

Marcin Czubaszek✉
Politechnika Białostocka

Wybrane aspekty zastosowania sztucznej inteligencji w lotniczym transporcie towarowym

Selected aspects of the use of artificial intelligence in air cargo transport

Synopsis. Transport lotniczy odgrywa ważną rolę w wymianie towarów. Mimo że odpowiada pod względem ilościowym za 1% rotacji, to wartość ładunków wynosi 10% wszystkich przedmiotów przewożonych rocznie różnymi środkami. Stosuje się w nim najnowocześniejsze dostępne rozwiązania, a jednym z postulowanych kierunków jest implementacja dynamicznie wprowadzanej w wielu dziedzinach sztucznej inteligencji i jej elementów. Procesy autonomizacji obiektów latających rozpoczęły się wraz z powstaniem balonów i pierwszych pojazdów w układzie samolotu, to znaczy jednostek latających cięższych od powietrza, działających na zasadzie wytwarzania siły ciągu dzięki nieruchomym skrzydłom. Wraz z rozwojem technologii informatycznych wprowadzano kolejne elementy automatyzacji, w tym autopilota. Sztuczna inteligencja znalazła szerokie zastosowanie w kontekście obsługi klienta, symulacji i modelowania lotu, ustalania trasy, optymalizacji wykorzystania przestrzeni ładunkowej oraz projektowania, a także testowania prototypów maszyn. Jednak za najważniejszy aspekt można uznać możliwości tworzenia jednostek bezzałogowych, w pełni autonomicznych jak X-62A oraz projekty Reliable Robotics i Xwing, przekształcające rolę pilota w osobę zarządzającą lotem, pozostawiającą manewrowanie w gestii komputera pokładowego. Aerolane natomiast proponuje powrót do tworzenia szybowców transportowych. Ważnym aspektem obiektów bezzałogowych jest możliwość tworzenia bardziej efektywnego kształtu poprzez wyeliminowanie kokpitu. Obecny poziom rozwoju SI wskazuje na konieczność dalszych prac, jednak wprowadzanie tej technologii może je znacząco przyspieszyć oraz wpłynąć na wzrost bezpieczeństwa i skuteczności. Ważnym aspektem pozostaje także dostosowanie podstaw prawnych oraz zwalczanie oporu społeczeństwa.

Słowa kluczowe: towarowy transport lotniczy, sztuczna inteligencja, pojazdy autonomiczne

Abstract. Air transport plays an important role in the exchange of goods. Although it is responsible for 1% of the turnover in terms of quantity, the value of the cargo is 10% of all items transported annually by various means. It uses the most modern available solutions, and one of the postulated directions is the implementation of artificial intelligence and its elements,

✉ **Marcin Czubaszek** – Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania; e-mail: marcin.czubaszek@onet.pl

which are being dynamically introduced in many fields. The processes of autonomization of flying objects began with the creation of balloons and the first aircraft-like vehicles, i.e. heavier-than-air flying units operating on the principle of generating thrust thanks to fundamentally stationary wings. With the development of information technology, further elements of automation were introduced, including autopilot. Artificial intelligence has found broad application, including in the context of customer service, flight simulation and modeling, route determination, optimization of the use of cargo space and design, as well as testing of machine prototypes. However, the most important aspect is the possibility of creating unmanned, fully autonomous units, such as the X-62A and the Reliable Robotics and Xwing projects, which transform the role of the pilot into a flight manager, leaving maneuvering to the on-board computer. Aerolane, on the other hand, proposes a return to creating transport gliders. An important aspect of unmanned objects is the ability to create a more efficient shape by eliminating the cockpit. The current level of AI development indicates the need for further work, but the introduction of this technology can significantly accelerate it and increase safety and effectiveness. Adapting the legal basis and combating public concerns also remain important aspects.

Key words: air cargo transport, artificial intelligence, autonomous vehicles

Kod JEL: L93

Wstęp

Lotnictwo i transport lotniczy stanowi obszar wykorzystania najnowocześniejszych dostępnych technologii. Dotyczą one różnych kwestii, od obsługi klienta przez sposoby sterowania jednostkami latającymi, aż po optymalizację tras i sposobów magazynowania, w tym z wykorzystaniem szerokiej robotyzacji oraz pojazdów autonomicznych [Cargo Flash InfoTech 2024]. Jednak podstawową kwestią pozostaje tworzenie coraz nowszych, bardziej efektywnych jednostek latających oraz usprawnianie sposobu ich pilotowania.

