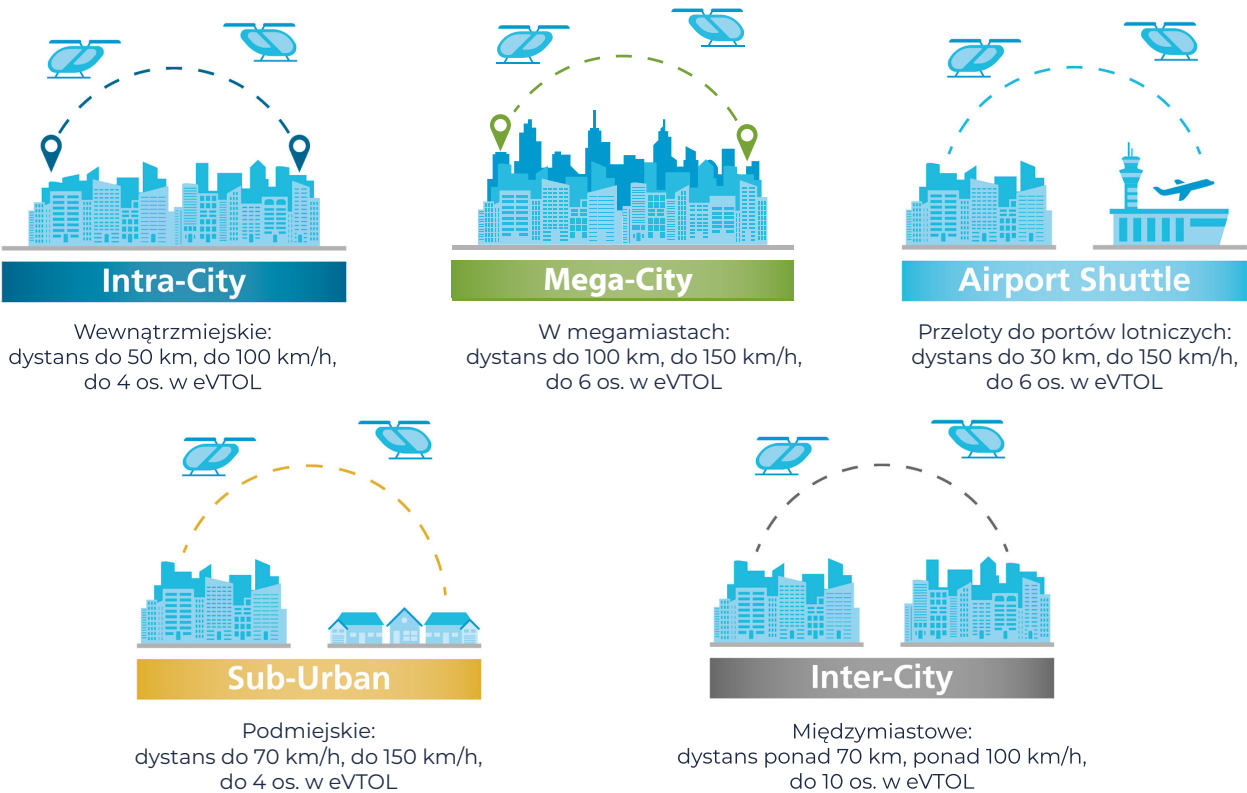
Advanced Air Mobility (AAM)

Koncepcją mobilnościową, która może w najbliższych latach zmienić rzeczywistość wielu portów lotniczych, jest Advanced Air Mobility (AAM). Zakłada ona wykorzystanie elektrycznych statków powietrznych do krótkodystansowego, elastycznego transportu pasażerskiego i towarowego, zarówno w miastach oraz aglomeracjach miejskich i metropolitalnych (Urban Air Mobility, UAM), jak i pomiędzy nimi. Mają to być elektryczne statki powietrzne pionowego wzlotu i lądowania (electric Vertical Take-Off and Landing, eVTOL), nazywane też pionowzlotami, a także samoloty krótkiego i konwencjonalnego startu i lądowania napędzane energią elektryczną (electric Short Take-Off and Landing, eSTOL / electric Conventional Take-Off and Landing, eCTOL). Ze względu na możliwość pionowego startu/lądowania i użyteczność tej techniki w ruchu miejskim, AAM i UAM analizowane są przede wszystkim w kontekście użytkowania pionowzlotów.

Obsługa AAM przy użyciu eVTOL ma odbywać się w sposób podobny do działania wind – pasażer wybiera miejsce docelowe na ekranie, pojazd pojawia się „na wezwanie”, a podróż odbywa się punkt-do-punktu w sposób szybki i efektywny. W kontekście technologii lotniskowych, AAM oznacza konieczność głębokich zmian w infrastrukturze i zarządzaniu ruchem w przestrzeni powietrznej w otoczeniu portów lotniczych, w celu ich adaptacji i pełnej integracji eVTOL z systemami lotniskowymi⁴⁵⁹.

Koncepcja AMM pojawiła się wraz z postępem w elektryfikacji transportu, automatyzacji oraz miniaturyzacji systemów sterowania i nawigacji oraz rosnącą popularnością wykorzystania dronów. Jej celem jest stworzenie nowej, trzeciej osi transportu — pomiędzy drogą a koleją — umożliwiającej szybkie, ciche i ekologiczne przemieszczanie się na krótkich dystansach, zwłaszcza w zatłoczonych aglomeracjach i w sąsiedztwie portów lotniczych. W 2024 r. Niemieckie Centrum Lotnictwa i Przestrzeni Kosmicznej (DLR), w ramach programu badawczego HorizonUAM, zdefiniowało specyfikę kategorii przyszłych usług AAM w perspektywie 2050 r. Są to: wewnątrzmiejskie (intra-city), w ramach megamiast (mega-city), przeloty do portów lotniczych (airport shuttle), podmiejskie (suburban-commuter) oraz międzymiastowe (inter-city). Dwa pierwsze zakładają obecność pilota na pokładzie statku powietrznego, pozostałe – sterowanie zdalne⁴⁶⁰.

Rysunek 13. Kategorie przyszłych usług AAM wg DLR



The Future of Urban Air Mobility, DLR, wrzesień 2024, s. 4-5.

Technologia statków powietrznych eVTOL wykorzystuje m.in. systemy DEP (rozproszony napęd elektryczny, Distributed Electric Propulsion), systemy bateryjne (przede wszystkim baterie litowo-jonowe), korzystanie z OZE, zaawansowane materiały lotnicze, systemy sterowania oparte o AI i sieci 5G. Opracowywane są one przez firmy: amerykańskie – Joby, Archer; europejskie – Volocopter, Lilium i Airbus, czy chińskie – EHang oraz Autoflight. Wyróżnia się kilka rodzajów eVTOL-i⁴⁶¹:

- **wielowirnikowe** (multi-rotor eVTOL) – technologia najbardziej zaawansowana, charakteryzują się manewrowością i precyzją zawisania, przeznaczone dla lotów krótkich i średnich;
- **hybrydowe**, wyposażone zarówno w wirniki, jak i skrzydła (winged compound eVTOL) – łączą zalety maszyn wielowirnikowych i samolotów o skrzydłach stałych: wyższą prędkość i większy zasięg;
- **ze zmiennym kątem ustawienia silników** (tilt-rotor eVTOL) – cechujące się wydajnością zarówno w zawisie, jak i przy dużych prędkościach. System napędowy wymaga jednak precyzyjnych układów mechanicznych, co podnosi koszty rozwoju i wdrażania tej technologii.

458 A. Duvall, S. Young, J. Dean. C. Endsley, Automated Mobility Platforms (AMPs) for Versatile, Energy Efficiency, Facility and District Scale Transport, NREL 2022.

459 Advanced Air Mobility (AAM), munich-airport.com.

460 The Future of Urban Air Mobility, DLR, wrzesień 2024, s. 4–5.

461 Za: L. Hu, X. Yan, Y. Yuan, Development and challenges of autonomous electric vertical take-off and landing aircraft, [w:] „Heliyon”, vol. 11, nr 1, 15 stycznia 2025 r.; D. Xiao Qin, Vertical takeoff and landing aircrafts: Categories, applications, and technology, [w:] „Theoretical and Natural Science”, nr 13(1), listopad 2023.

Tabela 10. Rodzaje i modele eVTOL (stan na koniec 2024 r.)

Model / firma	Liczba osób	Waga	Czas lotu	Zasięg	Faza wdrożenia (2024 r.)
Wielowirnikowe					
Hexa / Lift Aircraft	1	310 kg	15 min	~25 km	Testy lotu
VoloCity / Volocopter	2	900 kg	~30 min	~35 km	Certyfikacja
EHang 216 / EHang	2	650 kg	25 min	30 km	Certyfikacja
AeroHT X 2 / XPeng	2	560 kg	35 min	b.d.	Testy lotu
SkyDrive / SkyDrive	3	1400 kg	30 min	15 km	Produkcja
ZJCopter-I / Zheijang Lab	1	470 kg	25 min	~25 km	Testy lotu
Hybrydowe (wirniki + skrzydła)					
Matrix 1 / Vertax	5	b.d.	>1 h	250 km	Badania
Cora / Wisk Aero	2	~800 kg	29 min	100 km	Testy lotu
City Airbus NextGen / Airbus Urban Mobility	4 + 1	~1500 kg	b.d.	80 km	Badania
Autoflight V1500M / Autoflight	4	1500 kg	~1 h	250 km	Testy lotu
ALIA / Beta Technologies	5 + 1	3174 kg	2 h	460 km	Testy lotu
VT-30 / EHang	2	900 kg	1,6 h	300 km	Testy lotu
VE25 X1 / EHang	4 + 1	~2000 kg	1 h	200 km	Walidacja naziemna
Ze zmiennym kątem ustawienia silników					
Joby S4 / Joby Aviation	4 + 1	1815 kg	1,3 h	241,4 km	Certyfikacja
Lilium Jet / Lilium GmbH	4 + 1	1500 kg	1 h	300 km	Certyfikacja
Wisk Aero Generation 6 / Wisk Aero	4	b.d.	~40 min	144 km	Certyfikacja
PANTALA Cincept H / Pantuo	4 + 1	b.d.	~1 h	250 km	Walidacja prototypu
Archer Maker / Archer	2	1508 kg	~30 min	97 km	Testy lotu
E20 / Tcab Tech	4 + 1	b.d.	~46 min	200 km	Walidacja prototype
Vertical Aerospace VX4 / Vertical Aerospace	4 + 1	b.d.	~45 min	161 km	Testy lotu

Źródło: L. Hu, X. Yan, Y. Yuan, Development and challenges of autonomous electric vertical take-off and landing aircraft, [w:] „Heliyon”, vol. 11, nr 1, 15 stycznia 2025 r.

Centralnym elementem infrastruktury AAM są vertiporty – specjalistyczne lądowiska przeznaczone dla eVTOL, które mogą być lokalizowane zarówno na dachach terminali, parkingów, jak i w pobliżu głównych wejść do portów lotniczych. Wyróżnić można kilka ich rodzajów, w zależności od wielkości, lokalizacji i obsługiwanego ruchu⁴⁶²:

- **podstawowy** (essential) – modułowy, niedrogi, gotowy do szybkiej instalacji, dla mniejszych lokalizacji i ograniczonych przestrzeni;
- **prosty** (simple) – kompaktowy, modułowy, szybka integracja z istniejącą infrastrukturą lotniskową, zazwyczaj jednostanowiskowy (obsługa jednego statku powietrznego, ok. 90% obecnych vertiportów/heliportów);
- **wyniesiony** (elevated) – umieszczony na dachu np. wieżowca, wymagający zaawansowanych rozwiązań inżynieryjnych, typowy dla gęsto zabudowanych obszarów miejskich;

462 Rise of the vertiports: a look at recent developments concerning the futuristic air hubs, satair.com, 31 maja 2024 r.

- **zamknięty** (enclosed) – zabudowany dookoła lądowiska, ogranicza hałas i wpływ warunków atmosferycznych, ograniczona możliwość rozbudowy;
- **zintegrowany** (integrated) – zlokalizowany w bezpośrednim sąsiedztwie portu lotniczego, zapewnia płynne przejście z tradycyjnego lotnictwa na UAM (np. taksówka powietrzna do centrum miasta);
- **hub miejski** (Urban Hub) – duży, miejski vertiport, wiele punktów startu i lądowania, zaprojektowany do obsługi wysokiej częstotliwości lotów i dużej liczby pasażerów;
- **regionalny hub UAM/AAM** (Regional UAM/AAM Hub) – regionalny węzeł przesiadkowy dla transportu międzyregionalnego, obsługuje loty na dłuższe dystanse, poza obrębem miasta.

Z kolei niemieckie DLR posługuje się pojęciem vertidrom na określenie infrastruktury naziemnej używanej przez eVTOL. Dzieli je na vertistopy i vertiporty. Te pierwsze to proste obiekty, które zapewniać mają jedynie bezpieczne warunki do startu i lądowania. Vertiporty będą natomiast w pełni wyposażonymi obiektami z miejscami parkingowymi i punktami lądowania, a także z możliwością przeprowadzania usług konserwacyjnych, naprawczych i przeglądów. Mogą one również pełnić rolę centralnego „huba” w sieci typu hub-and-spoke, gdzie mniejsze vertistopy znajdują się na obrzeżach sieci⁴⁶³.

EASA wymienia natomiast, w zależności od poziomu skomplikowania infrastruktury i wielkości obsługiwanego ruchu: vertipady (najmniejsze lądowiska – 1–2 miejsca do startu/lądowania), vertibazy (średniej wielkości – 3-7 miejsc do startu/lądowania) i vertihuby (największe – ok. 10 miejsc do startu/lądowania). W dużych i średnich miastach powstawać mogłyby układy wykorzystujące możliwości każdego ze wspomnianych rodzajów, przy korzyściach wynikających ze skalowalności systemu. W ośrodkach dużych o ścisłej zabudowie (Paryż, Berlin, Madryt, Hamburg, Wiedeń, Barcelona) oznaczałoby to w sumie infrastrukturę o łącznie 40-60 miejscach do startu/lądowania, a w średnich (Sewilla, Lizbona, Dusseldorf, Ryga, Ateny) – o 20–45 miejscach. W obu przypadkach vertihuby miałyby znajdować się przy głównych portach lotniczych wspomnianych miast⁴⁶⁴.

Różne koncepcje wykorzystania AAM zakładają zatem tworzenie całych sieci niewielkich vertiportów, łączących się z większymi hubami, na których możliwa byłaby przesiadka na przeloty dalekodystansowe lub inne środki transportu. W 2021 r. w samych USA znajdowało się ponad 5 tys. publicznych lądowisk, dostępnych dla większości mieszkańców w ramach 20-minutowej jazdy samochodem⁴⁶⁵. Hubami takimi mogą być np. dotychczas eksploatowane porty lotnicze. Wg szacunków firmy McKinsey z 2021 r., użytkowanie eVTOL może skrócić czas dotarcia do lotniska o 40-60%. Estymacje mówią także o potencjale zwiększenia liczby pasażerów o ok. 1% i przychodów o ok. 5% w przypadku hipotetycznego portu lotniczego obsługującego ok. 45 mln pasażerów rocznie, po wdrożeniu na nim technologii AAM/UAM⁴⁶⁶.

Rola vertiportów to nie tylko obsługa startów i lądowań, ale również zapewnienie lądowania baterii, odprawy pasażerów oraz integracji z transportem naziemnym. Wraz z tymi zmianami pojawia się również potrzeba stworzenia zaawansowanego systemu zarządzania ruchem powietrznym (Air Traffic Management, ATM), uwzględniającego operacje AAM w niskiej przestrzeni powietrznej

463 The Future..., s. 12.

464 Study..., s. 24.

465 From Airports to Mobility Hubs: Leveraging existing infrastructure for AAM, Wisk, wrzesień 2021 r.

466 F. Brummer, O. Chéret, M. Goulmy, R. Riedel, Final approach: How airports can prepare for advanced air mobility, mckinsey.com, 19 listopada 2021.

(np. scenariusz zasymulowany przez DLR zakładał 2,8 tys. lotów eVTOL w Hamburgu przy wykorzystaniu od 225 do 275 pionowzlotów, co umożliwiłoby zmniejszenie powierzchni parkingowych w mieście o 24%⁴⁶⁷). Rozwijane zatem będą dedykowane systemy UTM (Unmanned Traffic Management), które z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, łączności 5G/6G oraz automatycznych systemów śledzenia i unikania kolizji, zapewnią płynną integrację z ruchem tradycyjnych samolotów. Przyszła autonomizacja ruchu eVTOL rodzić będzie też jednak poważne zagrożenia i wyzwania w zakresie bezpieczeństwa lotów i odporności np. na cyberataki⁴⁶⁸.

Istotnym wyzwaniem staje się również zasilanie tych pojazdów – porty lotnicze muszą dysponować odpowiednią infrastrukturą energetyczną do szybkiego ładowania eVTOL-i, z możliwością integracji z OZE oraz magazynami energii. Coraz częściej zakładana jest konieczność zbudowania równoległego systemu energetycznego dedykowanego dla AAM, który nie będzie kolidować z tradycyjnym zasilaniem lotniskowym.

Air-One: demonstracyjny hub AAM w Coventry

Wiosną 2022 r. Coventry w Wielkiej Brytanii stało się miejscem eksperymentu w dziedzinie AAM, goszcząc przez 3 tygodnie demonstracyjny vertiport Air-One. Projekt zrealizowany przez firmę Urban-Air Port stanowił pierwsze na świecie w pełni operacyjne centrum dla eVTOL-i i autonomicznych dronów cargo. Zostało ono zlokalizowane w samym centrum miasta, na parking przy stacji kolejowej Westminster Road, w bezpośrednim sąsiedztwie głównych szlaków komunikacyjnych. Obiekt o powierzchni 1,7 tys. m² zaprojektowano jako prefabrykowany i modułowy, co umożliwia jego szybki montaż i demontaż. Celem projektu było zaprezentowanie możliwości integracji AAM z istniejącą infrastrukturą miejską oraz promocja bardziej ekologicznych form transportu, takich jak e-hulajnogę czy rowery elektryczne, do obsługi tzw. „ostatniej mili”. W czasie demonstracji nie odbywały się komercyjne loty, lecz zaprezentowano około 100 operacji dronów, a także pokazano model pasażerskiego eVTOL-a budowanego przez firmę Supernal (należącą do koncernu Hyundai)⁴⁶⁹.



Źródło: Urban Air Port / SWNS

W najbliższej przyszłości, w przypadku rozwoju technologii AAM/UAM, poszczególne porty lotnicze powinny więc określać swoje strategie i przyjmować modele biznesowe w tym zakresie. McKinsey wyróżnia trzy opcje: minimalne zaangażowanie (tzw. light touch – wykorzystanie istniejącej infrastruktury, z dodaniem instalacji do ładowania elektrycznego), inwestycje dedykowane (przeznaczenie określonej przestrzeni na potrzeby eVTOL i wyposażenie jej w infrastrukturę łado-

wania oraz opracowanie planów integracji pasażerów AAM/UAM z ogólnym ruchem pasażerskim w obrębie portu) oraz pełne zaangażowanie (betting on AAM – oprócz realizacji inwestycji w infrastrukturę, także prowadzenie i samodzielne rozwijanie vertiportów w obszarze oddziaływania portu lotniczego)⁴⁷⁰.

W obliczu rosnącej presji na dekarbonizację transportu, niektóre z krajów europejskich rozważają lub już wprowadzają regulacje ograniczające krajowe loty na krótkich dystansach (Francja – zakaz lotów krajowych na trasach, które można pokonać w mniej niż 2 h; podobne plany w Hiszpanii – trasy do 2,5 h⁴⁷¹), zwłaszcza tam, gdzie dostępna jest szybka i niskoemisyjna alternatywa, jak np. kolej dużych prędkości. Działania te mogą być poważnym zagrożeniem dla funkcjonowania regionalnych portów lotniczych, których rentowność w dużej mierze opiera się na obsłudze krótkodystansowych połączeń krajowych. W tym kontekście koncepcje AAM mogą stworzyć nowe perspektywy i zastosowania dla infrastruktury lotniskowej, chroniąc ją przed marginalizacją i nadając nowe funkcje w ramach zrównoważonego systemu transportu⁴⁷². Plany transformacji w kierunku hubu UAM do 2030 r. ma np. południowokoreański port lotniczy Seul-Gimpo. Na 350 tys. m² mają tam powstać m.in. platformy startów i lądowań pionowzlotów, węzły przesiadkowe, obiekty handlowe, kulturalne i konferencyjne, a także klastry technologiczne i mieszkania. Wartość tego projektu to ok. 2,2 mld dolarów⁴⁷³.

Porty lotnicze mogą też zostać przekształcone w węzły integrujące różne formy nowoczesnej mobilności (eSTOL / eVTOL / systemy transportu naziemnego). Dzięki istniejącej infrastrukturze – pasom startowym, hangarom, zapleczu technicznemu i operacyjnemu – regionalne porty lotnicze mogą szybko zaadaptować się do potrzeb nowego rynku. Przykładem koncepcji opisującej funkcjonowanie regionalnego portu lotniczego skupionego na obsłudze samolotów elektrycznych jest eAirport, przedstawiony w 2023 r. przez niemiecką firmę amd.sigma⁴⁷⁴.

Kolejny krok to transformacja w kierunku lokalnych centrów operacyjnych dla autonomicznych i półautonomicznych statków powietrznych, które realizować będą szybkie, bezemisyjne połączenia na trasach 50–300 km – dystansach, które dziś obsługiwane są przez samochody, autobusy lub krótkie loty krajowe. Tego typu połączenia mogą znacząco zwiększyć dostępność komunikacyjną regionów oddalonych od dużych metropolii i głównych węzłów kolejowych. Regionalne porty lotnicze w takim układzie stawałyby się lokalnymi hubami, łącząc mniejsze miejscowości z dużymi miastami i np. infrastrukturą KDP.

Warto też podkreślić potencjał takich obiektów jako miejsc testowania i wdrażania innowacji. Dzięki mniejszemu natężeniu ruchu niż w dużych portach lotniczych oraz większej elastyczności operacyjnej, porty regionalne mogą stać się idealnym miejscem do testów nowych modeli eVTOL, systemów UTM czy infrastruktury ładowania i obsługi elektrycznych statków powietrz-

⁴⁷⁰ F. Brummer, O. Chéret, M. Goulmy, R. Riedel, Final..., op. cit.

⁴⁷¹ A. Ledsom, Spain Short-Haul Flight Ban: Which EU Country Will Be Next?, forbes.com, 18 marca 2024 r.

⁴⁷² Advanced Air Mobility. A New Architectural Typology, IDOM, marzec 2023 r., s. 16.

⁴⁷³ Seoul's Gimpo Airport area to turn into urban air mobility hub by 2030, koreatimes.co.kr, 8 września 2024 r.

⁴⁷⁴ G. Suart, amd.sigma publishes prototype design of inter-regional "eAirport", urbanairmobilitynews.com, 3 lutego 2023 r.

nych. Współpraca taka jest już realizowana np. przez amerykańskie regionalne porty lotnicze we Florence (systemy ładowania)⁴⁷⁵, czy Salina (testowanie eVTOL-i)⁴⁷⁶.

Transformacja regionalnych portów lotniczych w kierunku AAM/UAM wymagać jednak będzie skoordynowanych działań legislacyjnych, wsparcia finansowego oraz partnerstw publiczno-prywatnych⁴⁷⁷. Konieczne będą także zmiany w planowaniu przestrzennym, dostosowanie infrastruktury do nowych wymogów technicznych i środowiskowych, a także edukacja lokalnych społeczności w zakresie korzyści i wyzwań związanych z nową formą mobilności⁴⁷⁸.

Koncepcja eAirport

W 2023 r. berlińska firma amd.sigma, należąca do portu lotniczego w Monachium, we współpracy z Airbusem, Bauhaus Luftfahrt oraz ośrodkami naukowymi, stworzyła koncepcję eAirport – inter-regionalnego portu lotniczego wykorzystującego pionowzloty elektryczne, jak również samoloty krótkiego i konwencjonalnego startu i lądowania napędzane energią elektryczną (eSTOL/eC-TOL)⁴⁷⁹. Głównym założeniem projektu jest wykorzystanie eVTOL-i do transportu osób z obszarów miejskich do pobliskich regionalnych portów lotniczych, znajdujących się w promieniu ok. 100 km od miasta, a także opracowanie prostego, modułowego i energetycznie zrównoważonego terminalu, który umożliwi przyszłe rozbudowy oraz zapewni krótkie czasy tranzytu dla pasażerów. Ma on integrować bramki dla małych elektrycznych samolotów oraz vertiport pod jednym dachem, co ułatwia pasażerom dokonywanie przesiadek.

Projekt zakłada możliwość rozbudowy terminalu w miarę wzrostu zapotrzebowania na dodatkowe stanowiska vertiportowe, miejsca oczekiwania oraz stanowiska dla samolotów. Projekt eAirport bazuje na wykorzystaniu technologii bezemisyjnych, w tym zasilania bateryjnego oraz – w przyszłości – także wodoru. Energia ma być produkowana na miejscu, a terminal ma być zbudowany w sposób zrównoważony, z naciskiem na niskie koszty i proste rozwiązania technologiczne. Jednym z elementów projektu jest park solarny obok pasa startowego, który może generować dochody ze sprzedaży czystej energii do sieci, zanim jeszcze port lotniczy zacznie działać.

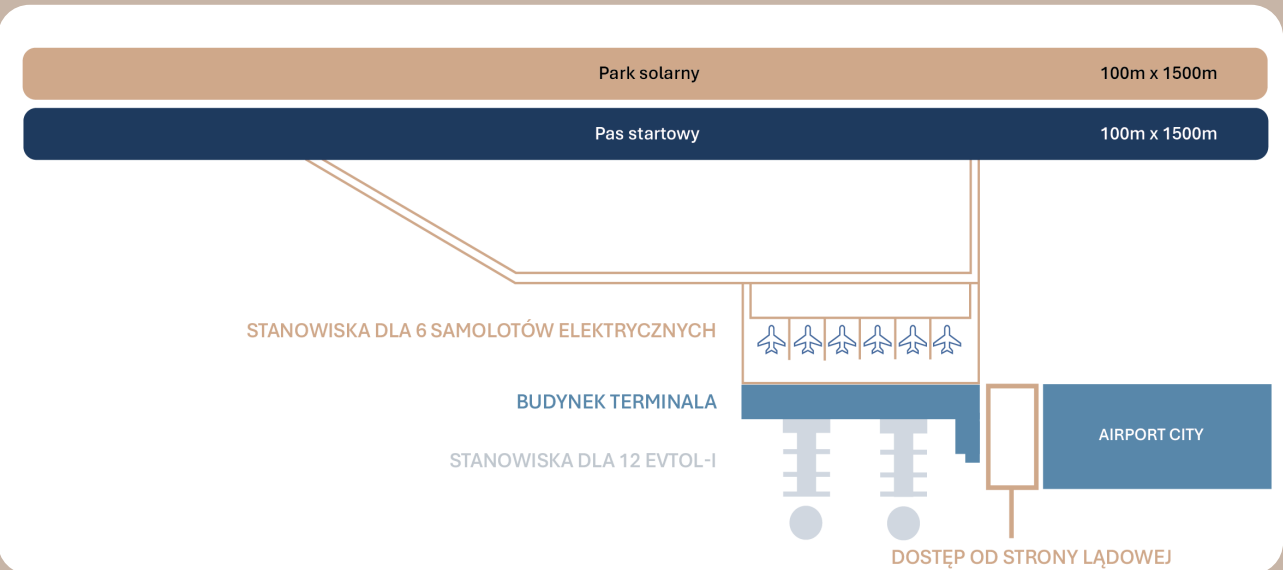
475 Ch. Stonor, Florence Regional Airport Collaborates with BETA Technologie “to Install South Carolina’s First Electric Aircraft Charger”, evtolinsights.com, 13 lutego 2025 r.

476 Textron eAviation Inc. announces Nexus eVTOL flight testing at Salina Regional Airport, investor.textron.com, 7 października 2024 r.

477 P. Wheeler, Nine Critical Success Factors for Advanced Air Mobility in Airport Planning, wsp.com, 6 września 2024 r.

478 R. Lineberger, A. Hussain, M. Metcalfe, V. Rutgers, Infrastructure barriers to the elevated future of mobility, Deloitte Insights.

479 H. Miles, Glasgow Airport launches..., op. cit.



Źródło: amd.sigma

Projekt eAirport zakłada też stworzenie sieci małych portów lotniczych w Niemczech, które będą generować własną energię ze słońca. Koncepcja taka może być atrakcyjna dla biznesu, zwłaszcza w kontekście rosnącego zainteresowania podróżami bezemisyjnymi⁴⁸⁰.

Szczególnie ambitne są plany rozwoju technologii AAM w Azji, a zwłaszcza w najzamożniejszych krajach Bliskiego Wschodu (Zjednoczone Emiraty Arabskie i Arabia Saudyjska). Dzieje się tak dzięki sprzyjającym regulacjom, otwartym przestrzeniom powietrznym i ambicjom budowy całych inteligentnych, zrównoważonych miast (np. projekt NEOM). Przykładowo, emirat Ras al-Chajma planuje uruchomienie pierwszej sieci vertiportów we współpracy z brytyjską firmą Skyports Infrastructure. Pierwsze komercyjne loty mają ruszyć w 2027 r., łącząc główne atrakcje turystyczne z międzynarodowym portem lotniczym. Natomiast w marcu 2024 r. firma Archer Aviation, we współpracy z lokalnym operatorem Falcon Aviation, poinformowała o planach uruchomienia sieci vertiportów w Dubaju i Abu Zabi już w 2025 r., przy wykorzystaniu eVTOL-i typu Midnight⁴⁸¹. Plany utworzenia kompletnego ekosystemu AAM w Abu Zabi (od szkoleń i budowy infrastruktury po potencjalną produkcję eVTOL-i) to również przedmiot memorandum podpisanego przez Joby Aviation z saudyjskim operatorem lotniczym Mukamalah Aviation, należącym do Saudi Aramco⁴⁸². W kwietniu 2024 r. chińska firma EHang, oferująca w pełni autonomiczne eVTOL-e (model EH216-S) przeprowadziła serię pokazowych lotów autonomicznych w Abu Zabi, podczas wydarzenia DRIFTx – w obecności saudyjskich i emirackich oficjeli⁴⁸³.

Hamburg Aviation i UAM – kompleksowe zaangażowanie

Hamburski klaster lotniczy Hamburg Aviation, skupiający ponad 180 podmiotów, zajmuje pionierską pozycję w Europie w zakresie aktywności na rzecz UAM, biorąc udział w szeregu nowocze-

480 Design of an InterRegional eAirport, amd.sigma, czerwiec 2023 r.

481 Abu Dhabi and archer Announce Agreement With Cross-Industry Stakeholders to Launch First Commercial Electric Air Taxi Flights, businesswire.com, 6 grudnia 2024 r.

482 P. Sillers, Air taxis: Are electric vertical take-off and landing vehicles the future of aviation?, boatinternational.com, 29 listopada 2024 r.

483 EHang Showcases EH216 Series and VT-30 Pilotless eVTOL Aircraft at DRIFTx, EH216-S Completes Debut Flight in Abu Dhabi, ehang.com, 29 kwietnia 2024 r.

snych projektów mających na celu rozwój bezpiecznej i zrównoważonej mobilności powietrznej w obszarach miejskich. Obejmują one zarówno rozwój technologii, jak i tworzenie ram regulacyjnych dla przyszłości nowego środka transportu. Główną inicjatywą Hamburg Aviation jest projekt BLU-Space (Blueprint U-Space), który reprezentuje przełomowe podejście do zarządzania ruchem powietrznym w środowisku miejskim. To pierwszy w Unii Europejskiej projekt pilotażowy wdrażający bezpieczny i zautomatyzowany system zarządzania ruchem dla systemów bezzałogowych w rzeczywistych warunkach i w miejskiej, kontrolowanej przestrzeni powietrznej⁴⁸⁴. Celem BLU-Space jest stworzenie pierwszej w UE przestrzeni testowej dla kompletnego systemu zarządzania ruchem dronów, tzw. przestrzeni U-Space. Hamburg został wybrany jako lokalizacja testowa ze względu na swoje idealne warunki – miasto oferuje złożoną infrastrukturę obejmującą gęstą zabudowę miejską, duże obszary portowe i przemysłowe oraz lotniska śródmiejskie.

Hamburg Aviation uruchomiło także w 2017 r. program Windrove. Jego celem jest otwarcie potencjalnych scenariuszy zastosowania UAM dla mobilności powietrznej w mieście. Program łączy użytkowników, projektantów i dostawców usług i produktów opartych na dronach, promując otwarte, zorientowane na rozwiązania sieci kontaktów⁴⁸⁵.

Port lotniczy w Hamburgu jest również kluczowym partnerem w projekcie CITYAM (Preparing Cities for Sustainable Urban Air Mobility), realizowanym od 2023 r. Jego celem jest wyposażenie miast w narzędzia do poprawy zarządzania przestrzenią powietrzną w kontekście rozwijającej się miejskiej mobilności powietrznej i skalowania operacji dronowych. Zakłada on współpracę transnarodową w regionie Morza Bałtyckiego. W ramach projektu rozwiązania są testowane w 6 miastach, w tym właśnie w Hamburgu. CITYAM promuje zrównoważone wykorzystanie dronów, zwiększa kompetencje urzędników oraz bada akceptację społeczną dla nowych form mobilności powietrznej⁴⁸⁶.

Obecne wyzwania związane z AAM są wieloaspektowe i dotyczą zarówno kwestii technicznych (ich uwzględnienia w obecnych regulacjach lotniczych FAA, EASA i CAAC), jak i społecznych. Aby umożliwić szeroką adopcję tych pojazdów, konieczne jest rozwiązanie problemów związanych z certyfikacją, integracją autonomicznych technologii oraz zapewnieniem odpowiednich regulacji międzynarodowych. Ponadto, kwestia akceptacji społecznej, obejmująca takie aspekty jak bezpieczeństwo, hałas, prywatność i integracja z istniejącymi systemami transportowymi, będzie miała kluczowe znaczenie w procesie wdrażania AAM na szeroką skalę. Badania przeprowadzone przez EASA i McKinsey wśród respondentów różnych państw Unii Europejskiej w 2021 r. wykazują ich raczej pozytywne nastawienie do UAM, choć przypadki użycia, które przynoszą korzyści społeczności, takie jak transport medyczny czy ratunkowy, są bardziej wspierane niż te, które służą indywidualnym potrzebom. Główne korzyści oczekiwane od UAM to szybszy, czystszy i bardziej rozbudowany transport. Jednocześnie jako problematyczna sfera wdrażania pionowzlotów postrzegane jest bezpieczeństwo, hałas i wpływ na środowisko naturalne⁴⁸⁷.

Problemy związane z wskazanymi powyżej zagadnieniami opóźniają tworzenie systemów AAM. Jeszcze w 2021 r. przewidywano, iż w 2025 r. nastąpią pierwsze komercyjne wdrożenia, a w 2030 r.

484 Zob. blu-space.de.

485 Windrove. Pioneering Urban Air Systems, hamburg-aviation.de.

486 CITYAM, interreg-baltic.eu.

487 Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe, EASA, 19 maja 2021, passim.

technologia ta będzie używana powszechnie. Władze firmy Volocopter zakładały wówczas konieczność zainwestowania w branżę AAM ok. 1 mld dolarów, a sumaryczną wartość rynku na ok. 300 mld dolarów w perspektywie 15 lat⁴⁸⁸. W tym samym czasie EASA przewidywała, iż przemysł rozwinięty wokół UAM do 2030 r. stworzy w Unii Europejskiej ok. 90 tys. nowych miejsc pracy⁴⁸⁹.

Pod koniec 2024 r. niemieckie DLR w ramach projektu HorizonUAM stworzyło kilka scenariuszy rozwoju AAM – w najbardziej optymistycznym, w 2050 r. wykonywane ma być 19 mln podróży eVTOL-ami dziennie w 200 miastach na całym świecie. Każdy z wariantów rozwoju wskazywał jednak, iż do 2040 r. nie jest spodziewany nagły i znaczny wzrost wartości tego rynku⁴⁹⁰.

Zwolennicy AAM określają tę koncepcję jako katalizator kompleksowych zmian w infrastrukturze, energetyce, zarządzaniu ruchem i obsłudze podróży, który może zrewolucjonizować sposób, w jaki postrzegamy mobilność wokół portów lotniczych. Podkreślana jest także ekologiczna i społeczna wartość AAM – pojazdy są zeroemisyjne, cichsze niż tradycyjne śmigłowce i mogą znacząco poprawić dostępność transportową w regionach peryferyjnych lub mocno zatłoczonych. Z drugiej strony, nie brakuje głosów mówiących o szeregu poważnych przeszkód stojących na drodze do rozwoju AAM, a w szczególności rynku eVTOL. Mają one charakter technologiczny, ekonomiczny i regulacyjny. Wśród nich wymieniane są najczęściej:

- **problemy z certyfikacją i ogromne koszty** – uzyskanie odpowiedniego certyfikatu typu w Europie lub Ameryce Północnej dla jednego modelu eVTOL może kosztować nawet 1,5 mld dolarów⁴⁹¹. Wynika to z faktu, że większość rozwiązań stosowanych w tych statkach powietrznych to zupełnie nowe konfiguracje techniczne – z systemami przejścia z lotu pionowego do poziomego, skomplikowanymi układami śmigieł i nowatorskimi komponentami. Taka innowacyjność oznacza konieczność przeprowadzenia kosztownych i rozbudowanych testów, przy zachowaniu najwyższych standardów bezpieczeństwa.
- **ograniczenia w zakresie baterii litowo-jonowych** – nawet najnowocześniejsze z nich, oferujące gęstość energii na poziomie 500 Wh/kg (np. opracowane przez CATL⁴⁹²) mogą być niewystarczające dla eVTOL-ów operujących w przestrzeni miejskiej. Loty takie wymagają długich wznoszeń na wysokość powyżej 300 m nad najwyższym budynkiem, a następnie bezpiecznych zniżeń – co pociąga za sobą znaczne zapotrzebowanie energetyczne, zwłaszcza w fazie końcowej, gdy poziom naładowania baterii jest najniższy. Sytuację pogarsza fakt, że w tym momencie maszyna ma ograniczone możliwości awaryjnego manewru czy lądowania⁴⁹³.
- **bariery infrastrukturalne i zmieniające się wymagania** – w zakresie infrastruktury lotniskowej; przykładowo na początku 2025 r., po publikacji badań FAA dotyczących siły podmuchów generowanych przez wielowirnikowe eVTOL-e⁴⁹⁴, w USA zaostrzono przepisy dotyczące lokalizacji i konstrukcji vertiportów⁴⁹⁵.
- **wątpliwości dotyczące modelu biznesowego** – pomysł wprowadzenia latających taksówek – jak system VoloCity planowany przez Volocopter podczas Igrzysk Olimpijskich w Paryżu w 2024r.

488 The future of air mobility: Electric aircraft and flying taxis, McKinsey & Company, listopad 2021, s. 2, 15.

489 Frequently Asked Questions on UAM, EASA.

490 The Future..., s. 6.

491 C. Epstein, Vertical Flight Society Assesses eVTOL Market Churn, ainonline.com, 12 marca 2025 r.

492 C.C. Weiss, CATL throws its world-leading ultra-range battery muscle into eVTOLS, newatlas.com, 8 sierpnia 2024 r.

493 M. Barnard, Dwindling List of EVTOL Firms Shrinks Further, cleantechnica.com, 27 stycznia 2025 r.

494 D. Perry, FAA study reveals hurricane-force levels of eVTOL downwash and outwash, flightglobal.com, 10 stycznia 2025 r.

495 M. Barnard, Dangerous Downwash Is The 15th Reason Why A Jetsons EVTOL Future Won't Happen, cleantechnica.com, 6 stycznia 2025 r.

– często spotyka się z krytyką społeczną⁴⁹⁶. We wspomnianym przypadku usługa była postrzegana jako elitarna – dostępna tylko dla bardzo zamożnych klientów, co wywołało sprzeciw lokalnych władz i opinii publicznej. Podnoszono też, iż istniejące rozwiązania naziemne, jak np. pociągi RER B w Paryżu, są znacznie tańsze, szybsze, bardziej pojemne i efektywne (kolej może przewieźć nawet 40 tys. pasażerów na godzinę, z pełnym bagażem, podczas gdy VoloCity mógłby zabrać jedną osobę z małym bagażem podręcznym).

- **trudności w utrzymaniu się firm na rynku** – ze względu na znaczną kosztochłonność projektów AAM, nawet najwięksi gracze rynkowi mają problemy z utrzymaniem się w branży. W listopadzie 2024 r. Rolls Royce zamknął swoją jednostkę AAM z powodu braku popytu⁴⁹⁷. Natomiast na początku 2025 r. Airbus – jeden z liderów światowego lotnictwa – zawiesił rozwój swojego projektu CityAirbus, wskazując jako przyczynę niedojrzałość technologii baterii⁴⁹⁸. W listopadzie 2022 r. saudyjska spółka mająca realizować projekt NEOM, zainwestowała 175 mln dolarów w niemiecki start-up Volocopter, który następnie w 2023 r. przeprowadził udane testy eVTOL-i typu VoloCity⁴⁹⁹. Pomimo tego, na początku 2025 r. firma złożyła wniosek o upadłość⁵⁰⁰.

- **opóźnienia regulacyjne** – w styczniu 2025 r. FAA ogłosiła, że nie przewiduje wydania żadnej certyfikacji dla eVTOL-i przed 2027 r. Oznacza to, że cały sektor przez kolejne lata będzie funkcjonować w stanie zawieszenia, niezdolny do rozpoczęcia działalności komercyjnej. Jedyne komercyjnie certyfikowane eVTOL-e, jak eHang, operują obecnie wyłącznie w Chinach, działające jednak głównie na zasadzie atrakcji turystycznej⁵⁰¹.

Pojazdy GSE – elektryfikacja, wodoryzacja i autonomizacja

W branży pojazdów naziemnej obsługi lotniskowej (Ground Support Equipment, GSE) coraz większe znaczenie zyskują ekologiczność, bezpieczeństwo i efektywność operacyjna. Jednym z najważniejszych elementów strategii zrównoważonego rozwoju w branży lotniskowej jest elektryfikacja i wodoryzacja pojazdów GSE. Staje się ona kluczowa w osiągnięciu celów zeroemisyjności portów lotniczych oraz poprawy ich efektywności operacyjnej (ok. 4% emisji portów lotniczych pochodzi z GSE; 55% emisji portów lotniczych generowanych jest podczas lądowań i startów, z czego aż 52% pochodzi z ciągników samolotowych i jednostek APU⁵⁰²). Istotne jest także wdrażanie nowoczesnych technologii, takich jak AI, automatyzacja i telemetria (tzw. iGSE).

Wymienić można ok. 20 rodzajów pojazdów GSE, w tym: naziemne jednostki zasilające (GPU), lotniskowe klimatyzatory samolotowe (ACU), airstartery samolotowe (ASU), ciągniki (do holowania sprzętu, wózków bagażowych, kontenerów itd.) w tym samolotowe (ciągniki pushback – dyszlowe i bezdyszlowe), ładowarki i ładowarki taśmowe, pojazdy do odladzania (odladzacz lotniskowe), pojazdy medyczne, samochody dostawcze do cateringu lotniczego, pojazdy sanitarne i przeznaczone do obsługi toalet pokładowych i uzupełniania wody, samojezdne schody pasażerskie, taśmociągi bagażowe oraz transportery podnośniki palet i kontenerów lotniczych cargo⁵⁰³. Część z tego sprzętu zazwyczaj jest własnością nie samych portów lotniczych, a linii lotniczych i firm handlingowych (co generować może problemy, jako rozwiązanie wskazywany jest tzw. GSE pooling, czyli model współdzielenia GSE pomiędzy wszystkimi operatorami handlingowymi działającymi w danym porcie lotniczym⁵⁰⁴).

496 P. Brinkmann, Proposal to fly these air taxis in Paris during the Olympics brings pushback, aerospaceamerica.aiaa.org, 26 lutego 2024 r.

497 Rolls-Royce pulls the plug on electric flying taxi project, euronews.com, 8 listopada 2024 r.

498 T. Dolzall, Airbus Helicopters Suspends CityAirBus UAM Launch Plan, 31 stycznia 2025 r.

499 NEOM invests USD 175M in Velocopter to accelerate electric urban mobility, neom.com, 2 listopada 2022 r.

500 I. Lahiri, German air mobility company ditches fund-raising plans and files for insolvency, euronews.com, 1 stycznia 2025 r.

501 M. Barnard, Dwindling..., op. cit.

502 Helping aviation become leaner & greener, Alvest 2024, s. 4.

czony do obsługi toalet pokładowych i uzupełniania wody, samojezdne schody pasażerskie, taśmociągi bagażowe oraz transportery podnośniki palet i kontenerów lotniczych cargo⁵⁰³. Część z tego sprzętu zazwyczaj jest własnością nie samych portów lotniczych, a linii lotniczych i firm handlingowych (co generować może problemy, jako rozwiązanie wskazywany jest tzw. GSE pooling, czyli model współdzielenia GSE pomiędzy wszystkimi operatorami handlingowymi działającymi w danym porcie lotniczym⁵⁰⁴).

Sprzęt GSE wyjątkowo dobrze nadaje się do elektryfikacji ze względu na swoją specyfikę: niskie prędkości, duży moment obrotowy przy niskich obrotach, częste ruszanie i zatrzymywanie się, a także relatywnie krótki zasięg operacyjny. Wiele urządzeń pomocniczych, takich jak windy hydrauliczne (dostęp do wyższych poziomów samolotów), systemy chłodzenia (dla cateringu) czy pompy (do paliwa, wody pitnej i ścieków), może być znacznie efektywniej zasilanych z elektrycznych źródeł niż poprzez pracę silników spalinowych na biegu jałowym. Zelektryfikowanie pojazdów GSE to dla portów lotniczych i firm handlingowych możliwość uniezależnienia się od wahań cen paliwa. Co więcej, punkty ładowania energią elektryczną można umieszczać w większej liczbie lokalizacji niż stacje tankowania diesla, co zwiększa elastyczność planowania infrastruktury i ogranicza nieproduktywne przemieszczanie się pojazdów⁵⁰⁵.

Wśród przeszkód w zakresie elektryfikacji pojazdów GSE, wymieniane są najczęściej⁵⁰⁶:

- **wysokie koszty początkowe** (wydatki na stacje ładowania, modernizację sieci elektroenergetycznej);
- ograniczenia infrastrukturalne (lokalna sieć elektroenergetyczna może nie być przygotowana do obsługi zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną);
- **ograniczenia natury logistycznej** (konieczność zapewnienia odpowiedniej lokalizacji punktów ładowania, co może być problemem w szczególnie zatłoczonych portach lotniczych, w których występuje problem z wolną przestrzenią);
- **zgodność techniczna** (konieczność zapewnienia kompatybilności różnych typów sprzętu ze stacjami ładowania) i kwestie utrzymaniowe;
- **wymogi bezpieczeństwa** (wdrożenie określonych procedur i dodatkowe szkolenia dla personelu, w związku z wysokimi napięciami i natężeniami prądu);
- **wymogi regulacyjne** (konieczność przestrzegania złożonych i zróżnicowanych przepisów związanych z instalacją infrastruktury ładowania).

Najwięksi światowi operatorzy handlingowi Swissport i Unifi zwracają też uwagę na przeszkody w zakresie ograniczonej infrastruktury ładowania oraz braku standardów w zakresie baterii. Konieczne jest także ujednolicenie parametrów technicznych (np. napięcia 80 V vs. 400 V), aby lepiej planować inwestycje w zakresie infrastruktury ładowania⁵⁰⁷. Obecnie zelektryfikowane pojazdy GSE, czyli eGSE, wymagają zróżnicowanych poziomów mocy, zazwyczaj mieszczących się w przedziale od 100 do 300 kWh⁵⁰⁸.

Na całym świecie funkcjonują programy rządowe i systemy mające na celu przyspieszanie m.in.

503 Electric Ground Support Equipment at Airports, NREL.

504 Ground Ops of the Future, IATA.

505 Electric ground support equipment at airports, European Alternative Fuels Observatory.

506 Za: Electric... op. cit.

507 W. Hallowell, How industry trends are shaping GSE procurement, [w:] „Airside International”, zima 2024, s. 42-45.

508 Electrification Takes Off: The Future of Airport Ground Support Equipment, brogenevsolutions.com, 25 listopada 2024 r.

procesu przechodzenia na flotę pojazdów eGSE w portach lotniczych. W Stanach Zjednoczonych programy FAA – ZEV i VALE – umożliwiają pozyskanie dotacji na zakup bezemisyjnych pojazdów oraz na budowę infrastruktury ładowania⁵⁰⁹. W Europie Fundusz Infrastruktury Paliw Alternatywnych (AFIF), działający w ramach instrumentu „Łącząc Europę” (CEF), przeznaczył w 2024 r. ponad 1,3 mld euro na projekty zrównoważonego transportu, w tym elektryfikację operacji naziemnych w 21 portach lotniczych⁵¹⁰. Inicjatywy te są częścią unijnego dążenia do osiągnięcia zerowej emisji netto i realizują założenia Europejskiego Zielonego Ładu. Rozwój w zakresie dekarbonizacji obsługi naziemnej (elektryfikacja i wodoryzacja) to również jedne z celów unijnych projektów badawczych TULIPS, OLGA i Stargate, w których biorą udział wybrane europejskie porty lotnicze (Schiphol w Amsterdamie – testy wodorowego GPU oraz wodorowego ciągnika pushback⁵¹¹, w Brukseli – testy elektrycznego pojazdu do tankowania, ciągnika na wodór i stacji tankowania tego pierwiastka⁵¹², Charles De Gaulle w Paryżu, w Mediolanie, Zagrzebiu i Klużu⁵¹³). Zarówno w USA, jak i w UE, porty lotnicze podejmują intensywne działania zmierzające do elektryfikacji pojazdów GSE. Na czoło wysuwają się porty wspierane przez linie lotnicze lub państwowe programy dotacyjne.

W Denver International Airport (Kolorado) realizowany jest plan rozwoju elektryfikacji oparty na granicie federalnym. W ramach tzw. Electrification Master Plan przewidziano instalację stacji ładowania oraz wymianę pojazdów GSE z napędu diesla na elektryczny, jako część celów środowiskowych zawartych w lotniskowej strategii Vision 100⁵¹⁴. Salt Lake City International Airport (Utah) oraz Boston Logan International Airport (Massachusetts) są z kolei bliskie osiągnięcia pełnej elektryfikacji swojej podstawowej floty pojazdów GSE. Działania te są wspierane przez znaczne inwestycje linii lotniczych Delta Air Lines, której celem jest osiągnięcie neutralności emisyjnej netto do 2050 r.⁵¹⁵

W Europie port lotniczy w Kolonii/Bonn (Niemcy) inwestuje w elektryczne agregaty zasilające samoloty (e-GPU), dążąc do całkowitej elektryfikacji swojej floty naziemnej do 2035 r. (obecnie w jej skład wchodzi 130 e-pojazdów)⁵¹⁶. W połowie 2024 r. w porcie lotniczym w Brukseli, we współpracy z DHL Express, zelektryfikowano już jedną trzecią sprzętu GSE⁵¹⁷. Schiphol i port lotniczy w Zurychu współpracują natomiast z operatorem Swissport nad elektryfikacją obsługi naziemnej. Zurych planuje osiągnąć 55% udział sprzętu elektrycznego w swojej flocie do końca 2025 r. Port lotniczy w Wiedniu (Austria), który już osiągnął neutralność emisyjną CO₂, wdrożył rozbudowaną infrastrukturę ładowania i dąży do całkowitej elektrycznej floty GSE (obecnie eksploatuje już ok. 450 pojazdów eGSE)⁵¹⁸. Port lotniczy we Frankfurcie (Niemcy) rozwija flotę elektrycznych pojazdów z pomocą państwowych funduszy, inwestując m.in. w nowe huby ładowania. Port lotniczy w Stuttgarcie realizuje natomiast strategię STRzero, której celem jest osiągnięcie zerowej emisji bezpośrednich gazów cieplarnianych do 2040 r. oraz wspieranie rozwoju technologii przyja-

znych klimatowi. W 2030 r. cała obsługa naziemna ma tam być neutralna pod względem emisji CO₂. W latach 2009–2022 w Stuttgarcie udało się zredukować emisje z ruchu naziemnego o 83%, głównie dzięki wykorzystaniu pojazdów elektrycznych oraz przejściu na stacjonarne źródła zasilania, Docelowo nawet tamtejsze ciężkie pojazdy specjalistyczne, jak wozy strażackie, mają być elektryczne⁵¹⁹. Również Aeroporti di Roma, lider włoskiej inicjatywy Pakt na Rzecz Dekarbonizacji Transportu Powietrznego (Il Patto per la decarbonizzazione del trasporto aereo), skupia się na elektryfikacji sprzętu obsługi naziemnej i rozwoju infrastruktury wspierającej proces dekarbonizacji. Włoskie porty lotnicze w Mediolanie – Linate i Malpensa – realizują natomiast projekt eMA-GO, który zakłada konwersję pojazdów naziemnych na elektryczne oraz poprawę efektywności energetycznej w ramach dążenia do neutralności klimatycznej⁵²⁰.

Również port lotniczy w Hongkongu (Hong Kong International Airport, HKIA) od lat konsekwentnie realizuje strategię elektryfikacji GSE. Wycofało ono z użytkowania APU już w 2014 r., montując zamiast nich ok. 700 jednostek stacjonarnego zasilania naziemnego (FGP) oraz systemów klimatyzacji wstępnej (PCA). W lipcu 2018 r. uruchomiono system wspólnego użytkowania GSE (GSE Pooling Scheme) na płycie postojowej Midfield Apron – w pierwszym etapie objęło to 250 pojazdów, z czego 95% stanowiły eGSE. Docelowo w porcie lotniczym w Hongkongu ma być użytkowane ok. 1 tys. takich pojazdów⁵²¹.

Inwestycje w eGSE zapowiadają także największe firmy zajmujące się obsługą naziemną. Działający w niemal 300 portach lotniczych Swissport od stycznia 2025 r. wprowadził nową politykę w zakresie pojazdów GSE. Zakłada ona nabywanie przez firmę od 2027 r. jedynie jednostek napędzanych elektrycznie – pod warunkiem dostępności odpowiedniego sprzętu i odpowiednio rozwiniętej lotniskowej infrastruktury ładowania. W ciągu 10 lat Swissport ma zainwestować ok. 1 mld euro w nową flotę elektryczną, pozyskując e-pojazdy do transportu bagażu, napędzane elektrycznie taśmy bagażowe i samojezdne schody pasażerskie, lekkie i średnie ciągniki oraz pojazdy serwisowe. Obecnie firma eksploatuje 14,3 tys. GSE. Swissport wskazuje na korzyści płynące z elektryfikacji – większą niezawodność, redukcję hałasu, poprawę komfortu użytkowania i bezpieczeństwa oraz możliwość automatyzacji⁵²².

Choć wodoryzacja GSE jest wciąż w fazie testowej, coraz więcej portów lotniczych na całym świecie postrzega ją jako potencjalny element ograniczania swojego śladu węglowego – głównie w zakresie użytkowania jednostek GPU (tzw. h-GPU)⁵²³ i ciągników zasilanych H₂. Jednym z największych wyzwań w tym zakresie jest konieczność przechowywania paliwa na miejscu. Na wczesnym etapie wodorowej transformacji kluczowe będą magazyny wodoru w stanie gazowym oraz odpowiednie systemy tankowania – zarówno stacjonarne, jak i mobilne. W sytuacjach ograniczonego zapotrzebowania możliwe będzie stosowanie elektrolizy na miejscu, jednak najczęściej zakłada się dostarczanie wodoru z zewnętrznych źródeł. W miarę wzrostu zapotrzebowania niezbędne stanie się wdrażanie infrastruktury dla ciekłego wodoru, obejmującej m.in. magazynowanie i potencjalnie lokalne możliwości skraplania gazu. Realizowane pilotaże w portach lotniczych w Bristolu, Amster-

519 World's first electric refuelling 40 m3 vehicle put into operation at Stuttgart Airport, internationalairportreview.com, 12 marca 2024 r.
520 eMago – Electrification of Milan Airports' Ground Operations, milanairports.com.
521 Air Quality, hongkongairport.com.
522 C. Westerheide, Swissport accelerates electrification of ground services at airports, electrive.com, 2 października 2024 r.
523 Por. M.D. Sezer, A. Nühn, A. Apaydin, J. Platte, K. Mossing, H2 Solutions in Airport Power Equipment, Groningen 2023, s. 117.

509 J. Trendowski, M. Held, FAA Vale and ZEV Grants, airports council.org, 16 sierpnia 2024 r.
510 Transport infrastructure: over EUR 424 million of EU funding to boost zero-emission mobility, cinec.europa.eu, 10 kwietnia 2024 r.
511 TULIPS, tulips-greenairports.eu.
512 Brussels Airport, VIL and DHL tested hydrogen technology for ground handling equipment, greendealstargate.eu, 26 czerwca 2024 r.
513 OLGA, olga-project.eu.
514 Electrifying airport ground fleets: Challenges & solutions, volteum.io, 9 października 2024 r.
515 Tugs, tractors and belt loaders nearly all electric at two Delta hubs, news.delta.com, 20 kwietnia 2023 r.
516 Airport invests in electric ground power units, cologne-bonn-airport.com, 26 września 2024 r.
517 DHL Express electrifies a third of ground fleet at Brussels Airport, groundhandlinginternational.com, 19 czerwca 2024 r.
518 Vienna Airport achieves Level 3+ Neutrality, airportcarbonaccreditation.org, 10 stycznia 2025 r.

damie, czy Brukseli dowodzą, że technologie wodorowe mogą funkcjonować w środowisku lotniskowym, jeśli tylko zostaną odpowiednio przetestowane i wdrożone⁵²⁴.

Testy wodorowych pojazdów i urządzeń GSE

W ramach projektu Acorn, prowadzonego przez easyJet i wspieranego przez Cranfield University oraz szereg partnerów branżowych, w 2024 r. zrealizowano pierwsze w Wielkiej Brytanii próbné tankowanie wodorem pojazdu GSE na terenie dużego portu lotniczego – Bristol Airport. W jego ramach wodór został użyty do zasilania ciągnika bagażowego GH2 Baggage Tractor. Testy rozpoczęły się od prób naziemnych na terenie Cranfield University, po czym przeniesiono działania do portu lotniczego w Bristolu. Wodór był magazynowany w zbiornikach i przetwarzany do ciągnika bagażowego przez mobilną stację tankowania hyQube. Proces tankowania był zautomatyzowany i trwał około 3 minut, zapewniając 2–3 h pracy pojazdu⁵²⁵.



Podobne działania zrealizowano w 2024 r. również w porcie lotniczym w Exeter, gdzie w ramach projektu Zero Carbon Turn testowano trzy typy GSE zasilanego wodorem: GPU (hybrydowy system H2–diesel), ciągnik pushback (silnik na wodór) i ciągnik bagażowy (ogniwo paliwowe)⁵²⁶.

Także w 2024 r. w porcie lotniczym w Brukseli, w ramach projektu Stargate testowana była mobilna stacja tankowania wodorem oraz ciągnik z ogniwem paliwowym, wykorzystywany przez DHL. Projekt miał na celu zbadanie operacyjnych i proceduralnych aspektów wdrożenia wodoru w środowisku lotniskowym⁵²⁷.

Port lotniczy Schiphol w 2024 r., jako pierwszy na świecie, rozpoczął testy w pełni operacyjnego, wodorowego GPU. Projekt ten realizowany był we współpracy m.in. z KLM i firmami technologicznymi, w ramach unijnego programu TULIPS. H2–GPU to urządzenie zasilające samoloty energią elektryczną podczas postoju na płycie. W odróżnieniu od dotychczas stosowanych jednostek bateryjnych, które wymagają długiego ładowania i dostępu do sieci energetycznej, wodorowy GPU może być tankowany mobilnie w zaledwie kilka minut. To kluczowe udogodnienie w miejscach o ograniczonej infrastrukturze. Jednostka oferuje moc do 90 kVA i około 350 kWh użytecznej energii, co czyni ją ponad dwukrotnie bardziej wydajną od odpowiedników bateryjnych. Co więcej, korzysta wyłącznie z zielonego wodoru, produkowanego bez emisji CO₂⁵²⁸.

524 K. Allan, Exploring hydrogen fuel's potential for GSE, airport-technology.com, 24 lutego 2025 r.

525 Cranfield University part of ground-breaking airport hydrogen trial, cranfield.ac.uk, 11 kwietnia 2024 r.

526 T. May, UK: Exeter Airport to Trial Hydrogen Ground Support Equipment, airportindustry-news.com, 1 sierpnia 2024 r.

527 Brussels Airport launches H2 fuel pilot with mobile refueling station, hydrogeneurope.eu, 21 czerwca 2024 r.

528 Hydrogen GPU Developed by Delft Scale-up Tested at Schiphol, aviationpros.com, 5 sierpnia 2024 r.

Testowane są także rozwiązania w zakresie pojazdów GSE autonomicznych i półautonomicznych (mogących działać w trybie manualnym – z operatorem, jak i automatycznym, ale wciąż wymagającym nadzoru człowieka). Przede wszystkim chodzi o te eksploatowane przy transporcie bagażu, kontenerów lotniczych (Unit Load Device, ULD), czy czyszczeniu samolotów. Autonomizacja niesie za sobą korzyści w zakresie efektywności operacyjnej (precyzyjne zarządzanie flotą i eliminacja przestojów), redukcji kosztów (mniej pojazdów, niższe zużycie energii i paliwa), czy bezpieczeństwo pracy (ograniczenie ekspozycji ludzi na niebezpieczne warunki). Ma być także jedną z recept na radzenie sobie z globalnym deficytem siły roboczej – zamiast zastępować pracowników, technologia ma ich wspierać i odciążać w zadaniach powtarzalnych i obciążających fizycznie⁵²⁹.

W zakresie autonomicznych i półautonomicznych GSE realizowane są programy pilotażowe i testy. Brytyjska firma Aurigo International opracowała pojazd Auto-DollyTug – elektryczny i autonomiczny ciągnik bagażowy, realizujący również operacje platformy ULD. Przeszedł on ponad 2-letnie testy w porcie lotniczym Changi w Singapurze, gdzie realizował złożone manewry, transfer kontenerów bagażowych oraz operacje w bliskim sąsiedztwie samolotów⁵³⁰. Testowany był także w porcie lotniczym w Stuttgarcie, w ramach projektu Digital Testbed Air Cargo. Pojazd transportował tam kontenery cargo, rozpoznawał urządzenia załadunkowe, poruszał się w ruchu mieszanym (razem z innymi pojazdami i pieszymi), a także wykrywał przeszkody statyczne i dynamiczne⁵³¹. Aurigo opracowało też narzędzie Aut-Sim – cyfrowego bliźniaka (digital twin) portu lotniczego, symulującego operacje z udziałem autonomicznych pojazdów, pozwalającego na analizę efektywności i lokalizację potencjalnych punktów krytycznych. Wykorzystanie digital twin to pierwszy krok w czterostopniowej procedurze wdrażania autonomicznych pojazdów GSE realizowanej przez firmę⁵³². W kwietniu 2025 r. ciągnik Auto-DollyTug i Auto-Sim uzyskały walidację na Schiphol w Amsterdamie, co otwiera drogę do globalnej komercjalizacji tych rozwiązań⁵³³.

Inne projekty w zakresie autonomicznych GSE to m.in. współpraca firmy TractEasy z Changi i liniami Japan Airlines w porcie lotniczym Narita w Japonii. Komercjalizowany jest tam autonomiczny ciągnik EZTow, który już dziś obsługuje operacje bagażowe na wspomnianych portach lotniczych. Natomiast firma Westwell we współpracy z Hong Kong Air Cargo Terminals rozwija projekt autonomicznego ciągnika Q-Tractor P40. Po zakończeniu fazy testowej pojazdy te będą stopniowo zastępować tradycyjne traktory w operacjach transportu ULD między placem składowym a terminalem. Są one wyposażone w systemy globalnej nawigacji satelitarnej (GNSS), czujniki LiDAR oraz wielokierunkowe kamery i mogą samodzielnie sprzęgać i rozprzegać wózki transportowe. W styczniu 2025 r. na Hamad International Airport w Katarze rozpoczęto natomiast testy autonomicznego busa i ciągnika bagażowego formy Matar. Pojazdy wykorzystują zaawansowane systemy GPS, AI, inteligentne czynniki, LiDAR, monitoring w czasie rzeczywistym oraz automatyczne ładowanie. Testy prowadzone są we współpracy producenta m.in. z Qatar Aviation Services⁵³⁴. Natomiast firma Nordic Dino Robotics od lat oferuje zautomatyzowane roboty do czyszczenia zewnętrznych powierzchni samolotów. Obecnie ponad 100 takich jednostek różnej generacji działa

529 W. Hollowell, Autonomous GSE and the future of airside operations, airsideint.com, 28 listopada 2024 r.

530 Aurigo to introduce four new autonomous baggage handling vehicles at Changi Airport, payloadasia.com, 15 maja 2024 r.

531 Aurigo successfully trials autonomous technology at Stuttgart Airport to optimise baggage and cargo handling, futuretravelexperience.com, czerwiec 2024.

532 Making airport baggage and cargo operations autonomous, schiphol.nl.

533 Aurigo tech set for lift off after validation in Amsterdam, theengineer.co.uk, 11 kwietnia 2025 r.

534 T. Craig, Hamad trials autonomous vehicles, airportsinternational.com, 20 lutego 2025 r.

w Europie, Azji, Ameryce Północnej i na Bliskim Wschodzie. Automatyczne systemy myjące nie tylko skracają czas operacji, ale też redukują zużycie wody o nawet 84%⁵³⁵.

5.4 Innowacyjność w zakresie zarządzania zasobami ludzkimi oraz pozyskiwania i rozwoju pracowników

Transport lotniczy jest jednym z największych pracodawców na świecie, zapewniając 11,6 mln miejsc pracy bezpośrednio i 86,5 mln pośrednio. 609 tys. osób z tej pierwszej liczby to pracownicy operatorów lotniskowych, ok. 214 tys. – kontrolerzy lotów i kadra zarządzająca, 3,1 mln – zatrudnieni w liniach lotniczych (w tym obsługa naziemna i utrzymaniowa), 1,7 mln – osoby pracujące w przemyśle lotniczym cywilnym (inżynierowie i projektanci samolotów, silników i komponentów). Najwięcej, bo 6,9 mln osób to inne stanowiska związane z portami lotniczymi (zatrudnieni w handlu detalicznym, służbach celnych i imigracyjnych, spedycji i gastronomii czy wynajmiesamochodów)⁵³⁶. Szacuje się zazwyczaj, że pracownicy portów lotniczych to ok. 54–60% całości liczby osób zatrudnionych w lotnictwie⁵³⁷.

Współczesne porty lotnicze są zatem coraz częściej ogromnymi ekosystemami, zatrudniającymi dziesiątki tysięcy pracowników oraz zapewniających pracę dla setek tysięcy osób i podmiotów powiązanych z ich działalnością. Przykładowo, port lotniczy w Dubaju w 2023 r. miał 90 tys. pracowników, a kolejne 400 tys. osób znalazło zatrudnienie w biznesie okołolotniskowym. W przypadku londyńskiego Heathrow liczby te wynosiły odpowiednio 76 i 114 tys.⁵³⁸

Porty lotnicze muszą stawić czoła rosnącym wymaganiom związanym z zrównoważonym rozwojem środowiskowym i społeczną odpowiedzialnością, a także potrzebom ewoluującej, wielopokoleniowej siły roboczej. Szacuje się, iż każdy kolejny milion pasażerów przewiezionych przez linie lotnicze, generuje potrzebę zatrudnienia ok. 500 osób pracujących w obsłudze naziemnej i pokładowej⁵³⁹. Wprowadzanie nowych technologii, może przynieść korzyści, tworząc nowe możliwości kariery i wymagając innowacyjnego podejścia do zarządzania. Z drugiej strony, tworzy to nowe wyzwania związane z zapewnieniem odpowiednich warunków pracy. Dla obecnych i przyszłych generacji pracowników coraz bardziej istotne jest podkreślanie różnorodności, równości i inkluzji w miejscu pracy. Porty lotnicze muszą inwestować w rozwój talentów, angażować interesariuszy od wczesnych etapów oraz promować środowisko pracy, które sprzyja reprezentacji i zaangażowaniu różnych grup społecznych.