Transport lotniczy odpowiada za około 1% światowych przewozów towarowych. Wartość ta jest stosunkowo niewielka, w szczególności w zestawieniu z transportem morskim wynoszącym od 80 do 90% światowej rotacji dóbr [OECD]. Spowodowane jest to mocnymi ograniczeniami zarówno objętościowymi, jak i tonażowymi, co przekłada się na wysokie koszty oraz niewielkie możliwości jednorazowego przetrzutu dóbr. Równocześnie wartość pieniężna przewożonych towarów sięga 10% [Wąsowska 2018]. Istnieją przykłady zarówno jednostek mogących zabierać ładunki o dużych gabarytach oraz masie, takie jak samoloty Airbus A300B4-608ST Beluga [Georgilidakis 2021], lub zastosowania pojazdów latających do długotrwałych operacji, podczas których przetrzucano znaczne ilości towarów masowych, czego najbardziej znanym przykładem był tak zwany most powietrzny w czasie blokady Berlina Zachodniego [The Berlin Airlift...], jednak podstawową zaletą i przewagą samolotów nad innymi środkami transportu jest ich duży zasięg oraz szybkość [Union Pacific Railroad 2023]. Wynika ona w dużej mierze z samego sposobu unoszenia się środka transportu. Istnieją także pojazdy latające opierające się na technologii wirnikowej, od ciężkich śmigłowców transportowych takich jak H-47 Chinook [H-47 Chinook] czy S-64 (mil. CH-54 Tarhe); [Altair 2021],

po niewielkie quadrokoptery (czterowirnikowce, potoczna nazwa niewielkich, bezpilotowych jednostek [Quadrocopter]), mające pełnić funkcje latających kurierów [Remiszewska i Czubaszek 2021].

W ciągu ostatnich lat coraz częściej podnoszonym tematem jest szerokie zastosowanie mechanizmów i algorytmów sztucznej inteligencji (sztuczna inteligencja – SI, ang. *artificial intelligence* – AI) w kontekście różnych dziedzin życia. Jest to skutkiem dynamicznego rozwoju tej dziedziny oraz powszechnego dostępu do narzędzi opartych na modelach językowych, takich jak słynny ChatGPT od przedsiębiorstwa OpenAI [ChatGPT – Chatbot od...], które uczyniły je przyjaznymi oraz chętnie wykorzystywanymi przez ogół społeczeństwa [money.pl 2023]. Za najprostszą definicję SI uznać można „technologię umożliwiającą komputerom i maszynom symulować ludzką inteligencję i zdolności rozwiązywania problemów” zaproponowaną przez IBM [Stryker i Kavlakoglu 2024]. Możliwości wynikające z modelowania na podstawie systemów optycznych, dynamicznych symulacji w czasie rzeczywistym oraz analizy ogromnych zbiorów danych lub uczenia maszynowego otworzyły dotychczas nieosiągalne możliwości w kontekście automatyzacji, oraz autonomizacji wielu dziedzin życia zarezerwowanych dotychczas dla ludzi [Verma 2023].

Celem analiz był przegląd wybranych aspektów oraz badań nad zastosowaniem sztucznej inteligencji i jej elementów lub mechanizmów w kontekście towarowego transportu lotniczego. Skupiono się na analizie rozwiązań dotyczących jednostek o budowie samolotu, czyli maszyny latającej cięższej od powietrza, wykorzystującej siłę nośną powstałą na płatach zasadniczo nieruchomych względem kadłuba [Samolot i Petrozolin-Skowrońska 1998]. Równocześnie znaczna większość opisanych rozwiązań służyć może do usprawnienia przetrzutu towarów drogą lotniczą niezależnie od sposobu budowy jednostki. Źródłem informacji była literatura naukowa oraz branżowa, a także doniesienia prasowe lub pochodzących bezpośrednio z materiałów przedsiębiorstw, agencji i organizacji prowadzących badania na dany temat.

Historia prób autonomizacji obiektów latających

Powstanie obiektów mogących przez długi czas pozostawać w powietrzu wzbudziło znaczące zainteresowanie w świecie naukowym oraz militarnym. Opracowane w XVIII wieku balony na ogrzane powietrze [Challoner 2009a] pozwoliły ludziom spojrzeć na świat z niedostępnej wcześniej perspektywy i sięgnąć do nieznanych obszarów badań związanych z dotychczas nieosiągalnym pułapem oraz przestrzenią [Drozdowski 2023].

Z punktu widzenia nauki umożliwiło to między innym w realny sposób obserwację dużych obiektów, w tym geograficznych, dzięki czemu możliwe było dokonanie korekty wcześniejszych map [Berson 1896]. Równocześnie dostrzeżono ogrom możliwości w obszarze badań wyższych partii atmosfery. Dało to szerokie pole do rozwoju meteorologii i nauk pokrewnych. Szybko jednak zwrócono uwagę na wady związane z ryzykiem, na które narażony jest ludzki badacz umieszczony z aparaturą w niewielkim koszu, w szczególności podczas próby pozyskania danych dotyczących gwałtownych zjawisk pogodowych. Tym samym opracowano bezzałogowe balony z przyrządami pomiarowymi [Piccard b.d.].

Z perspektywy wojskowej balony stanowiły doskonały punkt obserwacyjny [Drozdowski 2023] zapewniający duże pole widzenia oraz niwelowały część problemów wynikających z ukształtowania terenu. Obserwatorzy mogli wykrywać ruchy wojsk oraz zawczasu określać ich przybliżoną wielkość [Hogg 2007]. Balony tej klasy, choć oparte na innej technologii i niewymagające obecności człowieka, stosowane bywają do dziś, czego głośnym przykładem było strącenie takiego obiektu przez USAF (United States Air Force – siły powietrzne Stanów Zjednoczonych) w 2023 roku [Garamone 2023].

Teoretycy i dowódcy zaczęli szybko rozważać, w jaki sposób wykorzystać środki latające do działań ofensywnych. Zrzucanie ładunków z balonów znajdujących się nad wrogimi liniami stanowiło kuszącą perspektywę, jednak prędkość i stosunkowo niski pułap lotu obiektów czyniłby takie działanie skrajnie ryzykownym dla załogi. Tym samym rozpoczęto badania nad balonami bezzałogowymi, które po wypuszczeniu przy odpowiednich warunkach pogodowych miały opaść na cel z ładunkami wybuchowymi lub zapalającymi [Aerostaty]. Do podobnej koncepcji wróciło Cesarstwo Japonii, rozważając ją jako sposób ataku na Stany Zjednoczone w schyłkowym okresie II wojny światowej. Za podstawowe wady tego rozwiązania uznano szybko jego nieprecyzyjność wynikającą z bardzo prostej, niepewnej metody zrzutu oraz wysoką zależność od warunków atmosferycznych, choć ich użycie doprowadziło do śmierci przynajmniej sześciu amerykańskich cywili [August 2023]. Tego typu rozwiązania wskazują na zrozumienie zalet związanych z konstruowaniem pojazdów latających niewymagających obecności pilota.

W literaturze występuje wiele definicji sformułowania „pojazd autonomiczny”. Można jednak wyróżnić dwie cechy dla nich wspólne [Choromański i in. 2021, Ułanowska 2024]:

- zdolność do samodzielnego, czasowego lub nieprzerwanego, samosterowania;
- analizowanie na bieżąco sytuacji zewnętrznej oraz otoczenia i podejmowanie samodzielnych decyzji w bezpośredniej odpowiedzi na zdarzenia.

Faktyczne próby stworzenia obiektów, które można uznać za zawierające pewne elementy autonomiczności, związane są ściśle z powstaniem i rozwojem samolotów, czyli jednostek lotniczych wykorzystujących siłę ciągu silnika oraz budowę aerodynamiczną skrzydeł do wzniesienia się w przestworzu. Pierwszy bezpilotowy, ale nadal zdalnie sterowany przy użyciu fal radiowych, samolot zbudowany został przez Lawrence’a Sperry’ego w 1918 roku, w czasie II wojny światowej zaś doszło do przynajmniej jednego przypadku przekształcenia bombowca PB4Y-1 w latającą bombę [Jaworski 2021a, b]. Końcówka lat 30. XX wieku i początek lat 40. to też moment eksperymentów związanych ze śmigłowcami, a także wprowadzaniem do lotnictwa silników odrzutowych [Challoner 2009b, c].