Jednym z głównych, najczęściej wymienianych wyzwań w zakresie HR, przed którymi stały w ostatnich latach porty lotnicze, były przemiany na rynku pracy, które np. w USA przybrały formę tzw. „Wielkiej Rezygnacji” (Great Resignation)⁵⁴⁰. Pandemia COVID-19 uwypukliła frustracje pracowników związane z warunkami pracy oraz brakiem odpowiedzialności społecznej i środowi-

skowej pracodawców. Prowadziło to do utraty doświadczonych pracowników i powstawania luk w wiedzy i umiejętnościach. Na to wszystko nałożył się szybki rozwój technologii, stawiający przed zatrudnionymi nowe wyzwania, związane z adaptacją i wdrażaniem innowacji.

W odpowiedzi na te wyzwania, porty lotnicze powinny wykorzystywać szanse na przededefiniowanie ról zawodowych i zwiększenie wartości dla pracowników. Kluczowe jest identyfikowanie i analizowanie ryzyk i barier związanych z zatrudnieniem, takich jak zagrożenia zdrowotne, warunki pracy oraz potencjalne wykluczenie i dyskryminacja, a także np. kwestie dotyczące dostępności portów lotniczych dla pracowników⁵⁴¹.

Trendy wpływające na zatrudnienie w portach lotniczych

Poniżej wskazano najczęściej diagnozowane trendy społeczne, gospodarcze, ekonomiczne i technologiczne, wpływające na stan zatrudnienia w portach lotniczych na całym świecie⁵⁴².

Transformacja technologiczna

Rola technologii, innowacji oraz systemów opartych na danych staje się coraz bardziej znacząca w biznesie lotniskowym. Sztuczna inteligencja, robotyka, automatyzacja oraz cyberbezpieczeństwo to kluczowe narzędzia, które mają znaczący wpływ na rozwój zasobów ludzkich w portach lotniczych. Dynamiczny rozwój technologii i zmiany związane z IV rewolucją przemysłową podwyższyły oczekiwania i standardy operacji lotniskowych, obsługi klienta oraz możliwości komercyjnych. Branża lotnicza powinna jednak wykorzystywać nowe technologie jako narzędzie wspierające pracowników, a nie zastępujące ich, stawiając na podejście skoncentrowane na człowieku⁵⁴³. Przewidywane pojawienie się nowych technologii napędowych w samolotach (SAF, wodór, wykorzystanie napędu elektrycznego czy paliw opartych na amoniaku) sprawi, iż potrzebne będą szersze umiejętności w zakresie utrzymania i bezpiecznego przechowywania różnych typów paliw⁵⁴⁴. Wśród innych trendów i innowacji technologicznych, których prognozowany wpływ na rynek pracy będzie znaczny, wymienia się także m.in. automatyzację zarządzania ruchem lotniczym, wirtualizację i wykorzystanie zdalnych wież kontroli ruchu lotniczego, zarządzanie ruchem bezzałogowym, inteligentne utrzymanie, poprawę Passenger Experience, wykorzystanie biometrii, czy autonomizację⁵⁴⁵.

⁵³⁵ E. Kelly, Autonomous GSE: The shape of things to come?, airportsinternational.com, 14 września 2024 r.

⁵³⁶ Employment, aviationbenefits.org, 2024.

⁵³⁷ The Evolution Of Airports – A Flight Path to 2050, op. cit., s. 9; The Evolution of the Airport Workforce, Airports Council International, 2022, s. 4.

⁵³⁸ J. Surette, How Many Employees Do Typical Major Air Hubs Have?, simpleflying.com, 11 czerwca 2023 r.

⁵³⁹ P. Roux, Making Airports Jobs Work: The Role of Human Resource Management, 6 grudnia 2024 r.

⁵⁴⁰ The ‘Great Resignation’ and how it affects the aviation ecosystem, internationalairportreview.com, 22 lipca 2022 r.

⁵⁴¹ D. Hobbs, C. Hosker, M. Warrilow, D. Cooney, S. Goodwin, Future Aviation Skills Strategy. Engagement Report – Skills needs in Aviation, Catapult Connected Places 2023, s. 26–27.

⁵⁴² Za: S. Abu Hmeidan, The Future of Airport Workforce, Airport International Group, grudzień 2022 r., s. 5–9; The Evolution of the Airport Workforce, Airports Council International, 2022, s. 5–12.

⁵⁴³ Building a Resilient Aviation Workforce, Airports Council International, Airport Services Association, 2024, s. 9–10.

⁵⁴⁴ D. Hobbs, C. Hosker, M. Warrilow, D. Cooney, S. Goodwin, Future ..., op. cit., s. 22–23.

⁵⁴⁵ Trends..., op. cit., s. 91.

Tabela 11. Przykładowe trendy i rozwiązania technologiczne mające wpływ na rynek pracy w sektorze lotniczym

Zarządzanie ruchem lotniczym (ATM)	Lotnictwo komercyjne	Operacje lotniskowe	Ruch RPAS (bezzałogowe statki powietrzne)
Automatyzacja – wdrażanie systemów wspomagających kontrolerów lotów (algoritmy AI przewidujące i optymalizujące trasy lotów).	Single Pilot Operation (SPO) – prowadzenie operacji lotniczych przez jednego pilota (systemy automatyzacji, AI i wsparcia naziemnego).	Inteligentne utrzymanie – wykorzystanie technologii predykcyjnej opartej na AI i analizie Big Data, przewidywanie usterek i optymalizacja działań serwisowych.	Automatyzacja – w odniesieniu do kluczowych procesów w operacjach dronowych (nawigacja, wykrywanie i omijanie przeszkód, zarządzanie lotami), co zmniejsza potrzebę interwencji operatora.
Wirtualizacja i zdalne wieże kontroli lotów – wykorzystanie zaawansowanych kamer, sensorów i systemów przetwarzania danych.	Łączność kokpitu – stała wymiana danych między samolotem a naziemnymi centrami operacyjnymi, lepsze zarządzanie lotem, diagnostyka techniczna w czasie rzeczywistym i optymalizacja tras.	Poprawa Passenger Experience – wdrażania aplikacji mobilnych, systemów informacyjnych, autonomicznych pojazdów, usług personalizowanych itd.	Autonomizacja funkcji – wdrażanie technologii umożliwiających większą samodzielność dronów (systemy autonomicznego startu, lądowania i planowania tras).
Zarządzanie ruchem bezzałogowym – geofencing, dynamiczne planowanie tras, automatyczna koordynacja lotów dronów.	Interoperacyjność w ruchu mieszanym – bezpieczne współdziałanie różnych typów statków powietrznych w tej samej przestrzeni powietrznej dzięki nowoczesnym systemom zarządzania ruchem lotniczym.	Biometria i bezproblemowa kontrola bezpieczeństwa – zastosowanie systemów rozpoznawania twarzy, skanowania tęczówki i innych technologii biometrycznych dla eliminacji manualnej weryfikacji dokumentów.	UTM i U-SPACE – systemy zarządzania ruchem dronów i europejska inicjatywa, umożliwiające integrację bezzałogowych statków powietrznych z kontrolowaną przestrzenią powietrzną poprzez cyfrową koordynację lotów, dynamiczne monitorowanie i geofencing.

Źródło: Skill-UP, za: Trends, challenges and opportunities in the EU transport labour market, Parlament Europejski, luty 2024, s. 91.

Z drugiej strony, szybkie wdrażanie zaawansowanych technologii i systemów automatyzacji w portach lotniczych może prowadzić do znacznego niedopasowania zasobów lub braku wykwalifikowanej siły roboczej zdolnej do wykonywania przypisanych zadań i przyszłych obowiązków. Jednak odpowiednie szkolenia z zakresu wykorzystania technologii mogą służyć pracownikom, zgodnie z celami zrównoważonego rozwoju (Sustainable Development Goals, SDGs). W teorii, decyzje oparte na danych oraz zautomatyzowane procesy, takie jak systemy obsługi bagażu i monitorowanie terminali, powinny zoptymalizować przepływ pracy i zwiększyć produktywność. Z drugiej strony, istnieją przewidywania mówiące o tym, że do 2050 r. roboty i automatyzacja przejmą większość obecnych ról w portach lotniczych – zastępując pracowników w restauracjach, barach i innych częściach hali odlotów. Rola ludzi mogłaby wówczas zostać ograniczona do obszarów, w których mogą oni dostarczyć największą wartość – umiejętności miękkich⁵⁴⁶. Pozwoliłoby to pracownikom na skupienie się na działaniach wymagających przede wszystkim ludzkiej kreatywności i empatii.

546 The Evolution Of Airports – A Flight Path to 2050, op. cit., s. 30.

Port lotniczy w Hongkongu: autonomiczne roboty czyszczące a dobrostan pracowników



Źródło: Airport Authority Hong Kong

Pandemia COVID-19 zwróciła szczególną uwagę na higienę, co wiosną 2020 r. skłoniło władze portu lotniczego Hong Kong International Airport (HKIA) do zapewnienia całodobowej sterylizacji wszystkich obiektów lotniskowych. Wzmocniono środki zapobiegawcze, takie jak czyszczenie i dezynfekcja często dotykanych powierzchni, np. schodów ruchomych i chodników, ograniczono pojemność wind oraz zwiększono dostępność środków dezynfekujących na bazie alkoholu. Stanowiło to wyzwanie również dla personelu portu lotniczego – nie tylko w kontekście konieczności uniknięcia zakażeń wirusem, ale także ograniczenia ryzyka wypalenia zawodowego wśród pracowników odpowiedzialnych za utrzymanie czystości. Władze portu lotniczego dostrzegły znaczenie zatrudnienia autonomicznych robotów czyszczących do wsparcia operacji sprzątania. W lotniskowych obszarach publicznych, takich jak strefy gastronomiczne i toalety, wdrożono 5 autonomicznych odkurzaczy Whiz oraz inteligentne roboty sterylizujące (ISR, wykorzystujące światło ultrafioletowe i sterylizatory powietrza). Pozwoliło to personelowi sprzątającemu skupić się na bardziej specyficznych zadaniach związanych z obsługą klienta oraz krytycznych zadaniach czyszczenia i dezynfekcji, poprawiając poziom zadowolenia klientów, a także zmniejszając stres i obciążenie pracą oraz minimalizując ryzyko zdrowotne dla pracowników portu lotniczego⁵⁴⁷.

W zarządzaniu zasobami ludzkimi (HR) coraz częściej wykorzystuje się narzędzia cyfrowe. Odchodzi się od tradycyjnych rozwiązań, na rzecz np. oprogramowania do planowania grafiku prac oraz aplikacje mobilne umożliwiające komunikację z pracownikami. Towarzyszy temu wykorzystanie cyfrowych narzędzi do zarządzania efektywnością pracy zatrudnionych osób.

Port lotniczy w Manchesterze: cyfrowe narzędzia zarządzania pracą i szkoleniami

W ostatnich latach, szczególnie po wybuchu pandemii, port lotniczy w Manchesterze zintensyfikował wdrażanie cyfrowych narzędzi, które wpływają na poprawę efektywności zarządzania personelem oraz operacjami. Zmiany te miały szczególne znaczenie w kontekście obsługi płyty lotniskowej, monitorowania efektywności pracy oraz wdrażania szkoleń online. Przed pandemią pracownicy portu lotniczego otrzymywali fizyczne dokumenty, znane jako Mayfly, które szczegółowo przedstawiały ich dzienne harmonogramy pracy. Przydział obowiązków dokonywał koordynator przydziału pracy (ang. allocator), który ręcznie planował zadania dla personelu. Zmiany te były czasochłonne i mniej elastyczne, co utrudniało szybkie dostosowanie się do zmieniających się warunków operacyjnych. Jednakże później Manchester Airport przeszło na system elektroniczny, umożliwiający pracownikom odbieranie harmonogramów pracy bezpośrednio na ich urządzenia

547 S. Asaf, Hong Kong Airport is using virus-killing robots to disinfect public areas, BusinessTraveller.com, 5 kwietnia 2020 r.

mobilne poprzez dedykowaną aplikację firmową. Zredukowano dzięki temu rolę koordynatora przydziału pracy, a cały proces stał się bardziej zautomatyzowany. Chociaż zmiana ta pozwoliła na większą efektywność operacyjną, miała również negatywne skutki, takie jak wyeliminowanie tradycyjnej roli allocatora, co wpłynęło na dynamikę pracy w zespole.

Zgodnie z nowymi wymaganiami i trendami rynkowymi, port lotniczy w Manchesterze zwiększył również wykorzystanie narzędzi cyfrowych do monitorowania wydajności pracowników. Zastosowanie systemu SMART, który rejestruje dane dotyczące sposobu wykonania pracy na płycie lotniskowej, stało się integralnym elementem zarządzania personelem. System ten zbiera informacje o jakości pracy, które są później wykorzystywane do oceny efektywności oraz do monitorowania wydajności pracowników. W przypadku, gdy pracownik otrzyma trzy uwagi dotyczące uchybień w ciągu miesiąca, system automatycznie uruchamia proces dyscyplinarny. To rozwiązanie pozwala na szybsze reagowanie na problemy oraz utrzymanie wysokich standardów operacyjnych. Jednak wprowadzenie takiej technologii budzi również pewne kontrowersje, jako że pracownicy mogą poczuć się w zbyt dużym stopniu nadzorowani, co może wpływać na ich morale.

Również proces szkoleń przeszedł znaczącą transformację. Przed pandemią pracownicy uczestniczyli w corocznych szkoleniach, które prowadził instruktor osobiście w sali szkoleniowej. Po wprowadzeniu e-learningu, pracownicy są zobowiązani do ukończenia kursów online, które dostarczane są na ich urządzenia mobilne⁵⁴⁸.

Społeczna odpowiedzialność i zrównoważony rozwój środowiskowy

Porty lotnicze powinny bardziej angażować się w działania na rzecz lokalnych społeczności i środowiska. Wykorzystanie zasobów organizacji oraz wdrażanie polityk zgodnych z celami zrównoważonego rozwoju może poprawić sytuację otoczenia portów lotniczych, zaangażować pracowników i podnieść ich morale. W efekcie przyciągnie to talenty, zwiększy lojalność pracowników, poprawia produktywność oraz stworzy poczucie spełnienia, co ostatecznie pozytywnie wpływa na wyniki finansowe portów lotniczych.

Dublin Airport: zaangażowanie w lokalną społeczność

Społeczna odpowiedzialność portu lotniczego w Dublinie przejawia się w licznych inicjatywach, które wspierają edukację, kulturę, sport oraz ochronę środowiska, tworząc trwałe i pozytywne relacje z sąsiadującymi miejscowościami. Jednym z najważniejszych elementów społecznego zaangażowania portu lotniczego jest Fundusz Społecznościowy, powołany w 2017 r. W ramach tego programu przez 25 lat przeznaczone zostanie 10 mln euro na rozwój lokalnych projektów. Każdego roku fundusz wspiera inicjatywy w obszarach takich jak ochrona środowiska, sport i rekreacja, integracja społeczna, zdrowie oraz dziedzictwo kulturowe. Dzięki temu finansowaniu, lokalne społeczności mogą realizować ważne dla siebie przedsięwzięcia, które nie tylko poprawiają jakość życia mieszkańców, ale także wzmacniają więzi społeczne. Dublin Airport aktywnie działa także w zakresie ochrony środowiska i współpracy z lokalnymi interesariuszami poprzez Dublin Airport Environmental Working Group (DAEWG). Grupa ta, działająca od 2004 r., zajmuje się monitoro-

waniem jakości powietrza, poziomu hałasu oraz rozwojem infrastruktury lotniskowej. W jej skład wchodzi przedstawiciele różnych społeczności z północnej części Dublina, reprezentanci portu lotniczego, Rady Hrabstwa Fingal oraz organizacji Air Nav Ireland. Spotkania grupy umożliwiają wymianę informacji i wspólne wypracowywanie rozwiązań minimalizujących wpływ ruchu lotniczego na okoliczne miejscowości.

Kolejną inicjatywą wzmacniającą dialog między portem lotniczym a społecznościami jest St. Margaret's Community Liaison Group (CLG). Grupa ta, utworzona w 2016 r., składa się z przedstawicieli lokalnej społeczności, władz portu lotniczego oraz Rady Hrabstwa Fingal. Celem jej działalności jest omawianie kwestii związanych z funkcjonowaniem portu lotniczego, planami jego rozwoju oraz ewentualnymi obawami mieszkańców. Spotkania odbywają się regularnie i umożliwiają otwartą oraz transparentną komunikację pomiędzy wszystkimi stronami.

Dublin Airport angażuje się także w działania informacyjne skierowane do mieszkańców. Jednym z kluczowych narzędzi komunikacji jest „Dublin Airport News” – biuletyn docierający do 50 tys. gospodarstw domowych w północnym Dublinie i części hrabstwa Meath. Zawiera on informacje o aktualnych projektach, planach rozwoju oraz inicjatywach realizowanych przez port lotniczy.

Dublin Airport zleca również niezależne badanie opinii publicznej – Local Community and Dublin Airport Sentiment Survey Report. Badanie to, przeprowadzane co 2 lata, umożliwia portowi lotniczemu poznanie oczekiwań i uwag lokalnych społeczności dotyczących działalności portu lotniczego. Uzyskane wyniki są analizowane, a na ich podstawie wprowadzane są usprawnienia w różnych obszarach funkcjonowania, takich jak zrównoważony rozwój, dostępność infrastruktury czy kwestie ekonomiczne⁵⁴⁹.

Trendy demograficzne

Dzięki rozwiniętemu systemowi opieki zdrowotnej i postępowi technologicznemu, oczekiwana długość życia w społeczeństwach wysokorozwiniętych znacznie się poprawiła. Po raz pierwszy w historii, pięć pokoleń o różnych wartościach, zachowaniach i perspektywach tworzy obecnie globalną siłę roboczą – Tradycjoniści (ur. 1928–1945), Baby Boomers (ur. 1946–1964), Generacja X (ur. 1965–1980), Milenialsi (ur. 1981–1996) oraz Generacja Z (ur. 1997–2010). Zgodnie z danymi ONZ i MOP, pokolenie Milenialsów stanowi największą część obecnej siły roboczej, a do 2034 r. 80% będzie składała się z Milenialsów, Generacji Z oraz nowej Generacji Alfa (ur. po 2010 r.)⁵⁵⁰. Co więcej, z danych publikowanych przez Korn Ferry i Gallupa wynika, że np. w USA Milenialsi są najlepiej wyedukowaną w historii generacją, a niemal 50% przedstawicieli Generacji Z stanowią osoby multitietniczne. W przypadku tej ostatniej grupy, jej członkowie przez całe swoje dotychczasowe życie zawodowe stykają się już z pracą zdalną⁵⁵¹.

549 Community Engagement, dublinairport.com.

550 J. Truncale, Tomorrow's workforce changed yesterday – now what for businesses that want to be future-ready?, World Economic Forum, 17 stycznia 2025 r.

551 M. Walsh, New Kidz on the Block, kornferry.com, 31 stycznia 2022 r.

548 Technological Changes at Airports and Their Impact on Workers, International Transport Workers' Federation, lipiec 2024, s. 16.

Tabela 12. Charakterystyka grup pokoleniowych w kontekście pracy

Tradycjoniści	Baby Boomers	Generacja X	Milenialsi	Generacja Z
ur. 1928–1945	ur. 1946–1964	ur. 1965–1980	ur. 1981–1996	ur. 1997–2010
Niezawodni, bezpośredni, lojalni.	Optymistyczni, lubiący konkurować, ambitni, zorientowani na pracę zespołową.	Elastyczni, nieformalni, sceptyczni i niezależni.	Lubiący konkurować, otwarci, zorientowani na osiągnięcia.	Wykazujący „globalne” spojrzenie, przedsiębiorczy, progresywni, mniej skoncentrowani.

Źródło: Generational Differences in the Workplace, purdueglobal.edu.

Wciąż jednak młode pokolenia nie są w proporcjonalnym stopniu reprezentowane pośród pracowników sektora lotniczego. Zgodnie z danymi przedstawionymi w 2024 r. przez Komisję Transportu i Turystyki Parlamentu Europejskiego (TRAN Committee), od 2010 r. liczba osób w wieku 40–64 lat, zatrudnionych w komercyjnym transporcie lotniczym, jest wciąż większa niż tych należących do grupy liczącej 15–39 lat⁵⁵².

Wyzwania, przed którymi stoją porty lotnicze w obliczu zachodzących i prognozowanych zmian demograficznych, obejmują potrzebę stworzenia zrównoważonego i harmonijnego środowiska pracy, które będzie w stanie pomieścić różne grupy pokoleniowe, a także sprawnego analizowania i poruszania się po niezwykle konkurencyjnym rynku pracy w poszukiwaniu talentów oraz zapewnienia większej elastyczności zatrudnienia. Dodatkowo, istotne jest podkreślenie różnorodności, przejrzystości, sprawiedliwości i kultury w organizacji.

Wzrost różnorodności kulturowej i społecznej

Różnorodność kulturowa społeczeństw pogłębiana jest dodatkowo przez migracje o różnym podłożu – ekonomicznym lub geopolitycznym. Stają się one także coraz bardziej zróżnicowane jeśli chodzi o różnego rodzaju mniejszości (seksualne, ekonomiczne, wiekowe). Z tego względu niezbędne jest prowadzenie polityki zatrudnienia i bieżącego zarządzania pracą uwzględniającej różnorodność, równość i inkluzywność (Diversity, Equity, Inclusion – DEI). Pod tymi sformułowaniami kryje się:

- **Różnorodność** – zatrudnianie osób o różnej charakterystyce, włączając w to: płeć, orientację seksualną, status socjoekonomiczny, doświadczenie, kognitywną i kulturową odmienność;
- **Równość** – zapewnianie równego dostępu do szans i możliwości awansu dla wszystkich pracowników, uwzględniając ich indywidualne potrzeby, a także dostosowanie praktyk i polityk organizacji w tym kierunku;
- **Inkluzywność** – zapewnienie wszystkim pracownikom szansy na wniesienie wkładu w kulturę organizacji i wyniki biznesowe, zapewniając, że pracownicy o różnych głosach i poglądach czują się docenieni, wzmocnieni i włączeni.

Zwiększanie różnorodności jest więc często określane jako klucz do zatrudniania wystarczającej liczby pracowników portów lotniczych⁵⁵³, zwłaszcza w kontekście zachęt kobiet do podejmowania zawodów dotychczas uznawanych za typowo męskie. Tym bardziej, że wg Eurostatu, proporcje

mężczyzn i kobiet zatrudnionych w sektorze lotniczym od 2010 r. zmieniają się jedynie w niewielkim stopniu (ok. 60% mężczyźni, 40% – kobiety)⁵⁵⁴.

Praca hybrydowa i zdalna

Zwiększone globalne znaczenie pracy hybrydowej i zdalnej jest pokłosiem pandemii COVID-19. Choć jej trwały wpływ na formułę pracy okazał się mniejszy, niż pierwotnie zakładano, porty lotnicze zmuszone są dostosowywać swoje strategie zatrudnienia, tak aby spełniać oczekiwania osób zaliczanych do Milenialsów i Generacji Z. Choć dążenie do równowagi pomiędzy pracą zdalną a stacjonarną jest sposobem na otwieranie nowych możliwości kariery i innowacyjnym podejściem do zarządzania zorientowanego na wynik, to w przypadku zatrudnienia w sektorze lotniczym, w tym lotniskowym, możliwość zastosowania pracy hybrydowej i zdalnej jest ograniczona. Istotne jest więc jasne określanie i przekazywanie pracownikom, zwłaszcza tych będących przedstawicielami wspomnianych generacji, dlaczego ich fizyczna obecność w pracy jest niezbędna.

Ewolucja potrzeb i oczekiwań pracowników

Pandemia oraz wywołany przez nią kryzys ekonomiczny i społeczny unaocznili oraz uwypuklili kluczowe czynniki powodujące frustrację i rozzarowanie pracowników. Z tego powodu do osób zwalnianych z obiektywnych przesłanek ekonomicznych, dołączyły osoby dobrowolnie rezygnujące z pracy. Wśród najczęściej przywoływanych przesłanek takiego zachowania są: brak możliwości rozwoju kariery, nierealistyczne oczekiwania dotyczące wydajności, brak umiejętności kadry zarządczej, niskie wynagrodzenie, deficyty komunikacyjne, brak docenienia czy wypalenie zawodowe. Dlatego też w nowej rzeczywistości społecznej i ekonomicznej konieczne stało się przywiązywanie większej wagi do satysfakcji i dobrostanu pracowników, wspieranie ich kreatywności i innowacyjności, angażowanie oraz włączanie we wszystkie aspekty działalności organizacji, budowanie poczucia przynależności, zajmowanie się przez pracodawcę kwestiami nierówności, a także zwalczanie niesprawiedliwości oraz wykazywanie dbałości o zdrowie psychiczne zatrudnionych osób.

Heathrow: strategia „people-first”

W odpowiedzi na wyzwania związane z pandemią COVID-19, władze portu lotniczego Heathrow wprowadziły szereg kluczowych działań, które miały na celu nie tylko przetrwanie kryzysu, ale i dalszy rozwój organizacji. Główne elementy tej strategii obejmowały skuteczną komunikację, wsparcie dla pracowników oraz dbałość o ich dobrostan psychiczny. Podczas początkowego okresu pandemii, Heathrow zmagало się z ogromnym spadkiem liczby pasażerów i stratami finansowymi. W odpowiedzi, zarząd portu lotniczego wprowadził nowy model operacyjny, który obejmował redukcję zatrudnienia o 30%, harmonizację warunków płacowych oraz maksymalne wykorzystanie programów pomocowych. Wdrożenie cotygodniowych spotkań informacyjnych dla wszystkich pracowników pozwoliło na utrzymanie transparentności, budowanie zaufania i pewności wśród załogi. Poza aspektem organizacyjnym, szczególną uwagę zwrócono na zdrowie psychiczne pracowników. W odpowiedzi na rosnące problemy z dobrostanem, wprowadzono program „mental fitness”, który obejmował m.in. tworzenie narzędzi do samodzielnej oceny sta-

552 Trends, challenges and opportunities in the EU transport labour market, Parlament Europejski, luty 2024, s. 35.
553 S. Wandelt, K. Wang, Towards solving the airport ground workforce dilemma: A literature review on hiring, scheduling, retention, and digitalization in the airport industry, [w:] „Journal of the Air Transport Research Society”, vol. 2, czerwiec 2024 r., s. 5.

554 Trends..., op. cit., s. 35.

nu emocjonalnego oraz szkolenie liderów w zakresie rozpoznawania pierwszych objawów wypalenia zawodowego. Ponadto, pojawiły się inicjatywy wspierające pracowników w radzeniu sobie ze stresem, takie jak dostęp do usług doradczych i wsparcie ze strony specjalistów. Równocześnie, w odpowiedzi na rosnące znaczenie równości i różnorodności (DEI), Heathrow zadeklarowało cel zwiększenia do 2025 r. reprezentacji mniejszości na poziomie kierowniczym. Kluczowym elementem w tym zakresie było monitorowanie postępów oraz wdrażanie polityki inkluzyjnej, która zapewniała, że wszyscy pracownicy czuli się zaangażowani i doceniani. Zmieniająca się rzeczywistość wymusiła na Heathrow także przyspieszoną transformację cyfrową. Wprowadzenie platformy szkoleniowej online oraz systemów ERP pozwoliło na lepsze zarządzanie danymi i usprawnienie procesów rekrutacyjnych. W przyszłości, HR w Heathrow będzie musiało skupić się na dalszej cyfryzacji oraz przygotowaniu pracowników do pracy w środowisku zdominowanym przez automatyzację i sztuczną inteligencję. Strategia zatrudnienia Heathrow opiera się więc na trzech filarach: elastyczności, wspieraniu zdrowia psychicznego i promowaniu różnorodności. Skuteczne zarządzanie w czasach kryzysu oraz dbałość o ludzi stały się fundamentami, które pozwoliły Heathrow na odzyskanie stabilności i dalszy rozwój po pandemii⁵⁵⁵.

Działania w zakresie podwyższania poziomu zadowolenia z pracy mogą opierać się na dwuczynnikowej teorii Herzberga, zakładającej dwie grupy czynników motywacyjnych pracowników: higieny i motywatorów. Mogą to być odpowiednio: poprawa w zakresie posiłków, sanitariatów i warunków pracy, podwyżki płac i benefity pozapłacowe (higiena) oraz budowa kultury pracy, dbałość o rozwój pracowników, zaspokajanie potrzeby docenienia (motywatory)⁵⁵⁶.

Employee Experience

Opisane powyżej trendy sprawiają, iż coraz większego znaczenia nabierać będzie zapewnianie pracownikom portów lotniczych dobrostanu i satysfakcji, co jest kluczowe dla wykonywania przez nich pracy o wysokiej jakości i zapewnienia efektywności organizacyjnej. Stąd też pojawienie się terminu Employee Experience (EX), obejmującego m.in. skuteczne programy onboardingu, które szybko integrują nowych pracowników, utrzymywanie otwartej i szczerzej komunikacji dotyczącej ról, polityk i oczekiwań, oferowanie dopasowanych programów szkoleniowych i rozwoju kariery, oraz tworzenie pozytywnego i inkluzywnego środowiska pracy⁵⁵⁷. Umożliwia to prowadzenie polityki mającej na celu przyciąganie i tzw. retencję pracowników⁵⁵⁸, czyli podejmowanie działań, które mają na celu nie tylko rekrutację nowych osób, ale także utrzymanie tych, którzy już są zatrudnieni⁵⁵⁹. ACI wskazuje kluczowe elementy strategii pozyskiwania i zatrzymywania pracowników, takie jak: samoocena pracodawcy, odpowiednia komunikacja i promocja lotnictwa, poprawa warunków pracy (dostępność komunikacyjna portu lotniczego, zaplecze socjalne), utrzymywanie zaangażowania pracowników (stosowanie DEI, możliwości rozwojowe, wynagrodzenie i nagrody), szkolenie (możliwość zmiany ról zawodowych, jasne ścieżki kariery, planowanie sukcesji) oraz dialog społeczny⁵⁶⁰.

⁵⁵⁵ R. Farley, Human resources insights: Heathrow Airport's people-first strategy, hendrick.com, 10 stycznia 2022 r.

⁵⁵⁶ S. Higuchi, The Future of Airport Workforce, Narita Airport, 2024, s. 18–19.

⁵⁵⁷ Employee Experience (EX) Design in Airlines & Aviation: Examples & Case Studies, renaissance.io, 7 sierpnia 2024 r.

⁵⁵⁸ S. Wandelt, K. Wang, Towards..., s. 6–8.

⁵⁵⁹ A. Szakal, 8 Key Strategies on Attracting and Retaining Talent in the Airport Industry, blog.aci.aero, 13 października 2022 r.

⁵⁶⁰ Building a Resilient Aviation Workforce, op. cit., s. 15–26.

Powyższe ma znaczenie zwłaszcza w odniesieniu do pracowników obsługi naziemnej (handlingu) – praca ta często postrzegana jest jako mało atrakcyjna, mająca charakter tymczasowy i niepewny, wymagająca niskich kwalifikacji, organizowana w systemie zmianowym i często wykonywana w trudnych warunkach pogodowych⁵⁶¹. Wyzwaniem będzie zatem przyciąganie nowych i zatrzymywanie dotychczasowych pracowników, przy jednoczesnym świadczeniu usług przez firmy handlingowe po konkurencyjnych cenach, z uwzględnianiem potrzeb portów lotniczych w zakresie inwestycji w sprzęt dostosowujący infrastrukturę do wymogów ESG (redukcja emisji CO₂). Tym bardziej, że koszty operacyjne w handlingu to w 80% personel, a w 20% – zakup i eksploatacja sprzętu obsługi naziemnej (GSE)⁵⁶².

HKIA: Rozbudowana i wielowątkowa polityka HR

Port lotniczy w Hongkongu (HKIA) prowadzi niezwykle rozbudowaną politykę w zakresie zatrudnianych pracowników. Z jednej strony wdraża innowacyjne technologie, takie jak AI, robotyka i automatyzacja, aby zmniejszyć zależność od pracy manualnej. Jednocześnie prowadzi ukierunkowaną rekrutację oraz pozyskuje pracowników z regionu Greater Bay. Kierownictwo portu lotniczego realizuje politykę mającą na celu tworzenie wspierającej i inkluzywnej kultury, przyciągającej nowe talenty. Szkolenia w HKIA realizowane są w ramach trzech głównych kategorii: Szkolenia Ogólne i Menedżerskie (3-letnie, obejmujące mentoring z członkami wyższej kadry zarządzającej AAHK), Szkolenia Operacyjne i Techniczne (przygotowujące inżynierów do pracy z systemami krytycznymi) oraz Szkolenia w Zakresie Rozwoju Przywództwa (dla dotychczasowych i przyszłych liderów). Prowadzone są także letnie programy stażowe (7– i 8–tygodniowe) dla studentów lokalnych i zagranicznych uczelni.

HKIA i jego spółka zależna, Hong Kong International Aviation Academy (HKIAA), angażują się także w rozwój regionalnych talentów w przemyśle lotniczym, aby wzmocnić pozycję Hongkongu jako centrum szkoleniowego dla cywilnego lotnictwa. HKIAA oferuje szeroki program edukacyjny, który obejmuje kursy teoretyczne i praktyczne w zakresie lotnictwa, a także posiada prestiżowe akredytacje, takie jak status Centrum Szkoleniowego Doskonałości ICAO w ramach programu TRAINAIR PLUS. W 2023 r. Akademia uruchomiła też program dla kandydatów na pilotów, który zapewnia teoretyczne przygotowanie w Hongkongu oraz praktyczne szkolenie w USA. Po ukończeniu programu, uczestnicy zdobywają licencję pilota komercyjnego i mogą ubiegać się o pracę w liniach lotniczych współpracujących z Akademią, takich jak Hong Kong Airlines i Greater Bay Airlines.