Dość kontrowersyjne oraz ekscentryczne w okresie wojennym były podejmowane przez armię Stanów Zjednoczonych próby wykorzystania zwierząt latających w charakterze środków bojowych. Rozważano użycie nietoperzy oraz gołębi do przeniesienia niewielkich ładunków zapalających na terytorium Japonii, gdzie doprowadzić miały do powszechnych pożarów, na które szczególnie narażona byłaby lekka architektura cywilna. Oczywiście oznaczało to także śmierć zaangażowanych zwierząt. Mimo obiecujących testów polowych (spalenie makiety japońskiej wioski, urządzeń badawczych, okolicznego pola startowego i składów materiałowych oraz hangaru) prace zarzucono [Jaworski 2021b].

Tego rodzaju próby odbywały się w warunkach gwałtownego, dynamicznego wyścigu zbrojeń oraz konieczności osiągnięcia przewagi na frontach II wojny światowej, tym samym większość technologii podlegała celom stricte wojskowym. Za jedno z najsłynniejszych jednostek przypominających samoloty, ale pozbawione pilotów, uznać można rakiety V-1, należące do niemieckiej tak zwanej broni odwetowej [Dudziak 2017].

Po II wojnie światowej doszło do dynamicznego rozwoju technologii informatycznych, co pozwoliło na tworzenie coraz bardziej skomplikowanych technologii autopilota, które stopniowo ograniczają rolę i konieczność koncentracji uwagi ludzkiej załogi podczas mniej wymagających elementów lotu. Ich rozwój wymagał zastosowania coraz większej złożoności obliczeniowej, na co pozwalało tworzenie bardziej skomplikowanych, a równocześnie mniejszych komputerów. W ostatnich latach natomiast rozpoczęto implementowanie również mechanizmów sztucznej inteligencji do jednostek latających.

Wybrane elementy systemów autonomicznych i sztucznej inteligencji w lotnictwie

Pomimo bycia najszybszym środkiem transportu, loty samolotowe potrafią trwać wiele godzin, co może powodować znużenie i zmęczenie pilotów oraz załogi. Wpływa to znacząco na ich zdolności funkcjonowania podczas krytycznych momentów takich jak lądowanie lub wykonywanie manewrów w czasie reagowania na zmienne, często niekorzystne sytuacje. Odporność człowieka, oprócz ograniczonego paliwa, uznawana jest za jedno z najważniejszych ograniczeń w kontekście długich lotów. Drugi z opisanych problemów próbowano rozwiązać na różne sposoby, w tym poprzez budowę jednostek napędzanych reaktorami jądrowymi [Lizut 2023] lub wyposażonych w panele fotowoltaiczne. W praktyce jednak najkorzystniejszą, a przez to najbardziej rozpowszechnioną formą stosowaną głównie przez siły zbrojne stało się tankowanie pojazdów w powietrzu przy wykorzystaniu tak zwanych samolotów cystern.

Tankowanie w powietrzu stanowi manewr, który wymaga od obydwu jednostek wysokiej koordynacji oraz współpracy w trudnych warunkach. Polega ono na zajęciu odpowiedniej pozycji samolotu tankowanego, z reguły za i pod tak zwaną latającą cysterną, który przy użyciu sterowanego przez operatora (ARO – *aerial refuelling operator* – operator tankowania w powietrzu), sztywnego przewodu podaje paliwo do wlotu znajdującego się w górnej części kadłuba jednostki uzupełniającej paliwo. Znacząco zwiększa to jej zasięg oraz umożliwia dłuższe operowanie bez wykonywania lądowania i startu. Tym samym skraca czas lotu, a także ogranicza liczbę wykonywanych manewrów. W przypadku zastosowania w transporcie lotniczym jednostek bezpilotowych operujących na dalekich trasach niezwykle korzystne byłoby dokonywanie tankowania w sposób autonomiczny. Nad tym rozwiązaniem pracuje między innymi przedsiębiorstwo Airbus w ramach systemu Auto'Mate. Podczas lotu testowego w listopadzie 2023 roku zademonstrowano działanie operacji klasy A4R (A4R – *autonomous assets air to air refuelling* – tankowanie w powietrzu jednostek autonomicznych) przy wykorzystaniu samolotu tankowca A310 MRTT oraz pięciu dronów Airbus DT-25, które zasymulowały w pełni autonomiczne tankowanie, posługując się systemem opartym na sztucznej inteligencji. Operacja polegała na przejęciu kontroli nad dronami przez główny samolot,