HKIA organizuje też różnorodne wydarzenia, takie jak Targi Kariery, Dzień Kariery Młodzieży oraz specjalne dni dla kobiet, które promują dostępne oferty pracy w przemyśle lotniczym. Wydarzenia te mają na celu zwiększenie świadomości młodych ludzi o możliwościach kariery w lotnictwie oraz wspieranie równości płci w tym sektorze, oferując praktyki przyjazne rodzinie i uwzględniając doświadczenia kobiet pracujących w branży⁵⁶³.

⁵⁶¹ Trends..., op. cit., s. 36.

⁵⁶² Trends..., op. cit., s. 37.

⁵⁶³ Sustainability Report 2023/2024, Airport Authority Hong Kong, sierpień 2024 r.

Kompetencje przyszłości

Zmiany technologiczne i społeczne sprawią, iż zwiększać się będzie zapotrzebowanie na pracowników posiadających określone umiejętności (definiowane jako zdolności nabyte i wiedza), zdolności wrodzone (tzn. cechy potrzebne do osiągnięcia czegoś) oraz kompetencje (umiejętność zastosowania swoich umiejętności, zdolności i wiedzy). Wśród najczęściej wymienianych znajdują się⁵⁶⁴:

- **specjalistyczna wiedza techniczna** – kluczowa dla bezpiecznego i efektywnego funkcjonowania portu lotniczego. W przyszłości szczególnie ważne będą dwa rodzaje ekspertyzy: technologia informacyjna, która obejmuje pracowników odpowiedzialnych za tworzenie i utrzymanie systemów technologicznych oraz lotniskowych usług cyfrowych, a także wykwalifikowana wiedza techniczna w zakresie budowy i utrzymania infrastruktury fizycznej, takiej jak pasy startowe i budynki terminali. W miarę starzenia się społeczeństw i malejącej liczby młodych ludzi zainteresowanych zawodami technicznymi, przewidywane jest pogłębienie niedoboru wykwalifikowanych pracowników, co może mieć poważne konsekwencje dla branży lotniczej i szerzej – infrastrukturalnej. Natomiast rosnąca rola technologii i cyfrowa transformacja portów lotniczych będą wymagać ekspertów zdolnych do zarządzania złożonymi systemami ich zarządzania i obsługi. Niezbędne dla portów lotniczych jest zatem przyciąganie talentów o wykształceniu i kompetencjach w zakresie tzw. STEM, czyli: nauki, technologii, inżynierii i matematyki. Własne centra STEM posiadają m.in. porty lotnicze Londyn-Gatwick czy Edynburg.

- **rozwiązywanie problemów i znajdowanie rozwiązań** – kluczowe dla sprawnego funkcjonowania portu lotniczego w warunkach dynamicznych i nieprzewidywalnych sytuacji. Skuteczne rozwiązywanie problemów wymaga umiejętności identyfikowania i analizowania zagadnień, prowadzenia konstruktywnych dyskusji oraz wdrażania odpowiednich rozwiązań. Szczególnie istotna będzie zdolność do podejmowania decyzji w warunkach niepewności i złożoności, a także kreatywne podejście do poszukiwania nowych metod rozwiązania problemów, w tym testowanie różnych wariantów i szybkie reagowanie na zmieniające się okoliczności.

- **krytyczne myślenie i ocena** – kluczowe dla podejmowania trafnych decyzji oraz skutecznego działania w dynamicznym i złożonym środowisku portu lotniczego. Krytyczne myślenie obejmuje umiejętność logicznego rozumowania, racjonalnej refleksji i dokładnej analizy informacji. Pracownicy posiadający tę kompetencję potrafią zadawać właściwe pytania i unikać uproszczonej, binarnych decyzji. Zrozumienie związków przyczynowo-skutkowych pomaga im lepiej ocenić konsekwencje różnych scenariuszy i podejmować świadome wybory. W kontekście rosnącej niepewności w przyszłości, zdolność do krytycznej analizy pozwala na wprowadzanie porządku w złożonym środowisku i podejmowanie decyzji na podstawie rzetelnych danych oraz dowodów.

- **myślenie strategiczne i orientacja na przyszłość** – kluczowe dla długoterminowego rozwoju i skutecznego zarządzania portem lotniczym. Obejmuje zdolność do całościowego postrzegania jego działalności, rozumienia wzajemnych powiązań pomiędzy poszczególnymi elementami organizacji oraz wyznaczania kierunków działań prowadzących do realizacji przyszłych celów.

- **„zwinność”, elastyczność i wszechstronność** – kluczowe dla skutecznego funkcjonowania portu lotniczego w dynamicznie zmieniającym się środowisku. Obejmują zdolność do szybkiego reagowania i dostosowywania się do nowych okoliczności, priorytetów czy warunków operacyjnych. Przykłady tej umiejętności obejmują gotowość do zmiany sposobu myślenia, umiejętność kompromisu w obliczu nowych wymagań interesariuszy oraz podejmowanie nowych lub zmienionych obowiązków zawodowych.

- **biegłość cyfrowa** – umiejętność efektywnego korzystania z technologii i narzędzi cyfrowych w miejscu pracy. Pracownicy posiadający tę kompetencję rozumieją, jak technologie mogą upraszczać i automatyzować procesy, a także potrafią wybrać odpowiednie rozwiązania do realizacji celów organizacji.

- **zarządzanie zmianą** – polega na świadomym wyborze i realizacji strategii dostosowania się do zmian na poziomie indywidualnym, zespołowym, organizacyjnym lub branżowym. Umiejętność skutecznego zarządzania zmianą jest kluczowa dla utrzymania konkurencyjności portów lotniczych w przyszłości. Zmiany mogą powodować poczucie niepewności, dlatego pracownicy, którzy potrafią dobrze sobie z nią radzić, są bardziej odporni, proaktywni i mniej skłonni do przyjmowania postawy rezygnacji.

- **indywidualna odporność** – zdolność adaptacji i radzenia sobie z trudnymi sytuacjami oraz ciągłymi zmianami, z naciskiem na dbałość o zdrowie psychiczne. Osoby odporne szybciej reagują na zakłócenia, utrzymują dobrą równowagę emocjonalną i produktywność.

- **kluczowe zachowania przywódcze na wszystkich poziomach** – umiejętność kierowania i wpływania na innych, która jest istotna na każdym poziomie organizacji. W kontekście portów lotniczych przywództwo jest kluczowe dla zarządzania wymaganiami klientów, operacjami, finansami i społecznością, zwłaszcza w czasie szybkich zmian.

- **budowanie relacji interpersonalnych i międzyfunkcyjnych** – umiejętność świadomego nawiązywania kontaktów z innymi i angażowania się w ich rozwój. Wymaga ona skutecznej komunikacji i umiejętności słuchania. Relacje interpersonalne stanowią podstawę większości interakcji w pracy, zarówno w kontaktach bezpośrednich, jak i wirtualnych. Silne więzi między pracownikami oraz współpraca między funkcjami są więc kluczowe dla zjednoczenia kultury organizacyjnej portu lotniczego, osiągania wspólnych celów oraz integracji pracowników zdalnych i stacjonarnych.

- **wpływanie bez formalnej władzy** – umiejętność przekonywania innych, nad którymi nie ma się bezpośredniej lub formalnej władzy, oraz zdobywanie ich poparcia w celu osiągnięcia celu. Pracownicy, którzy ją posiadają, wykazują wysoki poziom inteligencji emocjonalnej oraz rozumienia działania organizacji. Kluczowe elementy wpływania bez formalnej władzy to umiejętność komunikacji w górę organizacji, efektywne negocjowanie, budowanie silnych relacji oraz osiąganie konsensusu.

⁵⁶⁴ Za: The Future of the Airport Workforce, 4QD Strategy Consulting dla ACI-NA, czerwiec 2022 r., s. 15–27.

Centra STEM portów lotniczych Londyn-Gatwick i Edynburg

Porty lotnicze w Edynburgu i Londynie-Gatwick otworzyły centra STEM, aby wspierać edukację w zakresie nauki, technologii, inżynierii i matematyki oraz inspirować młodzież do wyboru ścieżki kariery w tych dziedzinach. Inicjatywy te mają na celu rozwijanie umiejętności przyszłych pracowników oraz zmniejszenie luki kompetencyjnej w sektorze lotniczym.



Źródło: London Gatwick

Otwarte w październiku 2023 r. centrum STEM przy porcie lotniczym w Edynburgu może pomieścić całą klasę uczniów i oferuje sesje prowadzone przez wolontariuszy z różnych działów, w tym IT, inżynierii i analityki. Program obejmuje prezentację różnych zawodów związanych ze STEM, interaktywne eksperymenty oraz ćwiczenia logiczne i rozwiązywanie problemów. Projekt jest częścią strategii „Greater Good” sieci VINCI Airports, której celem jest wspieranie jakościowego zatrudnienia, szkoleń oraz rozwoju umiejętności. Inicjatywa koncentruje się również na zwiększeniu udziału kobiet w zawodach związanych z nauką i technologią⁵⁶⁵.

W marcu 2025 r. w porcie lotniczym Londyn-Gatwick otwarto nowoczesne centrum STEM, które rocznie może obsłużyć tysiące uczniów w wieku od 4 do 18 lat z południowo-wschodniej Anglii. Oferuje ono różnorodne aktywności praktyczne, takie jak laboratorium oczyszczania wody, budowanie mostów, eksperyment ze śrubą Archimedesesa oraz symulacja zmiany światła pasa startowego w określonym czasie. W centrum znajdują się również sale lekcyjne, tablety oraz przestrzenie dla uczniów ze specjalnymi potrzebami edukacyjnymi. Projekt ten wpisuje się w wieloletnie działania Londyn-Gatwick w zakresie edukacji STEM, z których w roku szkolnym 2022/2023 skorzystało ponad 70 tys. uczniów. Centrum STEM w Gatwick działa jako roczny pilotaż, który ma na celu ocenę zainteresowania i zebranie opinii uczniów oraz nauczycieli w celu dostosowania przyszłych działań edukacyjnych. Jest ono również częścią strategii zatrudnienia, umiejętności i biznesu portu lotniczego, której celem jest rozwój lokalnych talentów i zapewnienie stabilności rynku pracy. Inicjatywa ta jest powiązana z planem uruchomienia północnego pasa startowego, który ma poprawić wydajność operacyjną portu lotniczego, zmniejszyć opóźnienia i stworzyć nowe miejsca pracy⁵⁶⁶.

Trwające i nadchodzące zmiany technologiczne oznaczają więc wykształcenie się zapotrzebowania na nowe umiejętności oraz tworzenie i modyfikację dotychczasowych funkcji pełnionych w porcie lotniczym przez określonych pracowników. Zwiększy się zatem znaczenie kompetencji cyfrowych i w zakresie IT pracowników niemal wszystkich grup.

⁵⁶⁵ M. Taylor, Edinburgh Airport aims to support STEM careers with new centre, [deadlinenews.co.uk](https://www.deadlinenews.co.uk), 10 marca 2025 r.

⁵⁶⁶ London Gatwick opens brand new STEM centre to inspire local children and students to pursue airport-related careers, London Gatwick, 31 października 2023 r.

Upskilling i reskilling

Biorąc pod uwagę trendy wpływające na globalne, regionalne i lokalne rynki pracy, porty lotnicze zwiększać będą wykorzystanie dostępnych narzędzi w celu prowadzenia polityki rekrutacji i zarządzania zasobami ludzkimi adekwatnej dla obecnych i przyszłych wyzwań stojących przed sektorem. Kluczowymi działaniami są tutaj tzw. upskilling i reskilling. Upskilling jest procesem pogłębiania dotychczasowych kompetencji pracowników. Natomiast reskilling to proces nabywania nowych umiejętności, który pozwala na wykonywanie pracy w inny sposób niż dotychczas. Obejmuje on zarówno podejście techniczne, jak i technologiczne do nauki i rozwijania kompetencji. Liderzy w miejscu pracy stoją przed wyzwaniami związanymi z restrukturyzacją, zmianą projektowania oraz redefinicją ról, zadań i odpowiedzialności pracowników⁵⁶⁷.

Zakres reskillingu w branży lotniczej obejmuje m.in. dostosowanie pracowników do zmian wynikających np. z rozwoju automatyzacji i AI. Ta pierwsza wpłynie na powtarzalne zadania, takie jak odprawa biletowa, obsługa bagażu czy planowanie operacyjne, co wymusza przekwalifikowywanie personelu. Wzrasta natomiast zapotrzebowanie na specjalistów w dziedzinie AI, uczenia maszynowego i analizy danych. Kluczowe stają się również umiejętności związane z interakcją z klientem, kreatywnym rozwiązywaniem problemów oraz podejmowaniem strategicznych decyzji. Rola człowieka pozostaje istotna w monitorowaniu systemów AI, tak aby zapewnić ich bezpieczne i etyczne wykorzystanie⁵⁶⁸.

W zakresie upskillingu, porty lotnicze wykorzystują różne narzędzia i programy rozwoju. Część z nich powstała w wyniku współpracy całej branży, inne wymagają wdrażania kompetencji na poziomie poszczególnych portów lotniczych. Te pierwsze to np. globalne kursy i programy szkoleniowe organizowane przez ACI World (obejmujące obszary w zakresie: Passenger Experience, cyberbezpieczeństwa, ochrony środowiska, przywództwa i zarządzania, operacji technicznych, bezpieczeństwa itd.) lub programy akredytacyjne (ACI World: Airport Executive Leadership Program – AELP, Airport Management Professional Accreditation Program – AMPAP, Airport Safety Professional Designation Program – ASP; ACI North America – Airport Workforce Development Accreditation⁵⁶⁹).

Airport Workforce Development Accreditation

W lutym 2025 r. organizacja branżowa Airports Council International – North America (ACI-NA) uruchomiła program akredytacyjny dla portów lotniczych – Airport Workforce Development Accreditation, stanowiący nowy standard w zarządzaniu lotniskowymi zasobami ludzkimi. Oferuje on strukturalne, wielopoziomowe podejście do rozwoju pracowników, mające na celu podnoszenie kwalifikacji, zwiększanie zaangażowania oraz poprawę gotowości zawodowej. Dostarcza portom lotniczym i ich partnerom biznesowym strategiczne plany działania, który pozwalają im dostosowywać się do zmieniających się potrzeb rynku pracy. Program obejmuje pięć poziomów rozwoju. Pierwszy koncentruje się na podstawowych praktykach kadrowych oraz zwiększaniu

⁵⁶⁷ Więcej: K. O. Oladele, E. O. Lisoyi, I. I. Abe, Reskilling and Upskilling to Develop Global Relevance in the Fourth Industrial Revolution, [w:] Future of Work, Work-Family Satisfaction, and Employee Well-Being in the Fourth Industrial Revolution, styczeń 2021.

⁵⁶⁸ J. Brownlow, Reskilling for the AI era: How gen AI is changing the industry landscape, [worladaviationfestival.com](https://www.worladaviationfestival.com), 30 stycznia 2025 r.

⁵⁶⁹ Global airport training courses and programs, aci.aero.

świadomości na temat roli portu lotniczego w społeczności. Kolejne etapy zakładają dopasowanie szkoleń do indywidualnych potrzeb pracowników, rozwijanie kontaktów z otoczeniem oraz tworzenie ścieżek kariery dla przyszłych pracowników. W wyższych poziomach akredytacji porty lotnicze formalizują współpracę z instytucjami edukacyjnymi i partnerami branżowymi, aby realizować szeroko zakrojone inicjatywy rozwojowe. Ostatni etap oznacza osiągnięcie mierzalnych efektów w zakresie podnoszenia kwalifikacji kadry i wdrożenie strategii długoterminowej adaptacji do zmieniającego się rynku pracy.

W I edycji programu akredytację uzyskało 5 portów lotniczych w Ameryce Północnej. Toronto Pearson International Airport i Denver International Airport osiągnęły poziom 3, co oznacza zaawansowane działania w zakresie rozwoju kadry i współpracy ze społecznością. Natomiast Rapid City Regional Airport, Fort McMurray International Airport oraz San Francisco International Airport przystąpiły do programu na poziomie 1, dopiero rozpoczynając proces budowania długoterminowej strategii kadrowej⁵⁷⁰.

W latach 2020–2024 realizowano unijny program Skill-UP, finansowany przez Unię Europejską, który skupiał się na identyfikowaniu kompetencji kluczowych dla pracowników w sektorze lotniczym. W jego ramach opracowano m.in. mapę transformacji umiejętności, programy szkoleniowe, a także stworzono portfolio narzędzi oceny szkolenia oraz platformę centrum wiedzy. Program zaangażował szerokie grono interesariuszy, w tym dostawców usług transportowych, organy publiczne na poziomie krajowym i europejskim, firmy szkoleniowe, organy akredytacyjne, uniwersytety oraz instytuty badawcze⁵⁷¹.

Szkoląc pracowników we własnym zakresie, porty lotnicze najczęściej wykorzystują metody szkolenia i rozwijania umiejętności obejmujące zarówno tradycyjne zajęcia stacjonarne, jak i bardziej innowacyjne: naukę online w ustalonym czasie lub według indywidualnego harmonogramu, intensywne kursy tematyczne (tzw. boot campy) trwające zwykle od 1 do 3 dni, interaktywne sesje symulujące rzeczywiste sytuacje oraz szkolenia w miejscu pracy, gdzie umiejętności są zdobywane i stosowane w praktyce. Wraz z rozwojem sztucznej inteligencji i innych nowych technologii, porty lotnicze zyskują możliwość poszerzania tych metod. Szkolenia wspierane przez AI mogą dostosowywać się do tempa nauki pracownika i analizować, jak szybko przyswaja on wiedzę, co pozwala na efektywniejsze wykorzystanie czasu i eliminację niepotrzebnego powtarzania znanych już zagadnień.

Port lotniczy w Pradze: Talent Management Pool

Port lotniczy w Pradze wdrożył program Talent Management Pool, którego celem jest identyfikacja i rozwój młodych, utalentowanych pracowników z potencjałem do objęcia stanowisk kierowniczych lub eksperckich. Program trwa 15 miesięcy i obejmuje intensywny rozwój osobisty, prowadzony równolegle do codziennych obowiązków zawodowych. Każdego roku menedżerowie mogą zgłaszać wyróżniających się pracowników, którzy wykazują zdolności i zaangażowanie w branży lotniczej. Na początku programu uczestnicy przechodzą serię ocen, które pomagają im

⁵⁷⁰ S. Elmore, Airports Council Launches Strategic Workforce Development Accreditation, airports council.org, 6 lutego 2025 r.

⁵⁷¹ skillup-air.eu

lepiej zrozumieć swoje mocne i słabe strony oraz rozwijać kompetencje interpersonalne. Mają oni możliwość opracowania i wdrożenia własnych pomysłów na ulepszenie funkcjonowania portu lotniczego lub firmy, które prezentują przed najwyższym kierownictwem. Program umożliwia regularne spotkania, udział w wydarzeniach integracyjnych i pracy zespołowej, co sprzyja nawiązywaniu wartościowych kontaktów zawodowych. Przez 14 lat funkcjonowania objął on ponad 200 pracowników, z których wielu awansowało na stanowiska kierownicze lub objęło kluczowe role w strategicznych projektach. Program stał się skutecznym narzędziem budowania przyszłej kadry zarządzającej oraz wzmacniania kultury organizacyjnej praskiego portu lotniczego⁵⁷².

Większość wspomnianych programów dedykowanych jest jednak przede wszystkim potrzebom kadry zarządczej i managerów średniego szczebla. Tymczasem potrzeby w zakresie reskillingu i upskillingu dotyczą również personelu operacyjnego i technicznego (stanowiącego zazwyczaj 60–80% całości całej kadry portów lotniczych). Dlatego też wśród narzędzi i kluczowych działań, które w najbliższej przyszłości będą szerzej wykorzystywane przez porty lotnicze, niezależnie od ich wielkości i zasobów, wymieniane są⁵⁷³:

- **współpraca z instytucjami edukacyjnymi** – partnerstwo z uczelniami technicznymi i szkołami zawodowymi może pomóc w dostosowaniu nauczania praktycznych umiejętności do specyfiki pracy w portach lotniczych;
- **zmiana modeli praktyk zawodowych** – są one kluczowym narzędziem pozyskiwania wykwalifikowanych pracowników, a ich aktualizacja w oparciu o nowe potrzeby portów lotniczych zwiększa efektywność w przekazywaniu wiedzy;
- **tworzenie programów rozwoju umiejętności specyficznych dla portów lotniczych** – realizacja dedykowanych kursów dotyczących umiejętności niezbędnych do pracy w portach lotniczych. Istotne jest dostosowanie ich do różnych poziomów stanowisk, zwłaszcza dla pracowników na poziomie podstawowym.
- **upowszechnianie przykładów efektywnego wykorzystywania umiejętności w pracy** – większość praktycznej nauki odbywa się w trakcie pracy, porty lotnicze powinny więc udostępniać proste i łatwe do wdrożenia przykłady implementacji nabytych umiejętności w codziennej pracy;
- **rozwój dedykowanego doradztwa zawodowego / mentoringu** – pracownicy na podstawowym poziomie rozwoju stanowią istotną grupę do wprowadzenia nowych umiejętności. Dedykowany model doradztwa zawodowego lub mentoringu może wspierać ich rozwój i zmieniać podejście do pracy, szczególnie gdy ich nawyki zawodowe dopiero się kształtują.
- **skuteczna komunikacja w zakresie rozwoju kompetencji** – aktywna promocja rozwoju zawodowego pracowników przez liderów; kluczowa rola przekazywania zatrudnionym osobom informacji o znaczeniu rozwoju umiejętności.

Strategie zarządzania i rekrutacji

Wymienione powyżej tendencje i uwarunkowania pozwalają przewidywać, w jaki sposób będą kształtowały się strategie dotyczące zarządzania i rekrutacji personelu portów lotniczych na świecie (zarówno w odniesieniu do zewnętrznych i wewnętrznych potrzeb pracowników) oraz jakie

⁵⁷² L. Kurzweil, The evolution of the airport workforce: Turning challenges into opportunities, internationalairportreview.com, 15 marca 2023 r.

⁵⁷³ Za: The Future..., op. cit., s. 32–33.

zawody będą coraz częściej rozwijane. Poniżej przedstawiono jedną z koncepcji agregacji najczęściej pojawiających się prognoz w tym zakresie, bazującą m.in. na przejściu od zarządzania zasobami ludzkimi (Human Resources Management, HRM) do zarządzania rozwojem zasobów ludzkich (Human Resources Development, HRD)⁵⁷⁴.

Rysunek 14. Przykładowe elementy strategii HR portów lotniczych w odniesieniu do wewnętrznych i zewnętrznych potrzeb pracowników



Źródło: S. Noor, M. Barhan, A Research Paper On: The Future of Airport Workforce, Malaysia Airports Holdings Berhad 2022, s. 20.

Rozwijać się zatem będą zawody związane z nowoczesnymi technologiami, automatyzacją, analizą danych oraz zrównoważonym rozwojem. Zmniejszy się liczba pracowników wykonujących niskopłatne prace fizyczne, a wzrośnie zapotrzebowanie na wysoko wykwalifikowanych specjalistów obsługujących nowe technologie. Pojawią się nowe role w obszarach takich jak zarządzanie autonomicznymi systemami lotniskowymi, inżynieria elektromechaniczna, analiza danych i cyberbezpieczeństwo. Istotne będą także zawody związane z ekologią, zarządzaniem emisjami, bioróżnorodnością oraz modernizacją infrastruktury lotniskowej pod kątem zrównoważonego rozwoju. Wprowadzenie samolotów napędzanych wodorem oraz eVTOL-i stworzy nowe potrzeby w zakresie inżynierii lotniczej, zarządzania paliwami alternatywnymi, kriogeniki oraz bezpieczeństwa pożarowego. Zmiany dotkną również obsługę naziemną i kontrolę ruchu lotniczego, które będą wymagały nowych umiejętności dostosowanych do zmodernizowanej przestrzeni powietrznej oraz rosnącej roli systemów autonomicznych. Piloci i personel techniczny będą musieli zdobyć nowe kompetencje związane z zarządzaniem systemami sterującymi, bateriami i bezpieczeństwem elektrycznych samolotów. W efekcie porty lotnicze przekształcą się w ośrodki

zatrudniające bardziej wykwalifikowanych pracowników, a lokalne uczelnie i instytucje szkoleniowe będą musiały dostosować swoje programy edukacyjne do nowych wymagań sektora lotniczego⁵⁷⁵. Kluczowe staje się inwestowanie w szkolenia wewnętrzne i współpracę z ośrodkami edukacyjnymi, tak aby wypełnić luki kompetencyjne i dostosować programy do zmieniających się realiów technologicznych.

Analiza Connected Places Catapult z 2023 r. dotycząca potrzeb brytyjskiego sektora lotniczego w zakresie zasobów ludzkich wykazała luki w standardach praktyk zawodowych, co wymaga ich dostosowania do nowych technologii, takich jak paliwa alternatywne (wodór, samoloty elektryczne) czy RPAS (systemy bezzałogowych statków powietrznych). Aby przyciągnąć nowych pracowników, konieczne jest zwiększenie świadomości na temat zawodów lotniczych, zwłaszcza w regionach niezwiązanych tradycyjnie z lotnictwem. Automatyzacja umożliwia wykonywanie części zawodów zdalnie, co otwiera nowe możliwości zatrudnienia. Kluczowe jest budowanie relacji z lokalnymi uczelniami i placówkami szkoleniowymi, jednak rywalizacja o wykwalifikowanych trenerów i instruktorów może stanowić wyzwanie ze względu na rosnące koszty wynagrodzeń. Dokument wskazuje także na konieczność wdrożenia długoterminowych strategii promowania STEM oraz zwiększania różnorodności i integracji. Istotne jest śledzenie efektywności tych działań, np. poprzez analizę liczby zgłoszeń na praktyki zawodowe po udziale w programach edukacyjnych. Ważnym kierunkiem rozwoju są nowoczesne metody szkoleniowe oparte na rzeczywistości wirtualnej (VR), rozszerzonej (AR) i mieszanej (MR). Tego typu technologie mogą znaleźć zastosowanie w edukacji w obszarach o wysokim ryzyku, np. ratownictwie śmigłowcowym czy gaszeniu pożarów. Symulatory, szeroko stosowane w szkoleniu pilotów, mogą być wykorzystywane także w diagnostyce i naprawie sprzętu naziemnego⁵⁷⁶.

Należy jednak także zauważyć, iż choć intencją wprowadzania nowych technologii w miejscach pracy jest wykorzystanie ich wartości w celu umożliwiania pracownikom rozwijania nowych umiejętności oraz poprawy komunikacji, współpracy, zaufania i pracy zespołowej (w tym umożliwienia odejścia od struktur hierarchicznych), to jednak ma ona także ciemne strony. Wskazuje na to Międzynarodowa Federacja Pracowników (The International Transport Workers' Federation, ITF), która w 2024 r. w portach lotniczych w Manchesterze, Buenos Aires i Toronto zrealizowało badania pośród pracowników. Znaczna większość ankietowanych (72,7%) wskazała wówczas, że pracodawca wprowadził nowe technologie do monitorowania pracy personelu. Zgodnie z wynikami badania, dane gromadzone o pracownikach mają głównie służyć do tworzenia tabel wyników i wdrażania działań dyscyplinarnych (20,8%) oraz monitorowania wydajności pracowników (23,6%). Nasiliło to presję na osiągnięcie celów i unikanie błędów, co doprowadziło do powstania pośród części zatrudnionych poczucia pracy „jak w fabryce”. Zwiększone użycie skanerów ręcznych i kamer CCTV umożliwiło bardziej szczegółowe śledzenie błędów oraz wprowadzenie nieformalnej dyscypliny, prowadząc do poczucia ciągłej obserwacji i częstszych postępowań dyscyplinarnych za drobne wykroczenia. Pracownicy zgłaszali wzrost poziomu stresu, co negatywnie wpłynęło na ich morale i zwiększyło ich zdaniem ryzyko wypadków. Zmiana ta przyczyniła się więc do kulturowej transformacji z zespołowej atmosfery na bardziej hierarchiczną, w której dominują nacisk na indywidualne cele⁵⁷⁷.

575 D. Hobbs, C. Hosker, M. Warrillow, D. Cooney, S. Goodwin, Future..., op. cit., s. 32–38.

576 Tamże.

577 Technological Changes at Airports and Their Impact on Workers, International Transport Workers' Federation, lipiec 2024, passim.

5.5 Passenger Experience – podróż płynna, bezpieczna i spersonalizowana

Passenger Experience (PX) w transporcie lotniczym to całokształt wrażeń, emocji i ocen, jakie pasażer odczuwa lub generuje na wszystkich etapach swojej podróży lotniczej — od planowania i rezerwacji biletu, przez odprawę, kontrolę bezpieczeństwa, pobyt na terenie terminalu, lot, aż po odbiór bagażu, opuszczenie docelowego portu lotniczego, a nawet po dotarcie do finalnej destynacji. Pojęcie definiuje to, jak pasażerowie postrzegają efektywność, wygodę czy bezpieczeństwo podróży definiowanej od momentu planowania, do dotarcia do celu podróży. Dla podmiotów zaangażowanych w funkcjonowanie branży lotniczej, w tym dla portów lotniczych, PX powinno być punktem odniesienia w planowaniu działalności. Zmiany zachodzące w obecnej dekadzie, w założeniu których centrum transakcji ma być klient, czyli pasażer, a system ma mu umożliwić pełną customizację podróży, sprawią, iż funkcjonowanie branży lotniczej zostanie zreorganizowane w sposób przystający do oczekiwań pasażerów. Tym ostatnim nie zależy już bowiem tylko na wykorzystaniu środka transportu, który umożliwi im przebycie dystansu z punktu A do punktu B. Teraz klienci zgłaszają więcej życzeń, potrzeb i oczekiwań, niż tylko chęć przemieszczenia się.

Wyniki badań IATA Global Passenger Survey 2024 przeprowadzonych na ponad 10 tys. pasażerów pochodzących z ok. 200 krajów pokazują, że pasażerowie w coraz większym stopniu oczekują wygody, szybkości obsługi oraz spersonalizowanych, cyfrowych doświadczeń podczas podróży. Wśród priorytetów znajduje się m.in. sprawny proces odprawy, dostęp do programów zaufanego podróżnego oraz wykorzystanie biometrii, której użycie preferuje już 75% respondentów – choć połowa wciąż ma obawy o prywatność danych. Ponadto większość pasażerów planuje i opłaca podróże online, często korzystając z aplikacji linii lotniczych i cyfrowych portfeli⁵⁷⁸.

Offers & Orders

W 2021 r. IATA zaprezentowała⁵⁷⁹ ambitną wizję transformacji sposobu, w jaki linie lotnicze prowadzą sprzedaż produktów i usług. Głównym celem jest całkowita zmiana obecnego modelu dystrybucji – wykorzystującego przestarzałe standardy – na bardziej nowoczesny, klientocentryczny ekosystem oparty na cyfrowych ofertach (Offers) i zamówieniach (Orders). Offers & Orders to nowoczesny model sprzedaży detalicznej, który poza postawieniem klienta w centrum uwagi, umożliwi personalizację oferty i uproszczenie procesów operacyjnych. Dotychczasowe innowacje polegały głównie na digitalizacji procesów papierowych, bez gruntownej zmiany logiki biznesowej. IATA podkreśla, że inne branże – np. e-commerce – dużo szybciej zaadaptowały nowoczesne podejście do sprzedaży i obsługi klienta. Linie lotnicze muszą więc dogonić ten trend, szczególnie że oczekiwania klientów uległy drastycznej zmianie: dziś liczy się personalizacja, wygoda i płynność obsługi.

Koncepcja Offers & Orders zakłada, iż sposób prezentowania, konfigurowania i realizacji usług lotniczych musi zostać zredefiniowany w zakresie:

- **Offer** – elastyczna, dostosowana do kontekstu oferta (np. cena, produkt, warunki) tworzona

w czasie rzeczywistym na podstawie profilu klienta;

- **Order** – kompletna rejestracja zakupu, zawierająca wszystkie elementy podróży (bilety, usługi dodatkowe, płatności), która zastępuje obecnie stosowane systemy i dokumenty, takie jak: PNR, ET (Electronic Ticket), EMD (Electronic Miscellaneous Document).

Z punktu widzenia pasażera, zmiany te oznaczać będą lepsze dopasowanie usług do jego potrzeb, m.in.: personalizowanie oferty (biznes/leisure), dostosowanie metody płatności, przechowywanie informacji o całej podróży w jednym miejscu (Order jako pojedynczy zapis), uproszczona obsługa zmian i zakłóceń. Dzięki cyfrowej tożsamości podróżnego, każdy aspekt podróży będzie mógł być powiązany z jego profilem i preferencjami. Pozwoli to na jeszcze głębszą personalizację i automatyzację.

Wdrożenie nowego modelu wymaga modernizacji systemów PSS (Passenger Service System), eliminacji przestarzałych standardów oraz stworzenia elastycznych, interoperacyjnych platform IT. Kluczowe funkcjonalności to: dynamiczne zarządzanie ofertami, integracja systemów płatności i operacyjnych, czy modularność pozwalająca na łatwe dostosowanie do potrzeb poszczególnych linii. Natomiast sam proces obejmuje odejście od klasycznych systemów rezerwacyjnych, uproszczenie obsługi IT, integrację rozliczeń z nowymi systemami płatności oraz zmianę mentalności w całym ekosystemie. Do projektu muszą więc zaangażować się nie tylko linie lotnicze, ale także porty lotnicze, agencje podróży, dostawcy technologii, a nawet organy regulacyjne.

Porty lotnicze są tutaj kluczowym punktem styku z klientem – dlatego ich współpraca z liniami lotniczymi w nowym modelu sprzedaży będzie zwiększać personalizację i jakość usług w całej podróży – od momentu przyjazdu aż po boarding. Są one więc potencjalnymi dostawcami usług dodatkowych (np. dostęp do saloników – lounge access, fast track, parking, bagaż premium, usługi concierge, które mogą być zintegrowane i sprzedawane jako część jednej oferty przez linię lotniczą) lub partnerami technologicznymi (integracja systemów odprawy, zarządzanie boardingiem, cyfrowe potwierdzanie usług zakupionych w ramach zamówienia). Współtworzenie przez porty lotnicze bardziej spersonalizowanej podróży może wpływać na zwiększanie ich przychodów z usług niebiletowych.

Wg przewidywań IATA zmiana i wprowadzenie standardu Offers & Orders ma nastąpić do 2030 r.⁵⁸⁰ Zrzeszenie szacuje, iż na nowo musi zostać napisanych ok. 70% istniejących standardów w lotnictwie, tak aby przenieść się z PNR (Passenger Name Record) w kierunku ekosystemu, w którym klient nie jest jedynie numerem. Obecnie stosowane rozwiązania są drogie i nie umożliwiają łatwego i elastycznego dodawania nowych produktów oraz usług skierowanych do klientów. Sytuację częściowo poprawił wprowadzony przez IATA jeszcze w 2012 r. Standard NDC, ale zmiana ta była niewystarczająca⁵⁸¹.

W nowej rzeczywistości, do której dąży IATA, to pasażerowie będą decydować, które podmioty będą miały dostęp do ich danych przechowywanych w elektronicznych portfelach (digital wallets). Dotyczy to linii lotniczych, służb imigracyjnych w portach lotniczych, służb celnych oraz służb kontroli bezpieczeństwa. Co istotne, pasażerowie będą mogli przekazać swoje dane również innym podmiotom, takim jak hotele, lub np. poczekalniom biznesowym w celu łatwego nabycia ich

⁵⁷⁸ Key Trends in Passenger Behavior: Insights from the IATA Global Passenger Survey 2024, iata.org, 5 listopada 2024 r.

⁵⁷⁹ Airline Retailing. An industry vision for Offers and Orders, IATA, październik 2021, passim.

⁵⁸⁰ Airline... , op. cit., s. 5.

⁵⁸¹ T. Śniedziwski, Time to abandon obsolete revenue models, [w:] „Orient Aviation”, październik–listopad 2024.

usług podczas podróży. Dla pasażerów otworzy to drogę do łatwego i bez porównania sprawniejszego niż obecnie procesu customizacji podróży.

Dla linii lotniczych, a także kondycji całej branży, zmiany mogą mieć olbrzymie znaczenie. Wnioski z badania przeprowadzonego pod koniec 2019 r. przez Agencję McKinsey wskazują, iż do końca dekady wprowadzone zmiany umożliwią liniom lotniczym wygenerowanie 7 dolarów dodatkowej wartości w przeliczeniu na pasażera⁵⁸². To szansa na znaczącą poprawę kondycji finansowej przewoźników, zważywszy, iż w 2023 r. linie lotnicze zarabiały średnio 5,44 dolarów w przeliczeniu na pasażera⁵⁸³. Wygenerowana dodatkowa wartość pochodziłaby ze sprzedaży usług dodatkowych, optymalizacji płatności i kosztów łącznych oraz ze zmiany wielu procesów wewnętrznych, takich jak sposób ustalania wysokości cen, czy wykorzystywania danych. Dodatkowa wartość może pochodzić również z nawiązywania nowych partnerstw, takich jak generowanie intermodalnych strumieni pasażerskich, do tworzenia których zachęca wiele rządów na całym świecie.

Customizacja podróży

Wprowadzanie modelu Offers & Orders pozwoli podmiotom funkcjonującym w obrębie branży lotniczej skutecznie dostosować się do oczekiwań pasażerów. Warto zaznaczyć, iż rozumieć należy przez to nie tylko pasażerów, jako grupę społeczną, ale każdego z nich z osobna. Poprzez daleko posuniętą customizację (personalizację) podróży, możliwe będzie dotarcie do indywidualnych potrzeb i oczekiwań. IATA obiecuje lepiej dostosowane produkty i taryfy, zarówno na ziemi, jak i w powietrzu, dopasowane metody płatności, skuteczniej indywidualizowane czasy pokonywania przestrzeni lotniskowych, w tym transferów. Wszystkie komponenty podróży klienta będą przechowywane w sposób centralny w obrębie ekosystemu linii lotniczych, umożliwiając płynny dostęp i aktualizowanie dla dobrowolnych i niedobrowolnych scenariuszy zakłóceń⁵⁸⁴. Personalizacja będzie wynikiem rozpatrywania wniosków i życzeń w szerszym kontekście, gdyż podróżni mają odmiennie oczekiwania w zależności od tego, czy są w trakcie podróży służbowej, czy też podróżują w celach prywatnych.

Przejście na Offers & Orders ma otworzyć wiele szans, ale dyskusja nad tym, jak skutecznie customizować podróże trwa już dzisiaj. Przykładem jej przejawów może być materiał powstały w ramach inicjatywy portalu społecznościowego LinkedIn, w której wybrani eksperci proszeni są o przedstawienie swoich opinii, które następnie są moderowane przy pomocy AI, dzięki czemu powstają artykuły prezentujące konkluzje. Jeden z tekstów powstałych w ten sposób dotyczy zsyntetyzowanej, bazującej na doświadczeniu wielu osób odpowiedzi na pytanie, jak można spersonalizować doświadczenie korzystania z portu lotniczego. Określono kilka kroków w tym kierunku⁵⁸⁵:

- **Pierwszy krok „Poznaj swoich pasażerów”** zwraca uwagę na fakt, iż customizacja podróży jest niemożliwa bez zrozumienia kim są pasażerowie, czego potrzebują i czego oczekują. W odpowiedzi na te pytania pomogą narzędzia, takie jak analiza danych, ankiety, feedback, czy media społecznościowe, dzięki którym można przypasować pasażerów do różnych segmentów zawierających wizerunek czy profile. Przykładowo, przyporządkowanie może następować w oparciu

o powód podróżowania, preferencje, budżet, częstotliwość podróżowania, długość podróży, cel podróży czy uczestnictwo w programach lojalnościowych. Dzięki takiemu poznaniu pasażerów, operatorzy portów lotniczych są w stanie dostosować usługi, oferty oraz komunikaty do szczególnych potrzeb i zainteresowań.

- **Drugi krok „Zaoferuj wybór oraz elastyczność”** mówi o tym, że o customizacji podróży możemy mówić wtedy, kiedy pasażerowie mają dostęp do rozwiązań oferujących im udogodnienia w zależności od wyboru, takie jak kioski samoobsługowe, możliwość mobilnej odprawy, pobrania kart pokładowych online, stanowiska do szybkiego nadawania bagaży, ścieżki pierwszeństwa, dostęp do poczekalni (lounge), czy zarezerwowane z wyprzedzeniem miejsce parkingowe. Można również pozwolić pasażerom na płynną modyfikację lub odwołanie rezerwacji, zmianę miejsc w samolocie, otworzyć możliwość podwyższania klasy podróży, oraz dodania usług dodatkowych, takich jak posiłki, dostęp do systemu rozrywki, czy wykupienie ubezpieczenia. Zaoferowanie listy wyborów oraz elastyczności pozwala poprawić dogodność, wygodę oraz poziom satysfakcji. Jedną z osób będących współautorem artykułu, pracująca w Star Alliance w dziale Customer Experience wskazała, iż dwa obszary, na których należy się skupić realizując ten cel to integracja i dostępność technologii. Jej zdaniem, technologia może ułatwiać niektóre procesy, powinna jednak uzupełniać, a nie zastępować kontakt z człowiekiem, gdyż wielu pasażerów w dalszym ciągu ceni kontakt z agentami będącymi żywymi osobami. Wskazała również, iż przyszłością jest inkluzywny port lotniczy. Projektowanie doświadczenia, które ma zastosowanie do różnych profili klientów, w tym osób z niepełnosprawnościami, pozwala się upewnić, że zastosowane technologie są dostępne i przyjazne, tworząc bardziej spersonalizowane i zadowalające środowisko dla wszystkich.

- **Trzeci krok „Stwórz identyfikację miejsca”**, sugeruje zaprojektowanie portu lotniczego w sposób pozwalający pasażerom na poznanie historii, kultury lub tożsamości miejsca. Można to osiągnąć poprzez prezentację lokalnej sztuki, muzyki, kuchni, czy eksponatów prezentujących unikalny charakter regionu. Możliwe jest również zorganizowanie eventów, aktywności czy wystaw, pozwalających na przyciągnięcie uwagi pasażerów oraz promowanie lokalnych atrakcji i przedsiębiorczości.

- **Czwartym krokiem jest „Dostarczenie spersonalizowanej komunikacji”** do każdego z pasażerów. Można użyć w tym celu kanałów cyfrowych, takich jak e-maile, wiadomości SMS, aplikacje, czy media społecznościowe do wysyłania we właściwym czasie istotnych wiadomości do pasażerów. Przykładowo, możliwe jest wysyłanie wiadomości powitalnych, wskazówek i podpowiedzi dotyczących podróży, aktualizacji dotyczących lotu, bramek do boardingu, alertów bezpieczeństwa, prognozy pogody czy przewodników. W komunikatach warto używać narzędzi personalizacji, takich jak zwracanie się po imieniu, odpowiedniego języka, preferencji i historii wcześniejszej komunikacji, tak by wiadomości były przyjaźniejsze i ujmujące. Dostarczanie spersonalizowanych wiadomości przełoży się na poprawę zaufania oraz lojalności pasażerów. Doskonałym sposobem na osiągnięcie spersonalizowanej komunikacji jest użycie technologii takich jak AR navigation oraz AI-enhanced assistants. Podczas gdy istotne jest zintegrowanie technologii, równie ważne jest by doceniać kontakt ludzki, szczególnie w przypadku pasażerów, którzy cenią osobisty poziom usług. Połączenie obu tych sposobów pozwala stworzyć wszechstronne, spersonalizowane doświadczenie w porcie lotniczym. Rozwiązania technologiczne mogą być dostępne dla wszystkich pasażerów, podczas gdy dedykowany serwis osobisty zarezerwowany mógłby być dla pasażerów VIP.

⁵⁸² Airline..., op.cit., s. 4.

⁵⁸³ Airlines Set to Earn 2.7% Net Profit Margin in Record Revenues in 2024, iata.org, 6 grudnia 2023 r.

⁵⁸⁴ Airline..., op.cit., s. 4.

⁵⁸⁵ How can you personalize the airport experience for passengers?, linkedin.com.

- **Piąty krok: „Zaoferowanie usług o dodatkowej wartości”**, wybiegających poza podstawowe potrzeby i oczekiwania, takich jakie bezpłatna sieć Wi-Fi, możliwość doładowania urządzeń przenośnych, przechowania bagażu, użycia prysznica, strefy spa, strefy fitness, czy kapsuł do spania. Można również nawiązać współpracę z innymi przedsiębiorstwami, takimi jak hotele, restauracje, sklepy, operatorzy transportu, by zaoferować pasażerom zniżki, kupony rabatowe czy program nagród. Dzięki temu możliwe jest zwiększanie sum wydawanych przez pasażerów, poprawa ich poziomu satysfakcji, a także liczby przyznawanych przez nich pozytywnych ocen i opinii.

Jak Heathrow poznaje swoich klientów

Jednym z największych światowych portów lotniczych, który zdecydował się przyjąć filozofię personalizacji podróży swoich pasażerów, jest Heathrow w Londynie. Jego skala działalności to obsługa ponad 1 tys. lotów dziennie do ok. 200 kierunków, co przekłada się na ponad 79 mln pasażerów rocznie i stanowi wyzwanie pozwalające przetestować teorię w praktycznym funkcjonowaniu w ogromnej skali. W swojej misji port lotniczy opiera się na trzech filarach działania: zarządzaniu relacjami z aktualnymi i potencjalnymi klientami (Customer Relationship Management, CRM), sztucznej inteligencji (AI) oraz analizie danych. W ujęciu praktycznym, port lotniczy jest klientem rozwiązań cyfrowych Salesforce, wykorzystującym wachlarz dostępnych narzędzi, takich jak moduł AI Einstein 1, Data Cloud, Marketing Cloud czy Service Cloud.

Według władz Heathrow, kluczem do podniesienia poziomu satysfakcji pasażerów jest zapewnienie im płynnego doświadczenia cyfrowego, przy czym nawet jeśli dla pasażerów start podróży wyznacza wizyta w terminalu portu lotniczego, to doświadczenie związane z podróżą rozpoczyna się znacznie wcześniej, w momencie gdy (przyszły) pasażer rezerwuje pobyt w przylotniskowym hotelu, by zdążyć na ranny lot lub sprawdza jak dostać się na Heathrow pociągiem. Ok. 90 proc. pasażerów w ciągu ich podróży używa stron internetowych lub aplikacji. Dla portu lotniczego posiadającego 14 stron internetowych oraz 45 systemów IT, początkowo było to problemem. Rozwiązaniem stała się wspomniana platforma Einstein 1, łącząca zakupy, rezerwację miejsc parkingowych, usługi dodatkowe oraz komunikację z klientami. Pasażerowie docenili tę zmianę. Wg badań zrealizowanych przez Heathrow, osoby korzystające z jego usług cyfrowych wyrażają wyższy poziom zadowolenia. Jednocześnie rośnie liczba interakcji prowadzonych drogą cyfrową – o 25% od 2019 r.

Narzędzia cyfrowe umożliwiły Heathrow realizację pierwszego kroku na drodze do customizacji podróży – poznania pasażerów. Salesforce daje portowi lotniczemu możliwość nowego zrozumienia ich sytuacji i na tej podstawie zaoferowania nowych rozwiązań i usług, dzięki którym mogą oni poczuć się wyjątkowo. Dane dotyczące wcześniejszych interakcji z obsługą klienta, czy zakupów, zawarte w Data Cloud, pozwalają Heathrow przewidywać potrzeby pasażera jeszcze przez jego wizytę w porcie lotniczym. Przykładowo, jeśli system zauważy, iż klient podróżujący służbowo zawsze kupuje te same produkty w strefie duty free, komunikat przypomni mu by zakupić i odebrać swoje zamówienie.

Heathrow nie tylko zmienia własne usługi cyfrowe. Umożliwia ono nawiązywanie komunikacji pomiędzy swoimi pasażerami i setkami partnerów. Wynajem powierzchni handlowych i gastronomicznych generuje ok. 10% rocznego przychodu portu lotniczego. Heathrow uruchomiło usługę

Retail Reserve & Collect, umożliwiającą dokonanie zakupów online zanim pasażer dotrze do terminalu. Dzięki temu możliwe jest zaoferowanie klientom większej liczby opcji zakupów w fizycznych sklepach oraz online, nawet jeśli produkty ich ulubionych marek nie są fizycznie dostępne na terenie portu lotniczego.

Choć z pewnością nie każdy pasażer zdecyduje się na zakup usług oferowanych przez Heathrow, z pewnością większość z nich doceni poprawę obsługi. Każdego dnia pracownicy lotniskowi obsługują ponad 200 tys. osób. Port lotniczy stara się sprawić, by ich podróż była bezproblemowa, wykorzystując takie środki jak formularze online, artykuły z wyjaśnieniami czy chatboty. Dzięki nim, agencji obsługi klienta mogą szybciej i lepiej odpowiadać na pytania. Jeśli na przykład pasażer spóźnia się na lot z przesiadką, mogą zainicjować chat z telefonem pasażera natychmiast po opuszczeniu przez niego przylatującego samolotu, tak by poprowadzić go najkrótszą drogą do bramki odlotu na następne połączenie. Aby szybciej udzielać odpowiedzi na pytania, administratorzy portu lotniczego Heathrow stworzyli zautomatyzowane reguły pozwalające na kategoryzowanie i nadawania priorytetu sprawom w obrębie różnych kanałów komunikacji.

W latach 2019–2023 przychody cyfrowe Heathrow zwiększyły się o 30%, nawet pomimo tego, iż w następstwie pandemii koronawirusa w tym samym czasie liczba pasażerów została ograniczona o 20%⁵⁸⁶.

Obecne trendy w Passenger Experience

Jak już wspomniano, współczesne porty lotnicze nie są już jedynie miejscami rozpoczynania i kończenia podróży – stają się nowoczesnymi centrami obsługi pasażera, oferującymi mu spersonalizowane, bezpieczne i komfortowe doświadczenia. W dobie rosnących oczekiwań podróżnych i postępu technologicznego, Passenger Experience stało się jednym z głównych priorytetów dla portów lotniczych na całym świecie. Jest ono powiązane z dążeniem do zapewniania pasażerowi podróży w modelu end-to-end, pojmowanej jako kompleksowa usługa, obejmująca całość procesu – od momentu wyjścia z domu aż do dotarcia do miejsca docelowego i powrotu. Kluczowym elementem tego podejścia jest współpraca różnych dostawców usług – linii lotniczych, portów lotniczych, przewoźników naziemnych, hoteli czy firm technologicznych – którzy dzięki nowym rozwiązaniom (jak cyfrowa tożsamość, otwarte platformy, chmura czy standardy NDC i OneOrder) mogą dzielić się danymi i personalizować usługi w czasie rzeczywistym. Dzięki temu podróżny nie musi martwić się o przesiadki, opóźnienia czy skomplikowaną logistykę – system sam dostosowuje i koordynuje wszystkie elementy podróży⁵⁸⁷.

Na takim podejściu już teraz bazują prognozy dotyczące np. obsługi bagaży. W tym zakresie przewiduje się wejście nowych graczy – firm obsługujących kompleksową usługę transportu bagażu „od drzwi do drzwi”, niezależnie od linii lotniczych, na wzór takich platform jako Uber czy Airbnb. W przyszłości bagaż nie będzie musiał być nawet transportowany tym samym samolotem co pasażer. Kluczową rolę odgrywać będzie personalizacja – podróżny będzie mógł dostosować usługę do własnych potrzeb, śledząc jej przebieg w czasie rzeczywistym. Aby jednak było możliwe, branża musi przyjąć zintegrowane podejście do danych, wzorując się na rynku kurierskim, gdzie każdy

⁵⁸⁶ How personalization has helped boost Heathrow's digital revenue by 30%, salesforce.com.

⁵⁸⁷ D. Valmorbida, End-to-end: the next generation of travel services, amadeus.com, 9 lipca 2021 r.

etap podróży przesyłki jest monitorowany. Linie lotnicze, posiadając dane o pasażerach, mają potencjał, by oferować spersonalizowane usługi, jednak konieczna będzie współpraca z partnerami zewnętrznymi, w tym z portami lotniczymi, i otwartość na wymianę informacji⁵⁸⁸.

Aktualne trendy w zakresie Passenger Experience w portach lotniczych pogrupować można, wskazując kilka zakresów wdrażania innowacyjnych rozwiązań, które w kolejnych latach będą zapewne rozwijane i upowszechniane. Poniżej wskazano te najbardziej istotne⁵⁸⁹.

Biometria i podróż bezdotykowa

Biometryczne systemy identyfikacji, takie jak rozpoznawanie twarzy, odcisków palców czy skanowanie tętnówki, są coraz powszechniej stosowane przy odprawie, kontroli bezpieczeństwa i boardingu. Umożliwiają one szybsze i bezpieczniejsze przechodzenie przez terminal. Wprowadzenie „biometrycznych tuneli” w niektórych portach lotniczych pozwala nawet na przebycie kontroli granicznej w kilka sekund. Pandemia COVID-19 przyspieszyła też wdrażanie rozwiązań bezdotykowych – takich jak mobilne karty pokładowe, kioski samoobsługowe i płatności zbliżeniowe – zapewniających większe bezpieczeństwo sanitarne.

Badania IATA Global Passenger Survey wykonane w 2024 r. pokazują, że 46% podróżnych korzystało już z lotniskowej identyfikacji biometrycznej, a 84% z nich jest zadowolonych z tego rozwiązania. Aż 75% preferuje biometrię zamiast tradycyjnych metod identyfikacji, choć połowa nadal obawia się o ochronę danych⁵⁹⁰.

Rozpoznawanie twarzy jest wykorzystywane na różnych etapach podróży, takich jak odprawa, kontrola bezpieczeństwa i boarding, a także w strefach oczekiwania. Przykładem może być projekt Air Canada, który w lutym 2023 r. uruchomił pilotażowy program w Vancouver International Airport, pozwalający pasażerom na korzystanie z rozpoznawania twarzy do wejścia na pokład samolotu i dostępu do saloników lotniskowych. W 2024 r. technologię wdrożono we wspomnianym kanadyjskim porcie lotniczym⁵⁹¹. Również linie Emirates oraz Frankfurt Flughafen zaimplementowały systemy rozpoznawania twarzy, które pozwalają pasażerom na szybsze poruszanie się po terminalach⁵⁹².

Dzięki tym systemom możliwe jest również bardziej precyzyjne śledzenie lokalizacji pasażerów w obrębie poszczególnych terminali. Na przykład, jeśli ktoś spóźnia się na swój lot, systemy mogą wysłać do niego wiadomość przypominającą o konieczności szybkiego dotarcia do bramki. Systemy te mogą także redukować potrzebę interakcji z personelem, co w dłuższej perspektywie prowadzi do zmniejszenia kosztów obsługi pasażerów przez linie lotnicze i porty lotnicze. Już w 2018 r. Dubai International Airport wprowadził tzw. „inteligentny tunel”, który pozwala pasażerom na przejście przez odprawę paszportową w zaledwie 15 sekund⁵⁹³. Natomiast od 2020 r. linie lotnicze Emirates oferują swoim pasażerom podróż bezkontaktową, gdzie zdjęcie robione przy odprawie

umożliwia korzystanie ze „zintegrowanej ścieżki biometrycznej” na terenie całego portu lotniczego w Dubaju⁵⁹⁴.

Zayed International: Smart Travel Project



Źródło: Etihad Airways

Port lotniczy Zayed International w Abu Zabi planuje stać się w 2025 r. pierwszym na świecie portem lotniczym, który w pełni wdroży obowiązkowe odprawy biometryczne dla wszystkich pasażerów, wdrażając wizję podróży szybkiej, bezdotykowej i bezdokumentowej. Inicjatywa ta, nazwana Smart Travel Project, zakłada instalację czujników biometrycznych na każdym lotniskowym punkcie identyfikacyjnym – od wejścia do terminala aż po bramkę wejściową do samolotu. Projekt opiera się na współpracy z Federalnym Urzędem ds. Tożsamości, Obywatelstwa, Cel i Bezpieczeństwa Portów ZEA, który już teraz pobiera dane biometryczne od każdej osoby przybywającej po raz pierwszy do kraju. Dzięki tej bazie, lotniskowy system będzie mógł automatycznie weryfikować tożsamość pasażerów na różnych etapach podróży, całkowicie eliminując potrzebę użycia dokumentów papierowych (idea paperless). Celem programu jest nie tylko przyspieszenie procesu odprawy, ale także zwiększenie poziomu bezpieczeństwa oraz komfortu podróży. System ma umożliwić pasażerom przejście przez terminal w sposób płynny, bez potrzeby pokazywania paszportów czy kart pokładowych. Projekt wywołuje dyskusje na temat prywatności. W USA i krajach europejskich podobne inicjatywy napotykają silny opór ze strony opinii publicznej oraz organizacji ochrony praw obywatelskich⁵⁹⁵.

Stosowanie rozwiązań biometrycznych wiąże się też jednak z poważnymi wyzwaniami dotyczącymi ochrony prywatności i bezpieczeństwa danych. Niezbędne będą dalsze regulacje prawne i pełna transparentność w kwestii wykorzystania tych technologii, tak aby zagwarantować, że korzyści płynące z używania tej technologii nie będą powstawały kosztem prywatności pasażerów⁵⁹⁶.

Komfort i dobrostan pasażerów

Porty lotnicze coraz częściej inwestują w przestrzeń relaksu – sale jogi, medytacyjne, SPA czy zielone ogrody wewnętrzne⁵⁹⁷. Przykładem jest kompleks Jewel Changi w Singapurze połączony z portem lotniczym (z ogrodem tropikalnym Shiseido Forest Valley i największym na świecie wewnętrznym wodospadem Rain Vortex) czy ogród orchidei na w Doha, które oferują odprężenie i kontakt z naturą we wnętrzach terminala.

588 Assessing the benefits of 'end-to-end' thinking at airports, Vanderlande.com.

589 Za: K. Eke, Current Trends in Passenger Experience at Airports Worldwide, munich-airport.com, 2025.

590 Key Trends..., op. cit.

591 T. Prasada, S. Little, Air Canada launches voluntary facial recognition system at Vancouver airport, globalnews.ca, 3 grudnia 2024 r.

592 M. Khandelwal, Goodbye Passports! Frankfurt Airport Embraces Face Biometrics for Seamless Travel, 5 listopada 2023 r.

593 Dubai airport unveils 'smart tunnels' for faster passport control, arabnews.com, 11 października 2018 r.

594 Emirates launches integrated biometric path at Dubai International Airport, gtm.uk.com, 26 października 2020 r.

595 K. Williams, The world's first airport..., op. cit.

596 J. Vermes, Airports to scan your face to make travelling easier. Privacy experts caution it's not ready to take off, cbc.ca, 3 marca 2024 r.

597 E.O. Mintah, Creating a green passenger experience at world's busiest airports, internationalairportreview.com, 27 września 2023 r.

Porty lotnicze jako zielone ogrody

Lotniskowe zielone przestrzenie nie tylko zwiększają walory estetyczne, ale także realnie wpływają na samopoczucie pasażerów, poprawiając jakość powietrza i wspierając realizację strategii zrównoważonego rozwoju. Oto jak wybrane porty lotnicze na świecie wykorzystują zieleni w projektowaniu Passenger Experience.



Źródło: Changi Airport

Changi w Singapurze słynie z innowacyjnego podejścia do integracji natury z przestrzenią lotniskową, oferując pasażerom unikalne doświadczenia w otoczeniu zieleni. Shiseido Forest Valley to pięciopiętrowy ogród wewnętrzny o powierzchni około 22 tys. m², znajdujący się w sercu kompleksu Jewel Changi Airport. Mieści on ok. 3 tys. drzew i 60 tys. krzewów reprezentujących 120 gatunków roślin z wysokogórskich lasów tropikalnych na całym świecie. Naturalne światło przenikające przez szklaną kopułę tworzy spokojną atmosferę, sprzyjającą relaksowi i odprężeniu pasażerów. W centrum Jewel znajduje się Rain Vortex – najwyższy na świecie wewnętrzny wodospad o wysokości 40 m. Woda spadająca z dachu tworzy spektakularny efekt, a wieczorami wodospad staje się sceną dla pokazów świetlno-muzycznych. Na najwyższym poziomie kompleksu Jewel (L5) znajduje się Canopy Park – przestrzeń rekreacyjna o powierzchni 14 tys. m², oferująca różnorodne atrakcje w otoczeniu bujnej roślinności. Wśród nich znajdują się: Topiary Walk z rzeźbami roślinnymi, Petal Garden z sezonowymi ekspozycjami kwiatowymi, Hedge Maze – największy labirynt żywopłotowy w Singapurze, Mirror Maze z lustrzanymi ścianami oraz Discovery Slides – interaktywne zjeżdżalnie dla dzieci i dorosłych⁵⁹⁸.

W 2022 r. w porcie lotniczym Hamad International Airport w Doha otwarto Orchard – tropikalny ogród wewnętrzny o powierzchni 6 tys. m², zawierający ponad 300 drzew i 25 tys. roślin. Zieleń otacza strefy handlowe, restauracyjne i salon biznesowy, a specjalne systemy nawadniania i monitoringu wilgotności zapewniają odpowiednie warunki mikroklimatyczne. Ogród pełni funkcję relaksacyjną, estetyczną i proekologiczną, a także przyczynia się do poprawy jakości powietrza i redukcji poziomu stresu odczuwanego przez pasażerów oraz pracowników portu lotniczego⁵⁹⁹.

Terminal 2 portu lotniczego Kempegowda International Airport w Bengaluru (Indie) to przykład całkowicie zintegrowanej koncepcji „terminalu w ogrodzie”, inspirowanej dziedzictwem Bengaluru jako miasta-ogrodu. Zielone przestrzenie – od ogrodów wiszących przy odprawie po „leśny pas” łączący hale odlotów – zapewniają pasażerom kontakt z naturą na każdym etapie podróży. Terminal uzyskał certyfikat LEED Platinum (międzynarodowy standard oceny budynków pod kątem ich zrównoważenia, efektywności energetycznej i ekologiczności), m.in. dzięki recyklingowi wody deszczowej i naturalnemu chłodzeniu przestrzeni. Obecność zieleni pośród restauracji, galerii i kawiarni zwiększa czas pobytu pasażerów i przychody portu lotniczego⁶⁰⁰.

598 jewelchangiairport.com

599 Hamad International Airport Marks One Year Since The Opening Of “ORCHARD”, dohamadairport.com, 28 listopada 2023 r.

600 D. Holmes, ‘Airport Terminal in a Garden’ in Bengaluru, India, worldlandscapearchitect.com, 11 stycznia 2024 r.

W Terminalu 2 portu lotniczego w Inczon (Korea Południowa) znajdują się liczne ogrody tematyczne ze 150 gatunkami roślin oraz elementami wodnymi i skalnymi. Projekt podkreśla warstwową kulturę natury i jest dostosowany do lokalnych uwarunkowań klimatycznych. Ogrody, przejścia piesze i przestrzenie wystawiennicze tworzą spójny parkowy krajobraz wewnętrzny, który redukuje poziom stresu, wspiera zdrowie i podnosi estetykę terminalu⁶⁰¹.

W bułgarskich portach lotniczych w Warnie i Burgas korzystać można z Gate Gardens – otwartych przestrzeniairsidewyposażonychwbramki,strefygastronomiczneiogrodyróżane(ponad5tys.krzewów). W sezonie letnim pasażerowie mogą czekać na boarding na świeżym powietrzu. Projekt łączy funkcjonalność z estetyką i ekologią – pozwala zaoszczędzić do 40% kosztów energii dzięki rezygnacji z klimatyzacji. Efektem wprowadzenia Gate Gardens było zwiększenie wielkości powierzchni operacyjnych i handlowych o 25–45%, co czyni z tych ogrodów efektywne ekonomicznie rozwiązanie⁶⁰².

Personalizacja usług i łączność cyfrowa

Dzięki sztucznej inteligencji i analizie danych możliwe jest oferowanie spersonalizowanych rekomendacji zakupowych, informacyjnych i gastronomicznych. Aplikacje mobilne, szybkie Wi-Fi i cyfrowi concierge ułatwiają dostęp do usług, a także poprawiają płynność podróży.

Wirtualny asystent AI w porcie lotniczym w Glasgow

Pod koniec 2024 r. port lotniczy w Glasgow uruchomił nowego asystenta cyfrowego opartego na sztucznej inteligencji, który poprawia komfort podróży pasażerów, oferując informacje w czasie rzeczywistym oraz pomoc w nawigacji. Po udanych testach pilotażowych narzędzie to jest już w pełni funkcjonalne, zwiększając dostępność i redukując liczbę zapytań do personelu. Asystent, stworzony we współpracy z Hello Lamp Post i Connected Places Catapult w ramach Connected Airport Living Lab, został początkowo wdrożony jako rozwiązanie pilotażowe, w celu poprawy dostępności. Testy wykazały 50-proc. redukcję liczby zapytań do obsługi klienta, obsługę ponad 12,3 tys. dodatkowych pasażerów rocznie oraz 86-proc. poziom zadowolenia użytkowników. Dzięki dostępowi przez kody QR, asystent pełni funkcję wirtualnego concierge’a, zapewniając pasażerom aktualne informacje o lotach, nawigację po terminalu i dostosowane wsparcie. Technologia ta pozwala personelowi skupić się na bardziej złożonych problemach pasażerów, zwiększając efektywność obsługi⁶⁰³.



Źródło: Glasgow Airport

601 M. Morry, Something Fresh From Nature: The 6 Best International Airport Gardens, vanemag.com, 18 marca 2019 r.

602 A. James, How are airports using green spaces to revolutionize the passenger experience?, passengerterminaltoday.com, 10 maja 2024 r.

603 H. Miles, Glasgow Airport launches..., op. cit.

Przykładem systemu optymalizującego lotniskową obsługę pasażerów jest platforma Tavor wykorzystująca AI, rozwijana przez spółkę zależną Schiphol Group. Poza Amsterdamem funkcjonuje ona w portach lotniczych w Doha, Frankfurt, a wkrótce także pojawi się w Atenach. Platforma działa w formie kiosków na terminalach, ale również jako aplikacja webowa dostępna na smartfony, tablety i laptopy. Użytkownicy mają dostęp do cyfrowych map, spersonalizowanych wskazówek dotyczących trasy, informacji o punktach usługowych, FAQ oraz możliwości połączenia wideo z pracownikiem obsługi. Tavor wykorzystuje podejście lejkowe (funnel approach), dzięki czemu platforma może rozróżniać, czy pasażer potrzebuje szybkiej informacji o lokalizacji kawiarni, czy też pilnej pomocy – jak w przypadku np. podróźnej bez wizy lecącej do Ameryki Łacińskiej. Takie rozpoznanie pozwala właściwie alokować zasoby i kierować ludzką pomoc tam, gdzie jest ona najbardziej potrzebna. AI nie zastępuje zatem ludzi (choć jego wykorzystanie zmniejszyło zatrudnienie w dziale wsparcia Schiphol o 30%), lecz wzmacnia ich działania⁶⁰⁴.

Przykładem kompleksowych działań w zakresie personalizacji usług może być Changi w Singapurze. W 2024 r. wprowadziło ono zmiany w swoim programie lojalnościowym Changi Rewards. Inicjatywa ta stanowi element szerszej strategii Changi Airport Group (CAG), mającej na celu uczynienie z portu lotniczego nie tylko punktu tranzytowego, ale i pełnoprawnego centrum doświadczeń zakupowych, gastronomicznych i rekreacyjnych. Bezpłatny program Changi Rewards przyciągnął już ponad 2 mln użytkowników, oferując możliwość zbierania punktów za zakupy i usługi na terenie wszystkich terminali oraz Jewel Changi Airport. Zgromadzone punkty można wymieniać na vouchery, bilety na atrakcje, zniżki parkingowe czy mile KrisFlyer. Innowacyjnym udogodnieniem jest to, że w wybranych sklepach lotniskowych podatek GST (odpowiednik VAT) nie jest doliczany do ceny – port lotniczy pokrywa go za klientów, dzięki czemu mogą oni zaoszczędzić nawet 9% na zakupach. Nowa odsłona programu wprowadza dodatkowe korzyści personalizujące doświadczenie pasażera. Członkowie programu otrzymują specjalne vouchery urodzinowe, a posiadacze statusów Gold i Platinum mogą liczyć na darmowy parking – odpowiednio przez godzinę i 4 godziny dziennie. To bezpośrednia odpowiedź na potrzeby użytkowników podróżujących z rodziną lub regularnie korzystających z usług lotniskowych. W 2024 r. wprowadzono także ekskluzywną klasę Monarch, przeznaczoną dla klientów wydających na terenie portu lotniczego powyżej 25 tys. dolarów singapurskich rocznie. Jej członkowie cieszą się 4-proc. zwrotem za zakupy, całorocznym darmowym parkingiem, a także dostępem do dedykowanego zespołu concierge, który zapewnia spersonalizowaną obsługę zakupową i gastronomiczną⁶⁰⁵.