a następnie zarządzanie ich działaniami w celu podłączenia do przewodu paliwowego, również nieobsługiwanego przez człowieka. Zapewnia to poziom koordynacji nieosiągalny dla załóg złożonych z ludzi. Zakończyła się ona pełnym sukcesem, ukazując możliwości i potencjał systemów autonomicznych w tym zakresie. Zapewniają one wzrost bezpieczeństwa oraz efektywności działania, a także możliwość przeprowadzania go w niekorzystnych warunkach, na przykład w czasie ograniczonej widoczności. Algorytmy sztucznej inteligencji umożliwiają szybkie tworzenie symulacji oraz scenariuszy w celu reagowania na ewentualną zmianę warunków. Należy przy tym podkreślić, że prace w tym kontekście pozostają nadal na wczesnym etapie rozwoju i dotyczyły niewielkich jednostek testowych, a nie pełnoskalowych pojazdów transportowych [Airbus 2023].

Innym programem związanym z autonomizacją, również prowadzonym przez przedsiębiorstwo Airbus, jest projekt ATTOL (*Autonomous Taxi, Take-Off and Landing* – Autonomiczne Kołowanie, Start i Lądowanie) zakładający badanie oraz rozwój technologii pozwalających na dokonywanie kołowania, startu i lądowania w sposób autonomiczny, opierający się na technologiach optycznych. W trakcie całego projektu przeprowadzono ponad 500 lotów, z czego około 450 w celu zgromadzenia odpowiedniej bazy nagrań służących później do trenowania algorytmów wykorzystujących uczenie maszynowe oraz zautomatyzowaną analizę danych pozwalających na zaawansowane modelowanie w czasie rzeczywistym. Ostatnim etapem było sześć lotów, podczas których za każdym razem dokonywano pięciu startów i lądowań w celu przetestowania możliwości systemów autonomicznych. W kokpicie samolotu pasażerskiego A350-1000 przebywali piloci, jednak nie musieli oni podejmować interwencji. Komputer pokładowy w czasie rzeczywistym analizował położenie samolotu względem osi pasa startowego, wprowadzając poprawki, co zaprezentowano na udostępnionym przez przedsiębiorstwo nagraniu [Dla pilota 2020]. Należy podkreślić, że projekt odbywał się w latach 2018–2020, czyli jeszcze przed okresem wzmożonego zainteresowania i błyskawicznego rozwoju SI [Airbus 2020].

Nad ograniczeniem roli pilotów w kontekście obsługi samolotów oraz wyeliminowania ich obecności na pokładzie maszyn pracują także mniejsze przedsiębiorstwa takie jak Reliable Robotics i Xwing, które w 2024 roku zaprezentowały USAF autonomiczne wersje popularnego samolotu Cessna 208 Caravan. Jest to stosunkowo niewielka jednostka transportowa charakteryzująca się wysokim poziomem elastyczności oraz uniwersalności, a także możliwością działania w różnorodnym środowisku [Cessna Caravan]. W obu przypadkach samolot nadal pozostaje pod kontrolą ludzkiego operatora wydającego komendy z ziemi, jednak odpowiada on za zarządzanie lotem i komunikację z innymi podmiotami, pozostawiając kwestie samego lotu w całości pod kontrolą systemu sterującego jednostką. Pozwala to znacząco obniżyć koszty oraz czas trwania szkolenia pilota, który staje się właściwie kontrolerem ruchu, podejmującym podstawowe decyzje. Ponadto dzięki uniwersalności rozwiązania umożliwia skrócenie czasu transferu operatora pomiędzy różnymi modelami maszyn. System testowany obecnie na mniejszych pojazdach, prawdopodobnie z równym powodzeniem sprawdziłby się w kontekście dużych jednostek transportowych, czego przykładem są badania Reliable Robotics nad wprowadzeniem autonomii do samolotu tankowca KC-135 [Hadley 2024]. Ze względu na charakter prac trudno jednoznacznie określić, w jakim stopniu stosowane są w nich elementy określane mianem sztucznej inteligencji. Niemniej założyć można, że wprowadzanie jej do samolotów bezpilotowych może poprawić ich skuteczność oraz

bezpieczeństwo lotu, w szczególności w trudnych warunkach, dzięki zdolności do predykcji oraz symulacji przyszłych zdarzeń.