Inteligentna infrastruktura

Rozwój tzw. Smart Terminals opiera się m.in. na technologii IoT, AI, automatyzacji, autonomizacji czy RFID – technologie te pełnią kluczowe role w usprawnianiu procesów oraz poprawie komfortu i bezpieczeństwa pasażerów. Jednym z najważniejszych aspektów działania Smart Terminals są zautomatyzowane procesy, które pozwalają znacznie skrócić czas obsługi pasażerów i zwiększyć efektywność. Samodzielna odprawa przy kioskach samoobsługowych umożliwia szybkie wydrukowanie karty pokładowej bez konieczności oczekiwania w kolejce. Z kolei automatyczne systemy obsługi bagażu, wyposażone w technologie skanowania i ważenia, gwarantują precyzyjne i sprawne przyjęcie walizek. Również w zakresie bezpieczeństwa inteligentne terminale wprowadzają innowacyjne rozwiązania – rozpoznawanie twarzy czy identyfikacja biometryczna, wspie-

604 T. Borms, How AI and smart funnels are optimizing the passenger experience, internationalairportreview.com, 16 stycznia 2025 r.

605 Changi Airport elevates customer experience with revamped loyalty programme, internationalairportreview.com, 8 października 2024 r.

rane przez sztuczną inteligencję, pozwalają przyspieszyć kontrolę bezpieczeństwa, jednocześnie zwiększając jej skuteczność. Dzięki IoT i AI zarządzanie bagażem, oświetleniem czy przepływem pasażerów staje się bardziej efektywne. Przykładowo, niektóre porty lotnicze już stosują systemy śledzenia bagażu w czasie rzeczywistym, znacznie ograniczając liczbę reklamacji (Newark, McCarran International, Bruksela, Hongkong, a od czerwca 2021 r. – 27 portów lotniczych w Chinach)⁶⁰⁶. Dużą rolę w funkcjonowaniu Smart Terminals odgrywają cyfrowe systemy informacyjne. Dzięki aplikacjom mobilnym pasażerowie mają dostęp do bieżących informacji o swoim locie, mogą śledzić lokalizację bagażu, zamawiać jedzenie czy rezerwować dodatkowe usługi – wszystko z poziomu własnego telefonu. Dodatkowo interaktywne kioski i ekrany z funkcją cyfrowej nawigacji pomagają w szybkim i intuicyjnym poruszaniu się po terminalu, eliminując stres związany z odnalezieniem odpowiedniego wyjścia czy stanowiska odprawy.

Nie bez znaczenia jest także wpływ technologii na komfort podróżnych. Inteligentne terminale oferują personalizowane doświadczenia – od dopasowanych powiadomień w aplikacji, po możliwość indywidualnego zarządzania usługami. Systemy automatycznie dostosowujące oświetlenie, temperaturę czy inne warunki otoczenia, dbając o to, by przestrzeń terminala była jak najbardziej przyjazna i komfortowa.

Przykładem rozwiązania rewolucjonizującego Passenger Experience dzięki zaawansowanym rozwiązaniom opartym na AI jest Sama 2.0 – wirtualna stewardessa zaprezentowana przez Qatar Airways podczas targów ITB Berlin 2024. Łączy ona technologie cyfrowego „człowieka” i konwersacyjnej sztucznej inteligencji. Dostępna jako interaktywny hologram oraz w środowisku cyfrowym QVerse i aplikacji mobilnej linii, Sama 2.0 udziela odpowiedzi w czasie rzeczywistym na pytania dotyczące kierunków podróży, usług, porad i wsparcia. Dzięki uczeniu maszynowemu stale doskonalili swoje kompetencje, oferując coraz bardziej spersonalizowaną obsługę⁶⁰⁷.

Zrównoważony rozwój

Wiele portów lotniczych dąży do neutralności węglowej, inwestując w odnawialne źródła energii, redukcję odpadów i promowanie ekologicznego transportu. Przykładowo, Changi w Singapurze znane jest z wykorzystania paneli słonecznych na dachu oraz konsekwentnego stosowania zasad zrównoważonego projektowania w swojej infrastrukturze⁶⁰⁸. Heathrow w Londynie inwestuje w programy kompensacji emisji dwutlenku węgla oraz flotę pojazdów elektrycznych, co świadczy o jego zaangażowaniu w redukcję emisji. Indyjski port lotniczy w Bangalore realizuje strategię „Sustainability 2030”, której filarami są zarządzanie zasobami wodnymi, osiągnięcie neutralności węglowej oraz promowanie zrównoważonej mobilności⁶⁰⁹. Manohar w Goa został wyróżniony jako najlepszy zrównoważony port lotniczy greenfield – zachowujący wysokie standardy ekologiczne już od etapu planowania⁶¹⁰. Frankfurt z kolei od lat stawia na energię słoneczną oraz rozwój infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych. W Turcji port lotniczy w Stambule był pierwszym w kraju, który otrzymało certyfikację Airport Carbon Accreditation (przyznaną w ramach międzynarodowego programu certyfikacji lotnisk, oceniającego i uznającego ich działania

606 D. Sevestano, RFID is Helping Solve Luggage Problems at Airports, printedelectronicsnow.com, 20 kwietnia 2022 r.

607 Qatar Airways Showcases New Features of World's First AI Virtual Digital Human Cabin Crew, qatarairways.com, 6 marca 2024 r.

608 K. Mok, Changi Airport gears up to tap on solar power, changiairport.com, 1 maja 2024 r.

609 S. Nair, Are Sustainable Airports A Tangible Reality?, aviation360me.com, 3 marca 2025 r.

610 New Goa Manohar International Airport wins best sustainable greenfield airport award, economictimes.indiatimes.com, 20 stycznia 2023 r.

na rzecz redukcji emisji dwutlenku węgla) i obecnie dąży do osiągnięcia zerowej emisji netto do 2050 r.⁶¹¹ Podobne ambicje wykazuje port lotniczy w Sydney, które planuje osiągnąć neutralność węglową już do 2030 r.⁶¹² Również Hong Kong International Airport aspiruje do miana najbardziej ekologicznego portu lotniczego na świecie, wdrażając liczne strategie prośrodowiskowe. W Dubaju wdrażane są inicjatywy m.in. ograniczające zużycie plastiku jednorazowego użytku oraz angażujące pasażerów w recykling⁶¹³. W styczniu 2025 r. port lotniczy Rzym-Fiumicino uruchomił największą w Europie lotniskową instalację fotowoltaiczną o mocy 22 MWp (docelowo 60 MWp), która ma zaspokoić roczne potrzeby energetyczne 30 tys. gospodarstw domowych i ograniczyć emisję CO₂ o 11 tys. ton rocznie, wspierając cel neutralności klimatycznej do 2030 r.⁶¹⁴ Również port lotniczy Adolfo Suárez Madrid-Barajas wprowadziło farmy fotowoltaiczne jako element swojej strategii oszczędzania energii⁶¹⁵. Natomiast port lotniczy w Brukseli w lutym 2025 r. rozpoczął pilotażowy program, w ramach którego 100 lokalnych gospodarstw domowych otrzyma przez rok tańszą zieloną energię z lotniskowych paneli fotowoltaicznych⁶¹⁶. Można tutaj też wspomnieć o szwedzkiej grupie Swedavia, której 4 z 10 portów lotniczych uzyskało najwyższy poziom certyfikacji w programie Airport Carbon Accreditation⁶¹⁷.

Działania te trafiają w oczekiwania rosnącej grupy świadomych ekologicznie podróżnych. Coraz więcej pasażerów zdaje sobie sprawę z wpływu lotnictwa na środowisko i wyraża rosnące zaniepokojenie zmianami klimatu. Wg wyników jednego z badań przeprowadzonych w 2024 r., ok. 50% podróżnych zadeklarowało gotowość do zapłacenia do 10% więcej za bilet lotniczy w celu zrekompensowania emisji CO₂, co stanowiło wzrost w porównaniu z 2023 r. o 45%⁶¹⁸. Wielu pasażerów jest również skłonnych dopłacić za loty realizowane przez linie lotnicze stosujące biopaliwa lub inne zrównoważone technologie⁶¹⁹. Inne badania wskazują, że podróżni są gotowi ponosić znacznie wyższe koszty płacąc za loty realizowane przez podmioty, które priorytetowo traktują kwestie zrównoważonego rozwoju – niektóre z nich sugerują, że w USA może to być nawet do 12,7% więcej⁶²⁰.

611 Istanbul Airport becomes the first airport in Turkey to achieve Level 4 Transformation, airportcarbonaccreditation.org, 13 grudnia 2023 r.

612 Sydney Airport Targets 2030 Net-Zero, smartenergydecisions.com, 27 maja 2021 r.

613 Dubai Airport cuts waste to landfills by 60 per cent, esgmena.com, 30 listopada 2023.

614 ADR: Rome Fiumicino Airport's new Solar Farm unveiled 55,000 silicon panels make up the biggest airport photovoltaic system in Europe, among the largest in the world, adr.it, 20 stycznia 2025 r.

615 Power plant profile: Adolfo Suarez Madrid Barajas Airport Solar PV Park I, Spain, power-technology.com, 21 października 2024 r.

616 A. Orban, Brussels Airport powers local homes with green energy in new pilot project, aviation24.be, 20 stycznia 2025 r.

617 T. Forsström, Leading the way and aiming higher – how Swedavia strives for more within the Airport Carbon Accreditation framework, internationalairportreview.com, 17 stycznia 2025 r.

618 E. Scungio, Examined: The Airport & Airline Sustainability Initiatives Most Valued By Today's Passengers, simpleflying.com, 10 października 2024 r.

619 V. Azarova, H. Singh, A. Shams, Unraveling Willingness to Pay for Sustainable Aviation Fuel, rmi.org, 17 września 2024 r.

620 S.R. Crouse, S.C. Box, S.R. Winter, S. Rice, Support for green initiatives in aviation: A case study across American aviation consumers, [w:] „Journal of the Air Transport Research Society”, vol. 2, czerwiec 2024.

Nowoczesne bezpieczeństwo

Cytowane już wcześniej badanie IATA Global Passenger Survey z 2024 r. pokazuje, że pasażerowie oczekują sprawnych procesów lotniskowych — 70% chce dotrzeć do bramki w ciągu 30 minut z bagażem podręcznym, a 74% akceptuje poświęcenie maksymalnie 45 minut na nadanie bagażu. Co więcej, 85% jest skłonnych udostępnić dane imigracyjne z wyprzedzeniem, a 89% interesuje się programami zaufanego podróżnego, które przyspieszają kontrolę bezpieczeństwa⁶²¹.

Nowe technologie, takie jak automatyczne skanery CT czy bramki kontroli granicznej, przyspieszają kontrolę bezpieczeństwa przy jednoczesnym zwiększeniu dokładności. W dobie transformacji cyfrowej rośnie też znaczenie ochrony danych – porty lotnicze inwestują w zaawansowane systemy cyberbezpieczeństwa. Wszystkie te technologie współtworzą koncepcję smart security – szerokiego wachlarza rozwiązań zastosowanych w celu obniżenia poziomu stresu u pasażerów poddawanych kontroli bezpieczeństwa⁶²².

Innowacyjne rozwiązania w zakresie bezpieczeństwa, mające wpływ na poprawę poziomu Passenger Experience, najczęściej powiązane są ze wspomnianą już biometrią. Kontrola wykorzystująca technologie w tym zakresie zastępuje potrzebę ręcznej weryfikacji tożsamości automatycznym rozpoznawaniem twarzy, skanowaniem odcinków palców i rozpoznawaniem tęczy oka. Pasażerowie są identyfikowani za pomocą danych biometrycznych powiązanych z ich dokumentami podróży.

Na Changi w Singapurze do 2026 r. aż 95% procesów imigracyjnych ma zostać w pełni zautomatyzowanych, co pozwoli pasażerom przechodzić kontrolę bezpieczeństwa w zaledwie 10 sekund⁶²³. Natomiast w międzynarodowym porcie lotniczym w Dubaju wdrożono tzw. inteligentne bramki biometryczne, które umożliwiają weryfikację podróżnych na etapach kontroli bezpieczeństwa, imigracji oraz wejścia na pokład – bez udziału pracowników obsługi. W 2023 r. skorzystało z nich 21 mln pasażerów⁶²⁴. Dodatkowo, nowo projektowane porty lotnicze, jak np. King Salman International, już na etapie planowania uwzględniają integrację systemów biometrycznych jako standardowego elementu infrastruktury bezpieczeństwa.

Port lotniczy w Las Vegas: testy samoobsługowej kontroli bezpieczeństwa

W 2024 r. przez pół roku amerykańska TSA (Transportation Security Administration, Administracja Bezpieczeństwa Transportu) testowała w porcie lotniczym w Las Vegas system samoobsługowej kontroli bezpieczeństwa, przypominający rozwiązania znane z samoobsługowych kas w sklepach czy oznaczania bagażu. Dostępny był on wyłącznie w Terminalu 3 i przeznaczony dla pasażerów korzystających z programu Pre-Check. Umożliwił podróżnym przejście przez kontrolę w indywidualnym tempie, z minimalnym kontaktem z pracownikami TSA. Proces rozpoczynał się od weryfikacji tożsamości i rezerwacji lotu za pomocą rozpoznawania twarzy, po czym pasażer umieszczał bagaż na taśmie i przechodził przez skaner. Urządzenie wykrywało ewentualne niedozwolone przedmioty i instruowało, co należy usunąć z kieszeni. Po pozytywnym przejściu kontroli pasażer

621 Key Trends..., op. cit.

622 A. Fidato, Integrating emerging technologies into airport operations, internationalairportreview.com, 15 lipca 2024 r.

623 M. Pitrelli, No passports needed: Singapore launches biometric immigration processing at Changi Airport, cnbc.com, 4 sierpnia 2024 r.

624 Biometric evolution delivers seamless airport journeys, theairportshow.com, 21 lutego 2024 r.

odbierał bagaż podręczny i mógł kontynuować podróż. W razie pytań możliwe było skorzystanie z interaktywnego monitora i skontaktowanie się z funkcjonariuszem TSA⁶²⁵.

Wpływ innowacji w zakresie bezpieczeństwa na Passenger Experience widoczny jest np. pośród pasażerów portu lotniczego London Luton. Od lipca 2024 r. wprowadził on skanery ciała nowej generacji oraz tomografy komputerowe (CT), które znacznie usprawniają kontrolę bezpieczeństwa – pasażerowie nie muszą już zdejmować butów ani wyjmować elektroniki i płynów z bagażu podręcznego podczas kontroli. Chociaż wciąż obowiązuje ograniczenie dotyczące przewozu płynów do 100 ml, nowe technologie znacząco skracają czas odprawy i upraszczają cały proces. Pasażerowie mogą teraz skorzystać z nowej usługi Prebook Security – bezpłatnej opcji rezerwacji 10-minutowego okna czasowego na przejście przez kontrolę bezpieczeństwa, dostępnej nawet do 4 dni przed wylotem. Jak wynika z badań przeprowadzonych na zlecenie władz portu lotniczego, aż 77% pasażerów wcześniej musiało zdejmować obuwie podczas kontroli, a 37% zmieniał strój z myślą o przejściu przez checkpoint. Wprowadzenie nowych technologii wyeliminowało te niedogodności. Dla 25% podróżnych to właśnie obuwie było najważniejszym elementem garde-roby przy wyborze stroju na lotnisko, a w przypadku młodszych generacji (Gen Z i Milenialsów) odsetek ten to ponad 40%⁶²⁶.

Dbałość o bezpieczeństwo pasażerów – również w zakresie ochrony danych osobowych – to także działania o „miękkim” charakterze. Przykładem może być tutaj współpraca Fundacji Polskich Portów Lotniczych z Urzędem Ochrony Danych Osobowych, zainaugurowana w maju 2025 r., obejmująca wspólną organizację wydarzeń i kampanii informacyjnych. Dzięki temu promowana jest wiedza na temat bezpiecznego podróżowania, ochrony prywatności oraz danych osobowych. Szczególny nacisk kładziony jest na zwiększanie świadomości pasażerów, w tym dzieci, w zakresie zagrożeń, przepisów oraz przysługujących im praw, zarówno podczas podróży krajowych, jak i międzynarodowych. Działania te wpisują się w statutowy cel Fundacji PPL, jakim jest podnoszenie standardów bezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym⁶²⁷.

Dostępność i inkluzywność

Coraz więcej portów lotniczych oferuje wielojęzyczne oznaczenia i personel mówiący w językach pasażerów. Aby sprostać zróżnicowanym potrzebom międzynarodowych podróżnych, porty lotnicze na całym świecie wprowadzają wsparcie wielojęzyczne i usługi uwzględniające różnice kulturowe. Obejmuje to m.in. informacje w różnych językach oraz oferty gastronomiczne i handlowe dostosowane do różnych kultur. Przykładowo, w porcie lotniczym w Monachium podróżni z Chin mogą skorzystać z usług osobistego chińskojęzycznego asystenta zakupowego, który pomaga w poruszaniu się po sklepach, wyborze prezentów, a także udziela informacji dotyczących bezpieczeństwa i odprawy celnej⁶²⁸. W sezonie szczytowym podobna usługa dostępna jest również dla osób mówiących po arabsku⁶²⁹.

625 TSA Testing Self-Service Screening at LAS, news.harryreidairport.com, 13 marca 2024 r.

626 G. Higgins, New security scanning technology now allows faster security processing times at London Luton Airport, 23 października 2024 r.

627 Prezes UODO i Fundacja Polskich Portów Lotniczych zawarły porozumienie o współpracy, uodo.gov.pl, 26 maja 2025 r.

628 Munich Airport reintroduces shopping assistants for Chinese travellers, airport-world.com, 7 maja 2024 r.

629 Munich Airport launches personal shopping service for Arabic travellers, caa.gov.qa, 30 lipca 2024 r.

Port lotniczy w Dallas: wielojęzyczny system nawigacji

Port lotniczy Dallas-Fort Worth wdrożył wielojęzyczny system nawigacji, aby ułatwić poruszanie się pasażerom, którzy słabo znają język angielski lub nie posługują się nim wcale. Działa tam inteligentny system komunikatów w różnych językach, wyświetlanych w kluczowych punktach podróży pasażera – od przylotu, przez odprawę celną, aż po wyjście z terminala lub dotarcie do bramki. Oparty jest on na platformie Passenger360, uruchomionej w 2021 r., początkowo jedynie w Terminalu D. System automatycznie dostosowuje wyświetlane języki do kraju pochodzenia przylatujących lotów, pobierając informacje z bazy danych operacji lotniskowych (AODB). Przykładowo, jeśli przylatują loty z Niemiec, Francji i Brazylii, system wyświetli komunikaty po angielsku, niemiecku, francusku i portugalsku. W przypadku braku lotów międzynarodowych, system pokazuje komunikaty po angielsku i często po hiszpańsku jako drugim języku. Wyświetlane są maksymalnie 4 języki jednocześnie, a animowane grafiki (np. samochód wskazujący wyjście, samolot – bramkę) dodatkowo ułatwiają zrozumienie informacji i szybkie zorientowanie się w kierunku. Priorytety językowe są konfigurowalne i dostosowywane do poziomu znajomości angielskiego wśród pasażerów z różnych krajów⁶³⁰.



Źródło: Synect

Równocześnie powstają przestrzenie i usługi dedykowane osobom z niepełnosprawnościami (poza udogodnieniami infrastrukturalnymi czy udostępnianiem autonomicznych wózków inwalidzkich, obejmuje to także np. zatrudnianie asystentów pomagających w poruszaniu się po terminalu). Spotykane są także np. sensoryczne pokoje wyciszenia dla osób neuroatypowych (amerykańskie porty lotnicze Newark, JFK i LaGuardia w Nowym Jorku), czy tzw. komfortki – specjalnie przystosowane pomieszczenia sanitarne dla osób z niepełnosprawnościami, zapewniające zwiększoną przestrzeń, udogodnienia techniczne i możliwość asysty, umożliwiające bezpieczne i godne korzystanie z toalety oraz higieny osobistej. Udogodnienie takie jest dostępne m.in. na Lotnisku Chopina w Warszawie⁶³¹. Osoby z niepełnosprawnościami mogą także korzystać tam z usługi Valet Parking w niższej cenie (możliwość przekazania samochodu obsłudze bezpośrednio przed terminalem, która następnie parkuje pojazd w bezpiecznej strefie lotniskowej i – na życzenie – może go także zatankować, umyć lub naładować, tak aby był on gotowy do odbioru po przylocie)⁶³².

630 R. Kanable, DFW Uses Passenger360 for Multilingual Wayfinding, aviationpros.com, 20 czerwca 2023 r.

631 Asysta PRM i udogodnienia dla osób z niepełnosprawnościami, lotnisko-chopina.pl.

632 Poznaj Valet Parking, lotnisko-chopina.pl.

Port lotniczy Newark: pokoje sensoryczne

Na terenie portu lotniczego Newark Liberty International funkcjonują dwa pokoje sensoryczne dla podróżnych neuroatypowych (m.in. w spektrum autyzmu, z zaburzeniami przetwarzania sensorycznego, zaburzeniami lękowymi czy obsesyjno-kompulsywnymi). Z pierwszego z nich korzystać można przed kontrolą bezpieczeństwa, z drugiego (otwartego w marcu 2025 r.) – już po jej przejściu. Nowy sensoryczny pokój inspirowany jest dziedzictwem kulturowym wybrzeża New Jersey i cechuje się wystrojem bazującym na motywach podwodnych. Na ok. 130 m² znajdują się niebieskie podłogi, projekcje życia morskiego, interaktywne kolumny z bąbelkami i akwarium, co tworzy kojące, immersyjne środowisko. Najważniejszym elementem pokoju jest replika kabiny samolotu – z realistycznymi siedzeniami, pasami bezpieczeństwa, schowkami nad głową i oknami z cyfrową symulacją widoku z lotu ptaka – która umożliwia podróżnym neuroatypowym zaznajomienie się z doświadczeniem lotu jeszcze przed wejściem na pokład. Sensoryczne pokoje zostały zaprojektowane we współpracy z Anderson Center for Autism, który również przeprowadził szkolenia dla personelu portu lotniczego w zakresie pracy z osobami neuroatypowymi. Proces podróży takich pasażerów został maksymalnie uproszczony: pasażer może przejść z pokoju sensorycznego przed kontrolą do specjalnie przystosowanego stanowiska TSA Cares (usługa asystowanej odprawy), a następnie – bez stresu – do pokoju sensorycznego po kontroli. Terminal A portu lotniczego oferuje również nowe przestrzenie wspierające dobrostan pasażerów – pokój medytacyjny oraz centrum biznesowe. Ten pierwszy to minimalistyczna przestrzeń stworzona do modlitwy, refleksji czy ciszy. Centrum biznesowe znajduje się tuż obok i oferuje komputery, drukarki oraz inne zasoby dla podróżnych podróżujących służbowo⁶³³.



Źródło: Port Authority of New York and New Jersey

Nowa jakość gastronomii i handlu

Odpowiedź na oczekiwania pasażerów to także lokalne produkty, kuchnie regionalne oraz cyfryzacja usług handlowo-gastronomicznych – automatyzacja sklepów (w samym 2025 r. otwarto zautomatyzowane sklepy wykorzystujące AI m.in. w portach lotniczych Adolfo Suárez Madrid-Barajas, Hartsfield-Jackson, Frankfurt) i roboty vendingowe (testy w ostatnich latach m.in. portach lotniczych w Monachium, Pittsburgu, Narita). W obrębie niektórych portów lotniczych funkcjonują też aplikacje mobilne umożliwiające zamawianie i opłacanie posiłków oraz zakupów bezpośrednio z telefonu (m.in. porty lotnicze: w Montrealu, Schiphol, Los Angeles, O'Hare, Cleveland, Seattle-Tacoma, Salt Lake, Denver). Takie innowacje podnoszą jakość obsługi i tworzą dodatkowe źródła przychodu dla portów lotniczych.

⁶³³ Newark Liberty International Airport's Terminal A debuts second sensory room, setting new standard for supporting neurodivergent and special needs travelers, panynj.gov, 25 marca 2025 r.

Testy robotów vendingowych

W listopadzie 2022 r. w porcie lotniczym Pittsburgh International przeprowadzono testy autonomicznego robota vendingowego Ottobot. Poruszał się on po terminalu na kółkach i dostarczał zamówienia złożone za pomocą aplikacji mobilnej. W ramach testów można było zamawiać darmową wodę butelkowaną i napoje gazowane. Ottobot nie był jedynym autonomicznym robotem w porcie lotniczym w Pittsburgu – terminal patrolują również maszyny do czyszczenia podłóg⁶³⁴.



Źródło: Munich Airport

W marcu 2024 r. port lotniczy w Monachium rozpoczął testy innowacyjnego, autonomicznego robota vendingowego Jeeves. Pierwszy na świecie lotniskowy „snackbot” oferuje pasażerom możliwość zakupu schłodzonych napojów bezalkoholowych i przekąsek za pomocą różnych metod płatności bezgotówkowych (Apple Pay, Google Pay, karty kredytowe). Mierzący 1,1 m wysokości Jeeves poruszał się autonomicznie na poziomach 4 i 5 w Terminalu 2, zatrzymując się, gdy pasażerowie zbliżali się do niego. Zakupy realizowane były za pomocą dużego ekranu dotykowego. Robot, opracowany przez monachijski start-up Robotise, był testowany przez rok przez Terminal 2 Gesellschaft, joint-venture portu lotniczego w Monachium i Lufthansy⁶³⁵.

W marcu 2025 r. testy robota vendingowego przeprowadzono także w tokijskim porcie lotniczym Narita. Poruszał się on po obszarze Terminalu 1, oferując sprzedaż lokalnych produktów oraz przedmiotów związanych z kulturą Japonii. Testowanym mobilnym robotem vendingowym był PIMTO, wyprodukowany przez firmę Panasonic HD⁶³⁶.

Przykładem nowoczesnego portu lotniczego, który traktuje dbałość o Passenger Experience w innowacyjny sposób, nie jako jednorazowy projekt, lecz ciągły i złożony proces oparty o dane, empatii, technologii i wizji, jest południowokoreańskie Incheon Airport. Jako pierwsze na świecie uzyskało ono w 2022 r. najwyższy, piąty poziom akredytacji ACI w zakresie PX, wyznaczając tym samym nowy standard w branży lotniczej⁶³⁷. U podstaw jego działań znajduje się głębokie zrozumienie potrzeb i emocji pasażerów. Nie ogranicza się ono do klasycznych badań satysfakcji – prowadzi całoroczne badania behawioralne, analizując m.in. cel podróży, towarzystwo, emocje w poszczególnych punktach styku czy preferencje zakupowe. Do tego wykorzystywane są narzędzia takie jak Passenger Journey Map i „awatary” pasażerskie, które umożliwiają modelowanie zróżnicowanych profili podróżnych i dopasowanie usług do ich oczekiwań. Również inne innowa-

⁶³⁴ R. Deto, Autonomous Vending Robot Being Tested at Pittsburgh International Airport, aviationpros.com, 28 listopada 2022 r.

⁶³⁵ Munich Airport introduces innovative JEEVES service robot, internationalairportreview.com, 6 marca 2024 r.

⁶³⁶ Field Trials for PIMTO Mobile Robot Vending Service to be Conducted at Narita International Airport, news.panasonic.com, 17 marca 2025 r.

⁶³⁷ Incheon Airport becomes world's first to achieve highest level of Airport Customer Experience Accreditation, aci.aero, 15 września 2022 r.

cje technologiczne wykorzystywane są do poprawy doświadczeń pasażerów. Wśród wdrożonych rozwiązań znajduje się m.in. platforma śledzenia bagażu, pozwalająca pasażerowi na bieżąco monitorować lokalizację jego walizki. To rozwiązanie nie tylko redukuje stres związany z ewentualną utratą bagażu, ale też zwiększa transparentność procesu podróży. Innym przykładem jest wykorzystanie technologii rozpoznawania twarzy do zautomatyzowania odprawy, kontroli bezpieczeństwa i boardingu – dzięki temu podróżni mogą przejść przez port lotniczy z „wolnymi rękami”, bez konieczności wyciągania dokumentów czy biletów. Na uwagę zasługują też autonomiczne roboty Air-Star, które nie tylko pomagają pasażerom w orientacji na terminalu, ale również tworzą okazję do wyjątkowego doświadczenia – umożliwiają zrobienie pamiątkowego zdjęcia i przesłanie go na e-mail lub telefon.

Incheon Airport realizuje także koncepcję „Art & Culture Airport”, co przekłada się na obecność ekspozycji artystycznych, wydarzeń kulturalnych oraz elementów estetycznych, które podnoszą jakość przebywania w przestrzeni lotniskowej. Takie działania nie tylko umilają czas oczekiwania, ale pozwalają na kontakt z koreańską kulturą i wartościami jeszcze przed opuszczeniem terminala⁶³⁸.

Dążąc do stworzenia środowiska „stress-free” i „hassle-free”, Incheon Airport planuje rozwiązania, które zmieniają tradycyjne podejście do podróży. Przykładowo, w przyszłości bagaż ma być odbierany z domu, a cały proces w porcie lotniczym – od odprawy po boarding – ma być bezkontaktowy i w pełni zautomatyzowany. Wszystko po to, by maksymalnie odciążyć pasażera i umożliwić mu pełne skupienie na przeżywaniu podróży⁶³⁹.

638 S. Yoon, Creating an Art & Culture Airport, internationalairportreview.com, 11 marca 2024 r.

639 S. Subbaiah, Incheon Airport: Delivering a World-Class Passenger Experience, aci-asiapac.aero, 2 maja 2023 r.





Podsumowanie – jakie będą porty lotnicze przyszłości?

6. Podsumowanie – jakie będą porty lotnicze przyszłości?

Porty lotnicze przyszłości staną się innowacyjnymi węzłami transportowymi i energetycznymi, zintegrowanymi z otoczeniem gospodarczym, społecznym i środowiskowym. Będą one pełnić rolę inkubatorów nowoczesnych technologii, gdzie nowe rozwiązania z zakresu automatyzacji, zrównoważonego rozwoju, zarządzania danymi i napędów alternatywnych będą testowane w warunkach rzeczywistych. Tzw. living labs i huby innowacyjności (innovation hubs)⁶⁴⁰ umożliwią prowadzenie eksperymentów technologicznych, takich jak autonomiczne pojazdy, systemy zarządzania energią (np. mikrosieci), cyfrowa tożsamość pasażera czy innowacyjne systemy HVAC sterowane przez AI. Coraz większe znaczenie zyskują również rozwiązania wspierające transformację energetyczną: zasilanie obiektów energią słoneczną, wdrażanie zielonego wodoru, infrastruktura do ładowania samolotów elektrycznych czy konwersja GSE na napędy zeroemisyjne.

Porty lotnicze będą również odgrywać kluczową rolę w adaptacji sektora do zmian klimatycznych – nie tylko jako element infrastruktury odpornej na skutki tych zmian, lecz także jako aktywny uczestnik dekarbonizacji lotnictwa. Nowoczesne systemy zarządzania emisjami, automatyzacja operacji naziemnych, precyzyjne sterowanie zużyciem energii i wody oraz recykling odpadów staną się integralną częścią ich funkcjonowania. Jednocześnie przyszłe porty lotnicze będą budować relacje ze społecznościami lokalnymi, promując przejrzystość działań środowiskowych, edukację i włączanie interesariuszy w procesy decyzyjne. Dzięki zastosowaniu technologii wizualnych, danych w czasie rzeczywistym i mediów społecznościowych, komunikacja z pasażerami i mieszkańcami będzie bardziej otwarta, zrozumiała i interaktywna.

Transformacja portów lotniczych nie ograniczy się do technologii – obejmie również zmianę modelu zarządzania i kultury organizacyjnej. Innowacje będą wymagały elastycznych struktur zarządzania, współpracy z uczelniami, sektorem prywatnym i start-upami, a także rozwoju nowych kompetencji wśród pracowników. Powstaną nowe stanowiska pracy, wymagające przede wszystkim kompetencji cyfrowych, a zespoły będą wspierane w generowaniu i wdrażaniu pomysłów związanych z transformacją cyfrową, ekologią i poprawą Passenger Experience. Równolegle rozwijać się będą intermodalne systemy transportowe, integrujące transport lotniczy z kolejami dużych prędkości, transportem publicznym, autonomicznymi pojazdami i systemami AAM. Przyszłe porty lotnicze będą więc nie tylko punktami przesiadkowymi, lecz także wielofunkcyjnymi centrami innowacji, gospodarki, komunikacji i zrównoważonego rozwoju – w myśli idei Airport 4.0 i Smart Airport.

⁶⁴⁰ Zob. np. Innovation and Technology in Airport Sustainability. Eco Airport Toolkit 2023, ICAO, 2023, passim.

Spis rysunków, tabel i wykresów

7. Spis rysunków

Rysunek 1. Wyniki Call4Startups **s. 48**

Rysunek 2. Projekty w ramach amerykańskiego programu SMART w latach 2022–2024 w podziale na typy (stage 1) **s. 51**

Rysunek 3. Regulacje i cele w zakresie SAF w wybranych państwach **s. 71**

Rysunek 4. Etapy podróży opartej o cyfrową transformację **s. 79**

Rysunek 5. Procedury przeprowadzania uwierzytelniania biometrycznego **s. 93**

Rysunek 6. Zastosowanie technologii AI na różnych etapach podróży pasażera **s. 104**

Rysunek 7. Zastosowanie IoT w portach lotniczych w zakresie obsługi pasażera i operacji lotniczych **s. 109**

Rysunek 8. Sfery działalności portów lotniczych wspierane przez 5G **s.118**

Rysunek 9. Zastosowanie 5G w portach lotniczych **s. 120**

Rysunek 10. Wymiary mobilności lotniskowej **s. 127**

Rysunek 11. Zasięg airport city i aerotropolis **s. 130**

Rysunek 12. Schemat pokazujący obsługę londyńskiego portu lotniczego Heathrow przez różne środki transportu publicznego **s. 134**

Rysunek 13. Kategorie przyszłych usług AAM wg DLR **s. 151**

Rysunek 14. Przykładowe elementy strategii HR portów lotniczych w odniesieniu do wewnętrznych i zewnętrznych potrzeb pracowników **s. 182**

Spis tabel

Tabela 1. 10 największych rynków lotniczych pod względem ruchu pasażerskiego – w 2023 r. i prognozy ACI dla 2043 i 2053 r. **s. 29**

Tabela 2. Megatrendy w branży lotniskowej w horyzoncie czasowym 2030, 2040 i 2050 r. wg Oliver Wyman i ACI **s. 33**

Tabela 3. Przykłady aktualnych naborów w ramach programu Horyzont Europa ogłoszonych przez partnerstwo SESAR oraz Clean Aviation **s. 42**

Tabela 4. Przykłady naborów i inicjatyw w ramach programu dofinansowań Connected Places Catapult **s. 49**

Tabela 5. Przykłady projektów realizowanych w portach lotniczych w ramach krajowych i międzynarodowych programów wsparcia **s.56**

Tabela 6. Etapy dojrzałości cyfrowej portów lotniczych – model Airport Maturity **s. 80**

Tabela 7. Przyszłościowe technologie w lotniczym cargo wg IATA **s. 83**

Tabela 8. Zastosowanie IoT w inteligentnych technologiach lotniskowych **s. 108**

Tabela 9. Charakterystyka różnych rodzajów dronów (UAVs) **s. 123**

Tabela 10. Rodzaje i modele eVTOL (stan na koniec 2024 r.) **s. 152**

Tabela 11. Przykładowe trendy i rozwiązania technologiczne mające wpływ na rynek pracy w sektorze lotniczym **s. 168**

Tabela 12. Charakterystyka grup pokoleniowych w kontekście pracy **s. 172**

Spis wykresów

Wykres 1. Długoterminowa globalna prognoza lotniczego ruchu pasażerskiego do 2053 r. wg ACI World (mld pasażerów) **s. 28**

Wykres 2. Długoterminowa globalna prognoza lotniczego cargo do 2053 r. wg ACI World (mln ton) **s. 30**



Bibliografia

8. Bibliografia

- 10,000 new charging stations for electric vehicles, schiphol.nl, 15 listopada 2022 r.
- 111 e-buses launched in Amsterdam – Schiphol: 85 per cent of the concession is now zero emission, sustainable-bus.com, 6 kwietnia 2022 r.
- 2025 Vision for the Future of Air Cargo Facilities, IATA, 2025.
- 3D Printing, crp.trb.org, 7 maja 2021 r.
- 5G connectivity for Vienna Airport, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.
- 5G in European Airports: Enhancing Connectivity and Passenger Experience, telecomrevieweurope.com, 19 listopada 2024 r.
- 5G Network Solutions for Airport Operations. Hong Kong International Airport, gsma.com, 2023.
- 'Dave' the robot dog reports for duty at Heathrow Airport, macegroup.com, 5 grudnia 2022 r.
- O. Abbasi, Artificial Intelligence at Airports: Revolutionizing Airport Management, embross.com, 3 września 2024 r.
- About iCargoNet, cargo.dnata.sg.
- Abu Dhabi and archer Announce Agreement With Cross-Industry Stakeholders to Launch First Commercial Electric Air Taxi Flights, businesswire.com, 6 grudnia 2024 r.
- S. Abu Hmeidan, The Future of Airport Workforce, Airport International Group, grudzień 2022 r.
- ACI Europe survey on the impact of digitalisation and automation on the Passenger Experience, ACI Europe, październik 2024.
- ADR: Rome Fiumicino Airport's new Solar Farm unveiled 55,000 silicon panels make up the biggest airport photovoltaic system in Europe, among the largest in the world, adr.it, 20 stycznia 2025 r.
- Advanced Air Mobility (AAM), munich-airport.com.
- Advanced Air Mobility. A New Architectural Typology, IDOM, marzec 2023 r.
- Advanced systems and solutions for Better practices Against hazards in the aviation System, cordis.europa.eu, 15 września 2022 r.
- Aerotropolis: Cities of the Future: Exploring the Concept of Aerotropolis, fastercapital.com, 5 czerwca 2024r.
- Agencja Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego, easa.europa.eu
- Airbus, Kansai Airports, and Kawasaki Heavy partner on hydrogen infrastructure feasibility study, japanaviationhub.com, 21 października 2024 r.
- Aircraft concept and key technologies integration and impact assessment, ec.europa.eu, 11 kwietnia 2025r.
- Aircraft Stand Electrification at Lyon Saint-Exupéry Airport, ec.europa.eu, 6 maja 2025 r.
- Airline Retailing. An industry vision for Offers and Orders, IATA, październik 2021.
- Airlines Set to Earn 2.7% Net Profit Margin in Record Revenues in 2024, iata.org, 6 grudnia 2023r.
- Airport AI Alliance, airportaalliance.ai.
- Airport Cooperative Research Program (ACRP), faa.gov, 28 grudnia 2025 r.
- Airport Cooperate Research Program (ACRP), trb.org.
- Airport Improvement Program (AIP), faa.gov, 28 kwietnia 2025 r.
- Airport invests in electric ground power units, cologne-bonn-airport.com, 26 września 2024 r.
- Airport-Level Demonstration of Ground refuelling of Liquid Hydrogen for Aviation, cordis.europa.eu, 8 stycznia 2024 r.
- airport sustainability second life battery storage, ec.europa.eu, 3 maja 2025 r.
- Airport Terminal Program, transportation.gov, 6 maja 2025 r.
- AI in Airports, isarsoft.com, 25 marca 2025 r.
- AI improves Munich Airport's car rental experience, internationalairportreview.com, 24 marca 2023 r.
- M. AlSeddiqi, The power of AI and machine learning for airport operations, internationalairportreview.com, 18 września 2024 r.
- Air Quality, hongkongairport.com.
- K. Allan, Exploring hydrogen fuel's potential for GSE, airport-technology.com, 24 lutego 2025 r.
- Alstom's first airport APM 300 system at New Chengdu Tianfu International Airport enters service, alstom.com, 28 czerwca 2021 r.
- Air passenger demand forecasting: The future of global air travel (2024–2044), iata.org, 21 lutego 2025 r.
- Airport Categories, faa.gov., 7 grudnia 2022 r.
- Airport Commercial Digital Transformation. Best Practices, ACI World, 2024.
- Airport Economic Zone: Beijing Daxing International Airport celebrates 5th anniversary, news.cgtn.com,

27 września 2024 r.

- Airport Internet of Things market Analysis – Industry Size, Share, Research Report, Insights, Covid-19 Impact, Statistics, Trends, Growth and Forecast 2025–2034, markwideresearch.com, styczeń 2025.
- Airport surface access, The Chartered Institute of Logistics and Transport, marzec 2024.
- Alternative Fuels Infrastructure Facility - Co-funding Rate, ec.europa.eu, 10 marca 2025 r.
- M. H. Amiri, A. O. Kusacki, A Scoping Review of Artificial Intelligence Applications in Airports, [w:] „Computational Research Progress in Applied Science and Engineering”, 10(02), lipiec 2024.
- Amsterdam Airport Schiphol, ibm.com.
- An Environmental Management, icao.int.
- ANA Procures Sustainable Aviation Fuel Blended in Japan, anahd.co.jp, 30 marca 2023 r.
- J. Andrews, Phoenix airport becomes first to offer 24-hour AV transport, cities-today.com, 31 sierpnia 2024r.
- Announcing HyFIVE: the UK consortium spearheading hydrogen fuel system development, marshallgroup.com, 5 marca 2024 r.
- A Primer to Prepare for the Connected Airport and the Internet of Things, The National Academies of Sciences Engineering Medicine 2018.
- K. Aravind, The Critical Role AI Plays in Reshaping Airports, airport-technology.com, 18 marca 2024 r.
- Artificial Intelligence in Air Freight: Transforming the Industry, expedock.com, 12 lutego 2025 r.
- Artificial Intelligence Roadmap 2.0. Human-centric approach to AI in aviation, Version 2.0, EASA, maj 2023.
- S. Asaf, Hong Kong Airport is using virus-killing robots to disinfect public areas, BusinessTraveller.com, 5 kwietnia 2020 r.
- Asia's sustainable aviation fuel tasks and agreements, logistics.maritimeprofessional.com, 10 lipca 2024 r.
- Assessing the benefits of 'end-to-end' thinking at airports, Vanderlande.com.
- Asysta PRM i udogodnienia dla osób z niepełnosprawnościami, lotnisko-chopina.pl.
- ATM impact on climate change, ec.europa.eu, 10 kwietnia 2025 r.
- Auto-Steer Taxi at AIRport, cordis.europa.eu, 2 maja 2025 r.
- Aurigo introduces autonomous vehicles to Inverness Airport and beyond, in the Scottish Highlands and Islands, aurigo.com, 20 sierpnia 2024 r.
- Aurigo successfully trials autonomous technology at Stuttgart Airport to optimise baggage and cargo handling, futuretravelexperience.com, czerwiec 2024.
- Aurigo tech set for lift off after validation in Amsterdam, theengineer.co.uk, 11 kwietnia 2025 r.
- Aurigo to introduce four new autonomous baggage handling vehicles at Changi Airport, payloadasia.com, 15 maja 2024 r.
- Automated People Mover, daep.gov.ae.
- Automated People Mover (APM) | Passenger Transport System (PTS), zatran.com.
- Aviation, iea.org.
- Aviation Development Fund, caas.gov.sg
- Aviation Non-CO2 Experts Network, easa.europa.eu.
- Avinor plans procurement of electric aircraft chargers as part of test arena for zero and low-emission aviation, futuretravelexperience.com, styczeń 2025 r.
- V. Azarova, H. Singh, A. Shams, Unraveling Willingness to Pay for Sustainable Aviation Fuel, rmi.org, 17 września 2024 r.
- Baggage robot takes over the heavy lifting, schiphol.nl, 27 listopada 2023 r.
- J. Bailey, Combined air-rail tickets: How to fly, ride and explore Europe on one booking, 11 marca 2025 r.
- M. Barnard, Dangerous Downwash Is The 15th Reason Why A Jetsons EVTOL Future Won't Happen, cleantecnica.com, 6 stycznia 2025 r.
- M. Barnard, Dwindling List of EVTOL Firms Shrinks Further, cleantecnica.com, 27 stycznia 2025 r.
- T. Batchelor, Robots: Airports benefit from automation, airportsinternational.com, 5 czerwca 2024 r.
- J. Bates, Vision of the Future of US Airports, airport-world.com, 28 września 2023 r.
- K. Bekele, Ethiopia plans mega airport city to deliver global hub, timesaerospace.aero, 5 lutego 2025 r.
- Benefits of Innovation on the Future Air Traveller's Journey: Airport Experience, Riyadh Airports, maj 2024r.
- Bergen Airport flies into the future with electric airplane trials, investinbergen.no, 19 listopada 2024 r.
- J. Bhatia, How data can augment the airport throughput, waisl.nl, 1 maja 2024 r.
- N.P. Bhatt, R. Zhang, M. Ning i in., WATonoBus: Field-Tested All-Weather Autonomous Shuttle Technology, University of Waterloo, 14 sierpnia 2024 r.
- Biodiversity, hongkongairport.com.
- Biometric bag IDs: A future without tags, beimergroup.com.
- Biometric evolution delivers seamless airport journeys, theairportshow.com, 21 lutego 2024 r.

- T. Borms, How AI and smart funnels are optimizing the passenger experience, internationalairportreview.com, 16 stycznia 2025 r.
- P. Brinkmann, Proposal to fly these air taxis in Paris during the Olympics brings pushback, aerospaceamerica.aiaa.org, 26 lutego 2024 r.
- British Airways to trial AI-powered robots at Heathrow T5, airport-technology.com, 20 grudnia 2019 r.
- J. Brownlow, Reskilling for the AI era: How gen AI is changing the industry landscape, worldaviationfestival.com, 30 stycznia 2025 r.
- F. Brummer, O. Chéret, M. Goulmy, R. Riedel, Final approach: How airports can prepare for advanced air mobility, mckinsey.com, 19 listopada 2021.
- Brussels Airport and skyes launch HERON project demonstration flights, internationalairportreview.com, 9 października 2024 r.
- Brussels Airport launches H2 fuel pilot with mobile refueling station, hydrogeneurope.eu, 21 czerwca 2024r.
- Brussels Airport, VIL and DHL tested hydrogen technology for ground handling equipment, greendealstargate.eu, 26 czerwca 2024 r.
- BSR Hydrogen Air Transport – Preparation of Baltic Sea Region Airports for Green Hydrogen, interreg-baltic.eu.
- Building a Resilient Aviation Workforce, Airports Council International, Airport Services Association, 2024.
- T. Burman, China's 2030 High-Speed Rail Goal, newsweek.com, 2 stycznia 2025 r.
- S. Calder, Heathrow power outage: How airport chaos unfolded as cause remains 'unknown', independent.co.uk, 28 maja 2025 r.
- Call for Expressions of Interest: Airside Automated Pavement Inspection, cp.catapult.org.uk.
- J. Cantizani-Esteva, P. Vera-Soto, C. Baena, E. Baena, R. Barco, S. Fortes, Analysis of 5G Technology in Airports: Requirements, Challenges, and Use Cases Evaluation, IEEE Access, 23 listopada 2023 r.
- L. Caparelli, Enhancing Efficiency and User Experience at Airports: HUB Parking Technology at Passenger Terminal Expo 2025, hubparking.com, 4 marca 2025 r.
- Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), icao.int.
- CEF Transport 2024 calls do proposals, cinec.europa.eu.
- S. Chakravarty, How International Airports Are Adopting Automated People Movers?, marketresearchreports.com, 19 czerwca 2024 r.
- Changi Airport in Singapore to Utilize Auto-DollyTug Autonomous Electric Baggage Vehicles, assemblymag.com, 14 maja 2024 r.
- Changi Airport elevates customer experience with revamped loyalty programme, internationalairportreview.com, 8 października 2024 r.
- Changi Airport to Invest S\$3 Billion over Next Six Years to Strengthen Singapore's Position as a Global Air Hub, caas.gov.sg, 7 listopada 2024 r.
- Charlotte Douglas International Airport Stormwater Management Strategy, hdrinc.com.
- Check-in at Jewel's early check-in lounge or via mobile check-in, changiairport.com.
- M. Chen, J. D. Kasarda, The Airport City and Aerotropolis: Concept and Examples, 22 października 2022 r.
- V. Chitrakar, S. A. Puthiyaveetil, V. V. Chandran, V. Gopan, Artificial Intelligence in Air Cargo System, [w:] „SAE Technical Paper”, maj 2022 r.
- L. Christou, Fraport ramps up biometric security with Zwipe, airport-technology.com, 31 maja 2022 r.
- CITYAM, interreg-baltic.eu.
- Cobots: Cooperation between humans and machines, cargo-partner.com.
- Committee on Aviation Environmental Protection, icao.int
- Community Engagement, dublinaairport.com.
- Connected & Autonomous Vehicles - Part 2, gebelrtooth.co.uk, 26 października 2020 r.
- Connecting Europe Facility (CEF) for Transport, transport.ec.europa.eu, 22 lipca 2024 r.
- Construction to begin on Glatt revitalisation project: more biodiversity and recreational area at Zurich Airport, newsroom.flughafen-zuerich.ch, 10 grudnia 2024 r.
- J. C. Convey, New era in travel: airports, airlines continue to be sweet spot for biometrics, biometricupdate.com, 10 grudnia 2024 r.
- Copenhagen Airport: a Lighthouse for the introduction of sustainable aviation solutions for the future, cordis.europa.eu, 24 lutego 2025 r.
- T. Craig, Hamad trials autonomous vehicles, airportsinternational.com, 20 lutego 2025 r.
- Cranfield University part of ground-breaking airport hydrogen trial, cranfield.ac.uk, 11 kwietnia 2024 r.
- S.R. Crouse, S.C. Box, S.R. Winter, S. Rice, Support for green initiatives in aviation: A case study across American aviation consumers, [w:] „Journal of the Air Transport Research Society”, vol. 2, czerwiec 2024.

- S. Crowe, CVG first US airport to deploy Advibots Neo floor-scrubbing robot, therobotreport.com, 7 kwietnia 2020 r.
- December Edition: The OAG Airline-Tech Innovation Radar, oag.com, 5 grudnia 2024 r.
- Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2481 z dnia 14 grudnia 2022 r. ustanawiającego program polityki „Droga ku cyfrowej dekadzie” do 2030 r., PE/50/2022/REV/1, Parlament Europejski, 14 grudnia 2022 r.
- Decyzja 2025/519 w sprawie procesu wprowadzenia ograniczeń operacyjnych w porcie lotniczym Schiphol zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 598/2014, sip.lex.pl, 18 marca 2025 r.
- Delhi airport to launch India's first air train by 2027, indiatoday.in, 25 września 2024 r.
- Delivering Change – How advanced Analytics Transformed Air Freight's Guessing Game, medium.com, 26 października 2020 r.
- DemonsTrating lower pollUting soLUtions for sustalnable airPorts acrosS Europe, cordis.europa.eu, 14 listopada 2024 r.
- Design of an InterRegional eAirport, amd.sigma, czerwiec 2023 r.
- Destination 2050 – A Route to Net Zero European Aviation, Royal Netherlands Aerospace Centre, SEO Amsterdam Economics 2025.
- R. Deto, Autonomous Vending Robot Being Tested at Pittsburgh International Airport, aviationpros.com, 28 listopada 2022 r.
- Developing Airport City into World-leading New Landmark with Expanded Blueprint, hongkongairport.com, 24 października 2024 r.
- Developing Sustainable Aviation Fuel (SAF), iata.org.
- Development and Use of SAF (Sustainable Aviation Fuel), jal.com.
- DFW Airport Partners with AT&T to Bring an Elevated Wi-Fi and Wireless Experience, dfwairport.com, 4 maja 2023 r.
- DHL Express electrifies a third of ground fleet at Brussels Airport, groundhandlinginternational.com, 19 czerwca 2024 r.
- C.D. Diaz Moreno, Artificial Intelligence in Airport Security: How AI Can Increase Airport Safety?, Liberty University, kwiecień 2024 r.
- Digital Transformation in Airports, crp.trb.org, 7 września 2022 r.
- Y. Ding, K. Wang, L. Zhang, X. Qu, Exploring the benefits of personal rapid transit in metropolitan area, [w:] „Communications in Transportation Research”, vol. 4, grudzień 2024.
- Driverless staff bus starts running at airport, news.rth.hk, 12 maja 2023 r.
- T. Dolzall, Airbus Helicopters Suspends CityAirBus UAM Launch Plan, 31 stycznia 2025 r.
- Drones for bird hazard control at Southampton Airport, ferrovial.com.
- L. F. Dsouza, Top 10 Ways 6G Will Transform Aviation: From Connectivity to Operations, medium.com 5 lipca 2024 r.
- Dubai Airport cuts waste to landfills by 60 per cent, esgmena.com, 30 listopada 2023.
- Dubai airport unveils 'smart tunnels' for faster passport control, arabnews.com, 11 października 2018 r.
- N. Dunets, How Biometrics Is Revolutionizing the Airport Security and Boarding Process, regulaforensics.com, 31 stycznia 2025 r.
- A. Duvall, S. Young, J. Dean. C. Endsley, Automated Mobility Platforms (AMPs) for Versatile, Energy Efficiency, Facility and District Scale Transport, NREL 2022.
- A. Duvall, S. Young, J. Fish, A. Henao, J. Sperling, B. Powell, S. Lott, Roadmap to Automated Mobility Systems: Informing the Planning of a Sustainable, Resilient Transportation for Dallas/Fort Worth International Airport, NREL, grudzień 2022.
- Driving innovation: Transforming the airport car rental industry with aviation data, OAG, 23 kwietnia 2024r.
- Działanie FENX.04.03 Infrastruktura lotnicza w TEN-T, cupt.gov.pl
- EASA Launches EU Sustainable Aviation Fuels Clearing House, aerospacetestinginternational.com, 9 lipca 2024 r.
- Edinburgh Airport Surface Access Strategy, Edinburgh Airport, kwiecień 2024 r.
- eGate, customs.govt.nz, 26 maja 2025 r.
- EHang Showcases EH216 Series and VT-30 Pilotless eVTOL Aircraft at DRIFTx, EH216-S Completes Debut Flight in Abu Dhabi, ehang.com, 29 kwietnia 2024 r.
- K. Eke, Current Trends in Passenger Experience at Airports Worldwide, munich-airport.com, 2025.
- Electrification Takes Off: The Future of Airport Ground Support Equipment, brogenevsolutions.com, 25 listopada 2024 r.
- Electric ground support equipment at airports, European Alternative Fuels Observatory.

- Electric Ground Support Equipment at Airports, NREL.
- Electrification of Sofia Airport Ground Operations, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.
- Electrification of ground operations at Montpellier Mediterranee Airport, ec.europa.eu, 5 maja 2025 r.
- Electrifying airport ground fleets: Challenges & solutions, volteum.io, 9 października 2024 r.
- S. Elmore, Airports Council Launches Strategic Workforce Development Accreditation, airports council.org, 6 lutego 2025 r.
- H. El-Saidi, M. Orfanini, E. Orfanini, Design and Analysis of Drone for Foreign Object Debris (FOD) Detection in the Airport, Proceedings of the 10th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM'24), Barcelona, 22–24 sierpnia 2024 r.
- eMago – Electrification of Milan Airports' Ground Operations, milanairports.com.
- Emirates launches integrated biometric path at Dubai International Airport, gtm.uk.com, 26 października 2020 r.
- Emirates operates milestone demonstration flight powered with 100% Sustainable Aviation Fuel, emirates.com, 30 stycznis 2023 r.
- Employee Experience (EX) Design in Airlines & Aviation: Examples & Case Studies, renaissance.io, 7 sierpnia 2024 r.
- Employment, aviationbenefits.org, 2024.
- C. Epstein, Vertical Flight Society Assesses eVTOL Market Churn, ainonline.com, 12 marca 2025 r.
- EU Funding & Tenders Portal, ec.europa.eu.
- Exploring the Need for IoT in Airports, iot2market.com, 12 grudnia 2022 r.
- Fabrum, Christchurch Airport partner to launch hydrogen testing facility, airport-technology.com, 12 lutego 2025 r.
- R. Farley, Human resources insights: Heathrow Airport's people-first strategy, hendrick.com, 10 stycznia 2022 r.
- Fast and Seamless Travel (FAST), changiairport.com.
- A. Fidato, Integrating emerging technologies into airport operations, internationalairportreview.com, 15 lipca 2024 r.
- Field Trials for PIMTO Mobile Robot Vending Service to be Conducted at Narita International Airport, news.panasonic.com, 17 marca 2025 r.
- Financing Sustainable Aviation Fuel: Case Studies and Implications for Investment, reports.weforum.org, luty 2025 r.
- T. Fingert, Self-driving pods pilot program to arrive at Atlanta's airport, fox5atlanta.com, 18 września 2024 r.
- First airport with wireless e-bus charging in the world. US: Kansas Airport turns to Momentum Dynamics, sustainable-bus.com, 3 stycznia 2022 r.
- H. El Fkharany, Applying Biometric Technology for Enhancing Airports' Efficiency: A Technology Acceptance Model as an Assessing Tool, [w:] „The International Journal of Tourism and Hospitality Studies”, vol. 3, nr 2, październik 2022 r.
- Flight Test Demonstration of Hybrid-Electric Propulsion for Regional aircraft, ec.europa.eu, 11 kwietnia 2025 r.
- Flying into the metaverse with YVR's digital twin, unity.com.
- T. Forsström, Leading the way and aiming higher – how Swedavia strives for more within the Airport Carbon Accreditation framework, internationalairportreview.com, 17 stycznia 2025 r.
- Frequently Asked Questions on UAM, EASA.
- From Airports to Mobility Hubs: Leveraging existing infrastructure for AAM, Wisk, wrzesień 2021 r.
- From manual to automated: A deep dive into AGVs in air cargo, lodige.com.
- Future dAta Services and applicaTions for airports and Network, cordis.europa.eu, 25 lipca 2023 r.
- Generative AI and Aviation. Finding crossroads for future implementation, IATA, 2023 r.
- Generational Differences in the Workplace, purdueglobal.edu.
- E. Gent, Robotic Falcon Keeps Birds Away From Airports. Is its large silhouette the real scare factor?, spectrum.ieee.org, 6 listopada 2022 r.
- A. M. Geske, D. M. Herold, S. Kummer, Artificial intelligence as a driver of efficiency in air passenger transport: A systematic literature review and future research avenues, [w:] „Journal of the Air Transport Research Society”, vol. 3, grudzień 2024.
- M. Ghoush, Elevating Air Travel: The Evolution of Airports with Automation, inxee.com, 22 lutego 2024 r.
- Glasgow Airport to become UK's first Connected Airport Living Lab, cp.catapult.org.uk, 7 lutego 2023 r.
- Glasgow Airport's Living Lab Digital Twin Competition, cp.catapult.org.uk.
- Global Airport IoT Market Growth, Share, Size, Trends and Forecast (2025 - 2031), reanin.com, marzec 2025.

- Global Airport IOT Market Overview, merketresearchfuture.com, kwiecień 2025 r.
- Global airport training courses and programs, aci.aero.
- Global Outlook for Air Transport. Highly Resilient, Less Robust, IATA, czerwiec 2023.
- B. Gonzalez, Airports biometric check-ins grow as US eyes security check adoption, 3 listopada 2023 r.
- M. Graff, Wodór jako paliwo – zalety i wady, [w:] „Technika Transportu Szynowego”, nr 5–6/2020.
- A. Grant, How AI can boost airport security, passengerterminaltoday.com, 26 listopada 2023 r.
- Green Taxi Solutions and StandardAero Partner to Certify First Electric Aircraft Taxiing (eTaxi) System, standardaero.com, 3 czerwca 2025 r.
- Ground Operations of Liquid hydrogen Aircraft, cordis.europa.eu, 19 kwietnia 2024 r.
- Ground Ops of the Future, IATA.
- Guidebook for Planning and Implementing Automated People Mover Systems at Airports, Waszyngton 2010.
- Gulf railway project picks up steam, sovereigngroup.com, 11 marca 2025 r.
- S. Hacıaloglu, New high-speed rail to link Istanbul Airport to Sabiha Gokcen Airport, turkiyetoday.com, 27 grudnia 2024 r.
- HADeS Competition 2024, cp.catapult.org.uk.
- W. Hallowell, Autonomous GSE and the future of airside operations, airsideint.com, 28 listopada 2024 r.
- W. Hallowell, How industry trends are shaping GSE procurement, [w:] „Airside International”, zima 2024.
- Hamad International Airport Marks One Year Since The Opening Of “ORCHARD”, dohahamadairport.com, 28 listopada 2023 r.
- E. Hardy, WFS and Aena launch trial of Automated Guided Vehicles for cargo transportation at Barcelona airport, aircargoweek.com, 27 marca 2023 r.
- HARMONised network through smart technology and Collaboration, cordis.europa.eu, 25 lipca 2023 r.
- C. Hen, How AI is reshaping the aviation industry, groundhandlinginternational.com, 9 stycznia 2025 r.
- E. Head, How Regent’s seaglider is melding maritime and aviation tech, theaircurrent.com, 6 marca 2025 r.
- Heathrow Airport Partners With Sensor Dynamics To Install A New Taxi Management System, sensordynamics.com, 8 listopada 2024 r.
- Heathrow announces plans for an additional Personal Rapid Transit (PRT) system, ultraglobalprt.com, 13 lutego 2013 r.
- Helping aviation become leaner & greener, Alvest 2024.
- Helsinki Airport to track passenger flows with new technology, moodiedavittreport.com, 30 lipca 2014 r.
- Helping the City of Angels Take Flight, greshamsmith.com.
- Helping Reduce Staff Workload at US Airports with the “MIT” AGV-Based Inspection Table, Daifuku.com, 15 grudnia 2023 r.
- G. Higgins, New security scanning technology now allows faster security processing times at London Luton Airport, 23 października 2024 r.
- G. Higgins, Rome Fiumicino leads with Europe’s largest second-life battery energy storage for sustainable airport future, internationalairportreview.com, 4 czerwca 2025 r.
- S. Higuchi, The Future of Airport Workforce, Narita Airport, 2024.
- H. Hill, M. Mullen, Bridging the gap: The future of intermodality between airports and rail, internationalairportreview.com, 25 września 2024 r.
- D. Hobbs, C. Hosker, M. Warrilow, D. Cooney, S. Goodwin, Future Aviation Skills Strategy. Engagement Report – Skills needs in Aviation, Catapult Connected Places 2023.
- hOListic & Green Airports, cordis.europa.eu, 18 listopada 2024 r.
- D. Holmes, ‘Airport Terminal in a Garden’ in Bengaluru, India, worldlandscapearchitect.com, 11 stycznia 2024 r.
- G. Hope, Autonomous Shuttle Pilot Program Launches at Brussels Airport, iotworldtoday.com, 3 grudnia 2024 r.
- G. Hope, New Driverless Bus Program Planned for Hong Kong Airport, iotworldtoday.com, 2 stycznia 2025 r.
- G. Hope, Parking Valet Robots Could Roll Out Worldwide in \$24M Deal, iotworldtoday.com, 15 października 2024 r.
- G. Hope, Self-Driving Robot Pods to Improve Mobility, Accessibility for People with Disabilities, iotworldtoday.com, 18 sierpnia 2024 r.
- G. Hope, Self-Driving Pods to Shuttle Airport Passengers in San Jose, iotworldtoday.com, 28 kwietnia 2023r.
- G. Hope, Self-Driving Shuttles Coming to New York’s JFK Airport, iotworldtoday.com, 10 lipca 2024 r.
- J. Horkay, V. Tymofiv, S. Al-Rabeei, Using biometrics for Facial Recognition at Airports, [w:] „Acta Avionica Journal”, grudzień 2022 r.

- Horticultural composting - putting our waste to good use, changiairport.com, marzec 2022 r.
- How AI is transforming airports: from efficiency to passenger experience, buildprompt.ai, 2024r.
- How autonomous vehicles can herald a new era for airports, cities-today.com, 18 lipca 2024 r.
- How can you personalize the airport experience for passengers?, linkedin.com.
- How personalization has helped boost Heathrow’s digital revenue by 30%, salesforce.com.
- L. Hu, X. Yan, Y. Yuan, Development and challenges of autonomous electric vertical take-off and landing aircraft, [w:] „Heliyon”, vol. 11, nr 1, 15 stycznia 2025 r.
- H. Huang, J. Zhu, A Short Review of the Application of Machine Learning Methods in Smart Airports, [w:] „Journal of Physics Conference Series”, styczeń 2021.
- T. Hudson, The Promise of the Internet of Things in an Airport Environment, gensler.com.
- How Can Information Sharing Help Airports Overcome Disruptions?, blog.aci.aero, 19 grudnia 2023 r.
- Hydrogen GPU Developed by Delft Scale-up Tested at Schiphol, aviationpros.com, 5 sierpnia 2024 r.
- Hydrogen Hubs at Airports, airbus.com.
- IATA highlights needs for consistent cabin waste management practices, centreforaviation.com, 25 lutego 2025 r.
- M. Ibrahim, AI in Airport Management, ultralytics.com, 9 września 2024 r.
- ICAO, Waste Management at Airports, icao.int.
- IFR RPAS Control in Airports and TMA, cordis.europa.eu, 20 grudnia 2023 r.
- Implementation of the CAT II ground navigation lighting system at Szczecin-Goleniów Airport with accompanying infrastructure, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.
- Improved noise measurements in the area around Schiphol, nieuws.schiphol.nl, 1 lutego 2022 r.
- Incheon Airport becomes world’s first to achieve highest level of Airport Customer Experience Accreditation, aci.aero, 15 września 2022 r.
- Increased automation assistance for the pilot for ATM tasks, ec.europa.eu, 10 kwietnia 2025 r.
- Increasing the operational capabilities of the airport’s air side for military operations at Wrocław Airport, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.
- India’s Aviation Revolution, pibgov.in, 22 kwietnia 2025 r.
- S. Ingalls, N. Fekrat, Wireless connectivity is foundational to immersive digital transformation at airports, tecknexus.com, 12 września 2024 r.
- Innovation Fund, climate.ec.europa.eu
- Innovia automated people mover (APM) systems: Leading solutions for urban and airport transit; Innovia people mover and monorail: Efficient solutions for urban and airport transit, alstom.com.
- Integration of the next generation aircraft for zero/low emission aviation, ec.europa.eu.
- Interreg Baltic Sea Region 2021–2027, interreg-baltic.eu.
- S. Ison, Airport Surface Access and the Role of Public Transport: A UK Perspective, 16 sierpnia 2023 r.
- Istanbul Airport becomes the first airport in Turkey to achieve Level 4 Transformation, airportcarbonaccreditation.org, 13 grudnia 2023 r.
- JAL and NEC Test AI-Powered Carry-On Baggage Analysis Solution, nec.com, listopad 2024 r.
- A. James, How are airports using green spaces to revolutionize the passenger experience?, passengerterminaltoday.com, 10 maja 2024 r.
- A. James, How is AI revolutionizing airports around the world?, passengerterminaltoday.com, 17 stycznia 2025 r.
- P.S. Jayan, Cochin International Airport – World’s First Solar-Powered Airport, icao.int.
- B. Jayaprakash, How airfreight can embrace AI, aircargoweek.com, 14 maja 2025 r.
- Y. Jiang, T. Hieu Tran. L. Williams, Machine learning and mixed reality for smart aviation: Applications and challenges, [w:] „Journal of Air Transport Management”, vol. 111, sierpień 2023.
- S. Ji-Hyoung, Hydrogen to power all Incheon Airport buses by 2030, koreaherald.com, 7 czerwca 2023 r.
- Joint ACI World-ICAO Passenger Traffic Report, Trends, and Outlook, aci.aero, 28 stycznia 2025 r.
- R. Kanable, DFW Uses Passenger360 for Multilingual Wayfinding, aviationpros.com, 20 czerwca 2023 r.
- J. D. Kasarda, Aerotropolis 4.0, airport-world.com, 21 czerwca 2022 r.
- J. Kasarda, M. Chen, Airport World, Harnessing the AI Revolution, airport-world.com, 25 marca 2025 r.
- J. D. Kasarda, M. Chen, The Incheon Aerotropolis: An Exemplar of 21st-Century Airport-Centric Development, Aerotropolis Institute China, luty 2021.
- J. Kasuda, B. Clark, Drones: The rising security threat for today’s smart airport, airport-world.com, 28 czerwca 2024 r.
- E. Kelly, Autonomous GSE: The shape of things to come?, airportsinternational.com, 14 września 2024 r.
- M. Kenku, D. Földes, C. Csiszar, Concept of Advanced Personal Rapid Transit at Airports, [w:] „Periodica

Polytechnica Civil Engineering”, nr 65(1):15, styczeń 2021.