O możliwościach SI oraz uczenia maszynowego należy także mówić w kontekście tworzenia całych lotniczych łańcuchów dostaw. Oferują one nieosiągalne do tej pory możliwości w kontekście analizy dostarczonych danych oraz charakteryzują się znacząco większą responsywnością względem wcześniejszych programów, które z reguły wymagały obsługi przez wykwalifikowanych pracowników. Z perspektywy klienta ułatwiają kontakt przy użyciu aktywnego i dostępnego przez cały czas *chatbota* [Cargo Flash InfoTech 2024], co ważne jest szczególnie przy uwzględnieniu różnic stref czasowych wynikających z dystansu lotniczych operacji transportowych. Równocześnie systemy SI mogą reagować w czasie rzeczywistym, znacznie szybciej niż człowiek, na zmieniające się warunki zwłaszcza w sytuacji dużej ilości zmiennych oraz znacznej niepewności. Jedną z ważnych funkcji tych systemów jest możliwość modelowania i przewidywania oraz wyboru najkorzystniejszego, a przy tym prawdopodobnego rozwiązania. Inną zaletą jest odnajdywanie dotychczas nieznanymi trendów lub wzorów przebiegu operacji. Sofiane Dafer w czasie IATA World Cargo Symposium poinformowała, że zastosowanie uczenia maszynowego poprawiło wykorzystanie możliwości ładunkowych o 8%, a natychmiast po wdrożeniu rozwiązania wskaźnik błędu prognozowania spadł z 20 do 14% [Brett 2023]. Równocześnie SI może usprawnić i przyspieszyć procesy związane z dokumentacją, odciążając tym samym pilotów, w szczególności poprzez zastosowanie rozwiązań klasy OCR (*optical character recognition* – optyczne rozpoznawanie znaków). Ponadto systemy optyczne wykorzystujące sztuczną inteligencję mogą pomóc monitorować na bieżąco stan pilotów poprzez analizę twarzy w czasie rzeczywistym, co pozwoli między innymi alarmować w momencie senności, przemęczenia lub złego stanu psychicznego [Chawla 2024].

Samolot sterowany przez AI – program ACE i X-62A

Za jeden z najbardziej wymagających obszarów lotnictwa uznaje się pilotowanie samolotów myśliwskich przeznaczonych do bezpośredniej walki z innymi jednostkami latającymi oraz tworzeniu przewagi powietrznej. Wymagają one od pilota zarówno zdolności sterowania pojazdem, jak i pokonania przeciwnika. W obecnych czasach dotyczyć może to zarówno obiektów bezpilotowych, takich jak drony lub rakiety, jak i wymagających bezpośredniej, ludzkiej obsługi śmigłowców lub samolotów transportowych oraz bojowych. W szczególności wyróżnić należy tu pojedynki pomiędzy jednostkami myśliwskimi, które charakteryzują się względnie podobnymi parametrami oraz przeznaczeniem. Już we wczesnej fazie wykorzystania lotnictwa w charakterze bojowym dochodziło do częstej walki między pilotami, na początku przy użyciu osobistej broni ręcznej, a następnie montowanych karabinów maszynowych. Wzrastające osiągi samolotów prowadziły do konieczności wyposażenia ich w skuteczniejsze, bardziej wyspecjalizowane środki, takie jak działka charakteryzujące się większym kalibrem (od 20 mm w górę) i zasięgiem czy rakiety powietrze-powietrze lub ziemia-powietrze. Te ostatnie z reguły są wyposażone w systemy namierzania pozwalające podążać za celem przy wykorzystaniu między innymi sygnatury

cieplnej lub wykrywania magnetycznego [Hogg 2009]. Przeciwno nim wprowadzono różne systemy obronne, mające przede wszystkim zmienić kurs obiektu, takie jak wyrzucane za ogonem flary. Wszystkie te elementy czynią z samolotów myśliwskich jednostki łączące w sobie często możliwości osiągania wysokich prędkości, dokonywania manewrów oraz większej odporności na uszkodzenia, choć osiągnięcie odpowiedniego stopnia we wszystkich tych obszarach zwykle jest niemożliwe.