- Key differences between ETIAS and the EES, travel-europe.europa.eu, 9 stycznia 2025 r.
- Key Trends in Passenger Behavior: Insights from the IATA Global Passenger Survey 2024, iata.org, 5 listopada 2024 r.
- M. Khandelwal, Goodbye Passports! Frankfurt Airport Embraces Face Biometrics for Seamless Travel, 5 listopada 2023 r.
- Kolhapur Airport to get new terminal building with enhanced capacity and world-class facilities, pib.gov.in, 18 sierpnia 2022 r.
- Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Cyfrowy Kompas na 2030 r.: europejska droga w cyfrowej dekadzie, COM(2021) 118 final Komisja Europejska, 9 marca 2021 r.
- Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, Strategia na rzecz zrównoważonej i inteligentnej mobilności – europejski transport na drodze ku przyszłości, COM(2020) 789 final, Bruksela, 9 grudnia 2020r.
- Y. Kossovsky, A Seamless Journey: The Latest Mapping Trends for The Connected Airport, 3 września 2024r.
- A. Krishna, Airports are becoming insight-driven, airport-technology.com, 15 lipca 2024 r.
- B. Kumar, How biometrics are redefining the airport experience, airport-technology.com, 25 listopada 2024 r.
- L. Kurzweil, The evolution of the airport workforce: Turning challenges into opportunities, internationalairportreview.com, 15 marca 2023 r.
- I. Lahiri, German air mobility company ditches fund-raising plans and files for insolvency, euronews.com, 1 stycznia 2025 r.
- Landart Park Buitenschot, jveul.wordpress.com
- Land Art Park Buitenschot | Can a Landscape Design Cut Out Noise Pollution?, land8.com, 5 kwietnia 2017r.
- A. Ledsom, Spain Short-Haul Flight Ban: Which EU Country Will Be Next?, forbes.com, 18 marca 2024 r.
- M. Lee, Infrastructure Resilience in Aviation: Post-Outage Investment Opportunities, ainvest.com, 19 maja 2025 r.
- E. Lee, T. Kawakita, Y. Huai, H.K. Lo, A. Zhang, Airline and high-speed rail collaboration and competition under travel time variability, [w:] „Transportation Research Part A: Policy and Practice”, vol. 185, czerwiec 2024.
- V. Leung, New digital platform to improve YVR operation efficiency, richmond-news.com, 3 kwietnia 2024r.
- L'hydrogène renouvelable arrive à l'aéroport de Toulouse-Blagnac, infos.ademe.fr, styczeń 2024r.
- D. Liddell, The future of artificial intelligence in airports, teague.com, 2024 r.
- F. LiébanaCabanillas, F. MuñozLeiva, S. Molinillo, E. HigueraCastillo Do biometric payment systems work during the COVID-19 pandemic? Insights from the Spanish users' viewpoint, [w:] „Financial Innovation”, no. 8, marzec 2022 r.
- R. Lineberger, A. Hussain, M. Metcalfe, V. Rutgers, Infrastructure barriers to the elevated future of mobility, Deloitte Insights.
- Lista ocenionych projektów w ramach naboru – Działanie FENX.04.03 Infrastruktura lotnicza w TEN-T, cupt.gov.pl.
- Lista przyznanych grantów w ramach Airport Terminal Program 2025, faa.gov.
- Lista przyznanych grantów w ramach Improvement Program (AIP) Grants (6 września 2024), faa.gov.
- Lista przyznanych grantów w ramach Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation (SMART) Grants Program 2024 (Stage 1), transportation.gov.
- Lista przyznanych grantów w ramach Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation (SMART) Grants Program 2022 (Stage 1), transportation.gov.
- London Gatwick opens brand new STEM centre to inspire local children and students to pursue airport-related careers, London Gatwick, 31 października 2023 r.
- J. Lunter, How biometrics is driving innovations in airports despite legislative restrictions, internationalairportreview.com, 13 września 2024 r.
- C. Mahoney, Scanning for Security, securitymiddleeastmag.com, 5 października 2024 r.
- Making airport baggage and cargo operations autonomous, schiphol.nl.
- J. Mann, Sensor technology solutions for airport challenges, airport-technology.com, 4 sierpnia 2022 r.
- J. Mariani, J. Zmud, E. Krimmel, R. Sen, M. Miller, Flying smarter. The smart airport and the Internet of Things, www2.deloitte.com, 1 lipca 2019 r.
- E. Matsui, Huawei launches world's first autonomous airport parking feature for EVs, huaweicentral.com, 15 stycznia 2025 r.

- T. May, A&K Robotics Trials Autonomous Pods at ATL, airportindustry-news.com, 26 sierpnia 2022 r.
- T. May, Alstom APM Trains Launched at Denver International Airport, airportindustry-news.com, 4 czerwca 2024 r.
- T. May, Autonomous Patrol Cars Deployed at Hong Kong International Airport, 17 marca 2022 r.
- T. May, Autonomous Service Robot introduced at Munich Airport, airportindustry-news.com, 8 marca 2024r.
- T. May, California: ZeroAvia to Conduct Liquid Hydrogen Research at Stockton Airport, airportindustry-news.com, 3 marca 2025 r.
- T. May, LAX APM Train to Commence Service in January 2026, airportindustry-news.com, 5 sierpnia 2024 r.
- T. May, PANYNJ and Navya Deploy 2 Autonomous Shuttles at JFK, airportindustry-news.com, 19 października 2022 r.
- T. May, Stuttgart Airport Deploys Autonomous Snow Clearing Vehicles, airportindustry-news.com, 23 września 2022 r.
- T. May, UK: Exeter Airport to Trial Hydrogen Ground Support Equipment, airportindustry-news.com, 1 sierpnia 2024 r.
- M. Mäkelä, Artificial intelligence to benefit the passenger experience at the airport, Haaga-Helia University of Applied Sciences, 21 kwietnia 2024 r.
- S. McClelland, Ensuring Comfort and Safety Through Advanced Systems, airoptions.co.za, 4 sierpnia 2024 r.
- M. McNabb, It's Takes a Bird to Stop a Bird: The RoBird Flying Robot Defends Airports Against Bird Strikes, 10 czerwca 2022 r.
- Meet Aurora – Wildlife Mitigation, dot.alaska.gov.
- Meet Secom, the security robot patrolling at Kansai international airport, en.newsroom.vinci-airports.com, 23 października 2021 r.
- L. Meillaud, Hypot hydrogen station inaugurated at Toulouse-Blagnac Airport, hydrogentoday.com, 4 grudnia 2023 r.
- E. Merrawe, How fast can airports deploy biometrics use to speed up passenger clearance?, gulfnews.com, 22 marca 2024 r.
- Miami Airport installs common iBeacon system for all stakeholders, futuretravelexperience.com, październik 2014 r.
- H. Miles, Glasgow Airport launches new AI-powered digital assistant, internationalairportreview.com, 23 grudnia 2024 r.
- E.O. Mintah, Creating a green passenger experience at world's busiest airports, internationalairportreview.com, 27 września 2023 r.
- P.R. Mishra, China's Robobus begins Europe's first driverless shuttle service at Zurich airport, interestingengineering.com, 12 stycznia 2025 r.
- S. A. H. Mohsan, N. Q. H. Othman, Y. Li, M. H. Alshari, H. A. Khan, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): Practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends, [w:] „Intelligent Services Robotics”, styczeń 2023.
- K. Mok, Changi Airport gears up to tap on solar power, changiairport.com, 1 maja 2024 r.
- More and more electric taxis, schiphol.nl.
- M. Morry, Something Fresh From Nature: The 6 Best International Airport Gardens, vanemag.com, 18 marca 2019 r.
- D. Mrňa, B. Badánik, A. Novák, Internet of Things as an optimization tool for Smart Airport concept, [w:] „European Transport / Transporti Europei”, nr 82, 2021.
- J. Muller, Airports of the future: virtual queues and more, axios.com, 28 czerwca 2023 r.
- P. J. Muller, Personal Rapid Transit Applications at Airports, ASCE, kwiecień 2005.
- multi-hAZard monitoring and earLy wARning systeM, ec.europa.eu, 7 stycznia 2025 r.
- Multimodal Access for Intelligent Airports, cordis.europa.eu, 13 lipca 2023 r.
- Multimodal Hub Schiphol (MHS), schiphol.nl.
- Munich Airport introduces innovative JEEVES service robot, internationalairportreview.com, 6 marca 2024r.
- Munich Airport launches personal shopping service for Arabic travellers, caa.gov.qa, 30 lipca 2024 r.
- Munich Airport reintroduces shopping assistants for Chinese travellers, airport-world.com, 7 maja 2024 r.
- S. Nair, Are Sustainable Airports A Tangible Reality?, aviation360me.com, 3 marca 2025 r.
- R. Nawas, Discover the 5 trends shaping the next generation of airports, weforum.org, 26 lipca 2023 r.
- New Goa Manohar International Airport wins best sustainable greenfield airport award, economicetimes.indiatimes.com, 20 stycznia 2023 r.

- NEOM invests USD 175M in Velocopter to accelerate electric urban mobility, neom.com, 2 listopada 2022 r.
- Newark Liberty International Airport's Terminal A debuts second sensory room, setting new standard for supporting neurodivergent and special needs travelers, panynj.gov, 25 marca 2025 r.
- Net Zero Airport, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.
- Next generation ATS platform for airport operations, ec.europa.eu, 10 kwietnia 2025 r.
- J. Ng, 13 things travellers love about Changi Airport, nowboarding.changiairport.com, 10 marca 2025 r.
- U. Noor, Solar-Powered Airports – The New Era of Green Aviation, 8msolar.com, 10 marca 2025 r.
- S. Noor, M. Barhan, A Research Paper On: The Future of Airport Workforce, Malaysia Airports Holdings Berhad 2022.
- M. Nordqvist, The Future Digital Airport Experience, Uppsala Universitet, czerwiec 2022.
- H. Norman, How are airports transforming their wayfinding programs?, passengerterminaltoday.com, 28 czerwca 2024 r.
- J. Nowak, K. Ogonowski, J. Z. Achimowicz, Impact of biometry on airport safety, current status and perspectives, luty 2024 r.
- Nowe materiały w budowie lotnisk: Trwałość i ekologia, forum-lotnicze.pl, 18 października 2024r.
- K. O. Oladele, E. O. Lisoyi, I. I. Abe, Reskilling and Upskilling to Develop Global Relevance in the Fourth Industrial Revolution, [w:] Future of Work, Work-Family Satisfaction, and Employee Well-Being in the Fourth Industrial Revolution, styczeń 2021.
- OLGA, olga-project.eu.
- A. Orban, Amsterdam Airport Schiphol conducts trial with self-driving buses on airside, aviation24.be, 28 marca 2024 r.
- A. Orban, Brussels Airport powers local homes with green energy in new pilot project, aviation24.be, 20 stycznia 2025 r.
- U. O'Sullivan-Dale, Birmingham Airport introduces ICE cleaning cobots, roboticsandautomationmagazine.co.uk, 10 października 2023 r.
- M. Overkaemping, Making the Passenger Journey Touchless: Biometrics on the Rise, blog.aci.aero, 17 lutego 2021 r.
- V. Pandit, Predictive analytics & AI: New frontier in air cargo, cargotalk.in, 17 sierpnia 2024 r.
- Parking Smart. How Smart Parking Technologies Benefit Airports, WGI 2020.
- Partnerstwo na rzecz czystego lotnictwa – Clean Aviation, clean-aviation.eu.
- Passenger Facility Charge (PFC) Program, faa.gov, 30 kwietnia 2025 r.
- N. Patel, Dubai's Vision Takes Flight: Al Maktoum International Airport Expansion Reaches New Milestone, uaestories.com, 8 kwietnia 2025 r.
- J. Pearce, In it for the long haul: Copenhagen Airport's data management journey, techinformed.com, 14 marca 2024 r.
- R. Pell, M. Blondel, Airport digital transformation. From operational performance to strategic opportunity, Arthur D. Little / Amadeus, wrzesień 2018.
- A.D. Pena, M. Gutierrez, M. Guinto, Balancing Security and Privacy: A Study on Biometric Authentication Implementation in Airports and Airlines, [w:] „International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology”, vol. 4, nr 1, grudzień 2024.
- D. Perry, FAA study reveals hurricane-force levels of eVTOL downwash and outwash, flightglobal.com, 10 stycznia 2025 r.
- Personalised Airport Systems for Seamless Mobility and Experience, cordis.europa.eu, 3 października 2023r.
- L. Pfalz, IATA Calls for Digitization of Aviation Security, travelpulse.ca, 24 marca 2025 r.
- L. Pichler, U. Barth, The role of biometrics at Munich Airport, internationalairportreview.com, 5 lipca 2024 r.
- Pilot project with mobile hydrogen refuelling station and hydrogen tractor at Brussels Airport, brussels-airport.be, 21 czerwca 2024 r.
- M. Pitrelli, No passports needed: Singapore launches biometric immigration processing at Changi Airport, cnbc.com, 4 sierpnia 2024 r.
- L. Pliško, T. Remencová, Digital transformation of regional airports, [w:] Conference: Práce a štúdie, styczeń 2022.
- Power plant profile: Adolfo Suarez Madrid Barajas Airport Solar PV Park I, Spain, power-technology.com, 21 października 2024 r.
- Power to Liquid (PtL) Synthetic Aviation Fuel - A Sustainable Pathway for Jet Fuel Production, trid.trb.org.
- Poznaj Valet Parking, lotnisko-chopina.pl.
- T. Prasada, S. Little, Air Canada launches voluntary facial recognition system at Vancouver airport, global-news.ca, 3 grudnia 2024 r.

- Predictable and Environmentally friendly operations of regional Airports with CO2neutrality and Climate as Keyword, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.
- Prezes UODO i Fundacja Polskich Portów Lotniczych zawarły porozumienie o współpracy, uodo.gov.pl, 26 maja 2025 r.
- Private 5G serves as the network base for Fraport AG's future development, services.global.ntt.
- Production of Jet Biofuels by Catalytic Hydroprocessing of Esters and Fatty Acids, mdpi.com.
- Project FALKE successful interception of illegally flying drones at Hamburg Airport, frequentis.com, wrzesień 2021 r.
- Qantas Trigeneration Project with Goldman Energy?, na.comap-control.com, 26 grudnia 2017 r.
- Qatar Airways Showcases New Features of World's First AI Virtual Digital Human Cabin Crew, qatar-airways.com, 6 marca 2024 r.
- RefuelEU aviation initiative: Council adopts new law to decarbonise the aviation sector, consilium.europa.eu, 9 października 2023 r.
- REuse and REcycling of CDW materials and structures in energy efficient prefabricated elements for building refurbishment and construction, cordis.europa.eu, 20 lipca 2016 r.
- Revolutionizing Air Travel in India: NEC's Digital ID Solution, nec.org, 31 października 2023 r.
- Rewolucja w regulacji – wchodzi w życie akt o AI, gov.pl, 1 sierpnia 2024 r.
- Rise of the vertiports: a look at recent developments concerning the futuristic air hubs, satair.com, 31 maja 2024 r.
- V. Rizzo, How Airports Use AI to Keep Birds Off Runways, aibusiness.com, 19 grudnia 2024 r.
- Robots to welcome and assist passengers at Kobe airports, en.newsroom.vinci-concessions.co, 20 września 2021 r.
- H. Rodoplu, R. Demir, S. Gürsel, The effect of digitalization on sustainability and smart airport, [w:] „International Journal of Sustainable Aviation”, styczeń 2022.
- Rolls-Royce pulls the plug on electric flying taxi project, euronews.com, 8 listopada 2024 r.
- P. Roux, Making Airports Jobs Work: The Role of Human Resource Management, 6 grudnia 2024 r.
- R. Roy, Why Automation Is Key to Airport Efficiency, blog.gunneboentrancecontrol.com.
- I. Rozhnovska, How AI transforms airport operations and passenger experience, sigma.software, 8 sierpnia 2024 r.
- Runway pavement inspections using airside drone, airsight.de, 2016.
- B. Rüdiger, Ch. Albl, Terminal On Rail – Air Baggage drop off during train ride to the airport, 7th Transport Research Arena TRA, kwiecień 2018.
- SAF. What is it, and why is everyone talking about it?, corporate.virginatlantic.com.
- SAS and Inter Terminals invest in infrastructure for sustainable aviation fuel - Inter Terminals, interterminals.com, 19 marca 2024 r.
- G. Schillaci, H. Carreira, N. Sachdeva, AI at the Airport, rolandberger.com, 5 lipca 2024 r.
- Schiphol Pioneers in Electric Vehicle Car Rentals at Their New Facility, flightchic.com, 15 września 2023 r.
- A. Schipper, B. Sinha, S. Krijnen, 5G private networks enable effective mission-critical communications now, while setting the stage for future optimizations across the airport, ericsson.com, 14 czerwca 2024 r.
- Schiphol opens own concrete recycling facility, news.schiphol.com, 25 października 2023 r.
- E. Scungio, Examined: The Airport & Airline Sustainability Initiatives Most Valued By Today's Passengers, simpleflying.com, 10 października 2024 r.
- Self Check-in, hongkongairport.com.
- Self-driving wheelchairs bring travellers to their gate at Schiphol, news.schiphol.com, 9 września 2024 r.
- Seoul's Gimpo Airport area to turn into urban air mobility hub by 2030, koreatimes.co.kr, 8 września 2024 r.
- SESAR 3 Joint Undertaking (SESAR 3 JU), sesarju.eu.
- D. Sevastano, RFID is Helping Solve Luggage Problems at Airports, printedelectronicsnow.com, 20 kwietnia 2022 r.
- M.D. Sezer, A. Nühn, A. Apaydin, J. Platte, K. Mossing, H2 Solutions in Airport Power Equipment, Groningen 2023
- A. Sharma, What are the Applications of Biometrics in Airports, encstore.com, 23 stycznia 2024 r.
- D. Shipman, New drone inspection program at Hartsfield-Jackson on display at annual airport safety expo, atlantanewsfirst.com, 13 sierpnia 2024 r.
- Shri Jyotiraditya M Scindia inaugurates Utkela Airport, and direct flight between Utkela and Bhubaneswar, pib.gov.in, 31 sierpnia 2023 r.
- J. Silhol, Case study: Airport expansion includes rooftop units, csemag.com, 14 kwietnia 2021 r.
- R. Silk, Airports build for electric vehicles, even as car rental companies pump the brakes, travelweekly.

com, 19 lutego 2024 r.

- R. Silk, Moving the needle in airport mobility technology, travelweekly.com, 16 listopada 2024 r.
- P. Sillers, Air taxis: Are electric vertical take-off and landing vehicles the future of aviation?, boatinternational.com, 29 listopada 2024 r.
- S. Singh, Airport 4.0: The Future Of Airport Takes Flight, forbes.com, 9 lutego 2024 r.
- B. Sinha, S. Krijnen, A. Schipper, Transforming terminal operations: Top indoor use cases for private networks in connected airports, ericsson.com, 29 lipca 2024 r.
- SITA and Red Sea International Airport announce strategic partnership for Main Terminal Building, sita.aero, 10 grudnia 2024 r.
- SITA demonstrates baggage handling robot Leo at Mexico City Airport, airport-technology.com, 22 lipca 2017 r.
- Smart airports, airports as multimodal nodes and passenger experience, ec.europa.eu, 10 kwietnia 2025 r.
- Smart Airports – Navigating Digital Transformation of Airports in SEA, ycp.com, 31 lipca 2023 r.
- Smart Labels. An opportunity and a call for standardisation, Kuehne+Nagel, 2022.
- Smiths Detection launches new automatic object recognition software – iCMORE Prohibited Items, smithsdetection.com, 22 lutego 2023 r.
- Sojusz biznesu z nauką – innowacyjne e-paliwa, energetyka24.com, 30 stycznia 2025.
- Solutions(HEFA) - CleanAim®, cleanaim.com.
- Species-rich Meadows and Restored Field Boundaries; Prague Airport Launches Biodiversity Support Programme, prg.aero, 21 marca 2023 r.
- SSP to trail robot servers at Belfast's Sip & Stone Restaurant, reataurantonline.co.uk, 20 października 202 r.
- Sprawozdanie roczne z działalności Unii Europejskiej w zakresie badań naukowych i rozwoju technologicznego oraz monitorowania programu „Horyzont 2020” w 2023 r., Komisja Europejska, 5 czerwca 2024 r.
- M. Spruijt, How automation is transforming European airports, listopad 2024.
- STARGATE, greendealstargate.eu
- P. Stochi, Drones at BH Airport: Innovation and safety in airport management, internationalairportreview.com, 9 kwietnia 2025 r.
- Ch. Stonor, Florence Regional Airport Collaborates with BETA Technologie “to Install South Carolina's First Electric Aircraft Charger”, evtolinsights.com, 13 lutego 2025 r.
- Strategic Research and Innovation Agenda, clean-aviation.eu, grudzień 2021 r.
- Strengthening Mobility and Revolutionizing Transportation (SMART), transportation.gov, 9 maja 2025 r.
- Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe, EASA, 19 maja 2021
- G. Suart, amd.sigma publishes prototype design of inter-regional “eAirport”, urbanairmobilitynews.com, 3 lutego 2023 r.
- S. Subbaiah, Incheon Airport: Delivering a World-Class Passenger Experience, aci-asiapac.aero, 2 maja 2023 r.
- S. Sugie, Inclusive Mobility in Airports: Self-Driving Mobility Chairs Change the Way Passengers Move through Airport Terminals, aviationpros.com, 10 czerwca 2023 r.
- J. Surette, How Many Employ Do Typical Major Air Hubs Have?, simpleflying.com, 11 czerwca 2023 r.
- J. Surette, How Many Employees Do Typical Major Air Hubs Have?, simpleflying.com, 11 czerwca 2023 r.
- Sustainable Airports, the Green heArT of Europe, cordis.europa.eu, 17 marca 2025 r.
- Sustainable aviation fuel, qantas.com.
- Sustainable Aviation - towards zero emission Aviation, easa.europa.eu.
- Sustainable Aviation Fuel (SAF): The Challenge and Potential, aaaairsupport.com.
- Sustainable Considerations for Airport Surface Access. Eco Airport Toolkit, ICAO, 2022.
- Sustainable fuel, iberia.com.
- Sustainability Report 2023/2024, Airport Authority Hong Kong, sierpień 2024 r.
- Swissport launches test of Automated Guided Vehicle in Frankfurt, aircargoweek.com, 1 sierpnia 2022 r.
- Sydney Airport Environment Strategy 2019–2024, assets.ctfassets.net, kwiecień 2019 r.
- Sydney Airport Targets 2030 Net-Zero, smartenergydecisions.com, 27 maja 2021 r.
- D. Symonds, Autonomous shuttle pods trialled at Bristol Airport, autonomousvehiclesinternational.com, 10 lipca 2019 r.
- D. Symonds, Wellington airport to turn coffee leftovers into premium compost, passengerterminaltoday.com, 12 marca 2018 r.
- A. Szakal, 8 Key Strategies on Attracting and Retaining Talent in the Airport Industry, blog.aci.aero, 13 października 2022 r.
- T. Śniedziewski, Time to abandon obsolete revenue models, [w:] „Orient Aviation”, październik-listopad

2024.

- Taking Flight With 5G/6G: How Next-Gen Tech Transforms Business Travel, blog.wegopro.com, 8 stycznia 2025 r.
- Taxi drivers angry about electric car requirement: ‘deadline is too tight’, pitane.blue, 21 października 2024 r.
- M. Taylor, Edinburgh Airport aims to support STEM careers with new centre, deadlinenews.co.uk, 10 marca 2025 r.
- Technology basics, skynrg.com.
- Technological Changes at Airports and Their Impact on Workers, International Transport Workers’ Federation, lipiec 2024.
- Terms and Condition for the Joint Call of Airports for Innovation (A4I), Airports for Innovation 2024.
- Textron eAviation Inc. announces Nexus eVTOL flight testing at Salina Regional Airport, investor.textron.com, 7 października 2024 r.
- The Disruptive Impact of Drones on Airport Approach Obstacle Analysis & Visualization, aeriumanalytics.com, 1 sierpnia 2024 r.
- The Edge Company, theedgecompany.net.
- The Evolution of Airports. A Flight Path to 2050, Oliver Wyman / ACI, 2023.
- The Evolution of the Airport Workforce, Airports Council International, 2022.
- The future of air mobility: Electric aircraft and flying taxis, McKinsey & Company, listopad 2021.
- The future of Airports: Tech-Driven Smart Airports, Glorious Insight, 26 kwietnia 2023 r.
- The Future of the Airport Workforce, 4QD Strategy Consulting dla ACI-NA, czerwiec 2022 r.
- The Future of Urban Air Mobility, DLR, wrzesień 2024.
- The ‘Great Resignation’ and how it affects the aviation ecosystem, internationalairportreview.com, 22 lipca 2022 r.
- The Impact of Digital Transformation on Airports, isg-one.com, 2022.
- The Rise of Digital Airports: Streamlining the Airport Journey for Passengers, airsiders.com, 15 lutego 2023 r.
- The Rise of Drone Technology in Aircraft Inspections, avitrader.com, 15 listopada 2024 r.
- The role of biometrics in transforming airport operations, worldconstructiontoday.com, 15 stycznia 2025 r.
- The trusted authority on air travel demand insights, aci.aero, 26 lutego 2025 r.
- The “Transparency Revolution” in Air Cargo: How RFID Achieves Full-Link Visibility for Air Freight Packages, rfidlabel.com.
- Three-airport rail link work ‘could start in April’, bangkokpost.com, 17 stycznia 2025 r.
- P. Tkhir, Elevating the Airport Experience with IoT, iotforall.com, 2 grudnia 2024 r.
- A. Toet, J. van Kuijk, K. Boersma, S.C. Santema, Themes for an airport hub in the transition towards a multi-modal transport hub – an embedded researcher’s perspective, IASDR 2023: Life-Changing Design, październik 2023.
- A. Toet, J. van Kuijk, S.C. Santema, Transforming Airport Hubs into Future-Proof Multimodal Transport Hubs, Relating Systems Thinking and Design 2022 Symposium, 13–16 października 2022r.
- B. Tossan, AI is already making air travel and airports better, fortune.com, 9 maja 2024 r.
- TRansformation of AViation and rAirway sOLutions toWards Integration and SynergiEs, cordis.europa.eu, 3 października 2024 r.
- Transforming Transportation with African High-Speed Rail, railway.supply, 25 stycznia 2025 r.
- Transport infrastructure: over EUR 424 million of EU funding to boost zero-emission mobility, cinec.europa.eu, 10 kwietnia 2024 r.
- J. Trendowski, M. Held, FAA Vale and ZEV Grants, airports council.org, 16 sierpnia 2024 r.
- Trends, challenges and opportunities in the EU transport labour market, Parlament Europejski, luty 2024.
- Trigeneracja - co warto o niej wiedzieć?, dalkiapolska.com.
- Tri-generation, iiec.org.
- J. Truncale, Tomorrow’s workforce changed yesterday – now what for businesses that want to be future-ready?, World Economic Forum, 17 stycznia 2025 r.
- TSA Testing Self-Service Screening at LAS, news.harryreidairport.com, 13 marca 2024 r.
- Tugs, tractors and belt loaders nearly all electric at two Delta hubs, news.delta.com, 20 kwietnia 2023 r.
- TULIPS, tulips-greenairports.eu.
- J. Turner, Civil airport operator chooses Telia Norway as its 5G pilot partner, mobileeurope.com, 27 października 2023 r.
- J. Turner, The sky’s the limit: how automation is transforming airside operations, airport-technology.com, 22 kwietnia 2021 r.

- Types of industrial robots and their different uses, howtorobot.com, 5 września 2024 r.
- M. Tyrell, Speeding up aircraft maintenance with 3D printed tools, aero-mag.com, 21 stycznia 2019 r.
- UDAN scheme to add 120 new destinations in next 10 years, hindustantimes.com, 2 lutego 2025r.
- Ude Desh ka Aam Naagrik | 8 Years of UDAN, Ministry of Civil Aviation, youtube.com, 23 października 2024r.
- Ude Desh ka Aam Naagrik Journey from Hawai Chapal to Hawai Jahaj, civilaviation.gov.in.
- UK Airports Launch Major Facial Recognition Expansion Across 14 Hubs, idtechwire.com, 3 stycznia 2024 r.
- Understanding RTTVP: A comprehensive Guide for Beginners, macropoint.com, 22 lutego 2024r.
- unlockIng the potential of AI-based weatheR forecasts for Operational benefitS, ec.europa.eu, 13 maj 2025r.
- C. Valero, D. Regueiro, A. Sprock, Modal Competition and Substitution: High-Speed Rail Versus Air Transport, ALC, czerwiec 2024.
- D. Valmorbida, End-to-end: the next generation of travel services, amadeus.com, 9 lipca 2021 r.
- J. Vermes, Airports to scan your face to make travelling easier. Privacy experts caution it's not ready to take off, cbc.ca, 3 marca 2024 r.
- Vienna Airport achieves Level 3+ Neutrality, airportcarbonaccreditation.org, 10 stycznia 2025 r.
- A. Vina, AI in Aviation: A Runway to Smarter Airports, ultralytics.com, 20 czerwca 2024 r.
- VINCI Airports launches new biometric solution dedicated to passengers in Portugal, en.newsroom.vinci-concessions.com, 12 stycznia 2024 r.
- M. Walsh, New Kidz on the Block, kornferry.com, 31 stycznia 2022 r.
- Warsaw Chopin Airport - Investments in dual-use infrastructure to ensure base Service Operations 24/7, ec.europa.eu, 1 maja 2025 r.
- S. Wandelt, K. Wang, Towards solving the airport ground workforce dilemma: A literature review on hiring, scheduling, retention, and digitalization in the airport industry, [w:] „Journal of the Air Transport Research Society”, vol. 2, czerwiec 2024 r.
- Waymo Robotaxis Gain Access to San Francisco International Airport, airportindustry-news.com, 19 marca 2025 r.
- C.C. Weiss, CATL throws its world-leading ultra-range battery muscle into eVTOLS, newatlas.com, 8 sierpnia 2024 r.
- J. Werner, Pandemia COVID-19 a rozwój technologii biometrycznych w portach lotniczych, [w:] „Aviation and Security Issues”, no. 5, styczeń 2024 r.
- B. Wessling, evoBOT completes first tests at Munich Airport, therobotreport.com, 20 lipca 2023 r.
- C. Westerheide, Swissport accelerates electrification of ground services at airports, electrive.com, 2 października 2024 r.
- What are Automated People Movers and where can you find them?, airmundo.com.
- What is the EES?, travel-europe.europa.eu, 10 marca 2025 r.
- What is ETIAS, travel-europe.europa.eu, 10 marca 2025 r.
- P. Wheeler, Nine Critical Success Factors for Advanced Air Mobility in Airport Planning, wsp.com, 6 września 2024 r.
- WHILL Autonomous Service Commercially Available at Narita International Airport, whill.inc, 3 kwietnia 2023 r.
- K. Williams, The world's first airport to require biometric boarding is set to arrive in 2025, cnbc.com, 22 sierpnia 2024 r.
- Windrove. Pioneering Urban Air Systems, hamburg-aviation.de.
- S. Wittlieb, The airport as a mobility hub: Imaging an intermodal transportation crossroads for digital innovation and economic growth, internationalairportreview.com, 13 kwietnia 2022 r.
- Wodór w branży lotniczej – wyzwania, przyjaznelotniska.pl, 26 listopada 2024 r.
- Wodór zielony, niebieski, szary. Wszystkie kolory wodoru, ey.com, 22 marca 2022 r.
- S. Wong, E. McClain, J. Cohn, R. Visser, Airport Biometrics: A Primer, Waszyngton 2021.
- C. Wong, The Making of 'The Wonderfall' and 'Dreamscape', changiairport.com, 1 grudnia 2023 r.
- G. Wood, From docks to runways, private 5G is revolutionizing seaport and airport operations, nttdata.com, 2025 r.
- World's First Autonomous Mobility Service Linked to Elevator System Allows Transportation between Multiple Floors at Narita International Airport, whill.inc, 21 lipca 2024 r.
- World's first electric refuelling 40 m3 vehicle put into operation at Stuttgart Airport, internationalairportreview.com, 12 marca 2024 r.
- D. Xiao Qin, Vertical takeoff and landing aircrafts: Categories, applications, and technology, [w:] „Theoretical and Natural Science”, nr 13(1), listopad 2023.

- XpresSpa debuts Clockwork robotic manicures at MIA, news.miami-airport.com, 20 lipca 2023 r.
- S. Yamanaka, New electric shuttle fleet named 'Miki' launches at Honolulu airport, spectrumlocalnews.com, 17 kwietnia 2024 r.
- S. Yoon, Creating an Art & Culture Airport, internationalairportreview.com, 11 marca 2024 r.
- Z. Yuan, Ch. Dong, X. Ou, The substitution effect of high-speed rail on civil aviation in China, [w:] „Energy”, vol. 263, 15 stycznia 2023 r.
- K. Yufeng, Self-driving bus for airport workers to be trailed at Changi Airport, 18 lipca 2024 r.
- B. Zinczuk, Automatyzacja i robotyzacja jako wyzwanie dla rynku pracy, [w:] „Zeszyty Naukowe UEK”, nr 2(992)/2021.
- Zrównoważone paliwo lotnicze, easa.europa.eu.





Polskie Porty Lotnicze