Samolot myśliwski F-16 stanowi jeden z najsłynniejszych pojazdów latających świata i jest używany przez ponad 25 różnych państw, w tym polskie siły powietrzne. Ta jednoosobowa, wielozadaniowa maszyna charakteryzuje się stosunkowo niską ceną, dużą elastycznością pod kątem przenoszonego uzbrojenia oraz wysokim poziomem zwrotności, jako pierwszy samolot skonstruowany tak, by móc przekraczać przeciążenie 9 G podczas standardowych manewrów. Siedem węzłów (sześć na skrzydłach, jeden pod kadłubem) pozwala na podwieszenie szerokiej gamy uzbrojenia, zarówno przeznaczonego do walki powietrznej, jak i niszczenia celów naziemnych oraz wydłużenie czasu lotu w przypadku zamontowania dodatkowych zbiorników z paliwem. Ponadto samolot wyposażono w działko kalibru 20 mm M61A1 Vulcan. Pierwsza wersja F-16 osiągnęła gotowość operacyjną w 1979 roku, służąc w różnych, zmodernizowanych wersjach do dziś. Od samego początku eksploatacji niezwykle ważnym elementem samolotu jest komputer pokładowy pozwalający na wykonywanie manewrów poprzez kontrolowanie i korygowanie niestaceczności wynikającej z zastosowania tak zwanego skrzydła pasmowego. Rozwiązanie to znacząco zwiększa zwrotność samolotu przez generowanie siły nośnej w dużym zakresie kątów natarcia oraz prędkości. Tym samym ten element lotu został oddany pod kontrolę komputera, co czyni go niezbędnym, kluczowym elementem wyposażenia samolotu [Dougherty 2010].

Na skutek dynamicznego rozwoju i możliwości systemów sztucznej inteligencji DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency* – Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych Departamentu Obrony), amerykańska, działająca w strukturze Departamentu Obrony Stanów Zjednoczonych, agencja, której celem jest opracowywanie oraz rozwijanie nowoczesnych technologii wojskowych, rozpoczęła program ACE (*Air Combat Evolution* – Ewolucja Walki Powietrznej). Jego głównym celem jest zwiększenie zastosowania sztucznej inteligencji w kontekście bezpośredniej walki powietrznej (tak zwany *dogfighting* – termin trudny do dosłownego tłumaczenia na język polski, zwykle odnoszony do bezpośredniej walki samolotów myśliwskich w zasięgu wzroku, często na dystansie pozwalającym na użycie działek lub karabinów maszynowych), gdzie rola ludzkiego pilota zostaje sprowadzona do ogólnego zarządzania walką, doboru broni i nadzoru nad przebiegiem starcia, za bezpośredni przebieg potyczki natomiast odpowiada komputer. Ponadto zakłada się jego współpracę w czasie rzeczywistym z innymi pojazdami bezpilotowymi. Wymaga to przede wszystkim rozwoju technologii autonomicznej do poziomu, na którym mogłaby prowadzić skuteczne działania bojowe oraz budzić zaufanie pilota powierzającego jej swoje życie [Hefron b.d.].

W ciągu krótszego niż trzy lata okresu prac rozwojowych opracowano pierwszy rzeczywisty samolot w pełni pilotowany przez system sztucznej inteligencji. Jednostkę tę stanowi dwumiejscowy, zmodyfikowany, treningowy F-16 określany mianem X-62A lub VISTA (*variable in-flight simulator test aircraft* – zmienny latający symulacyjny samolot testowy) wyposażony w SACS (*system for autonomous control of simulation* – system autonomicz-

nego sterowania symulacją). Pomimo obecności pilota na pokładzie, który w każdej chwili może przejąć kontrolę nad jednostką, samolot samodzielnie wykonuje manewry startu i lądowania oraz lotu, w tym symulowanych akcji bojowych. Do tej pory przeprowadzono ponad 20 lotów [Gitlin 2024]. Ponadto już w 2020 roku wykorzystywane w samolocie systemy sztucznej inteligencji pokonały doświadczonego pilota F-16 na symulatorze [DARPA 2023]. Jednak dopiero w 2023 roku przeprowadzono symulowane starcie w realnych warunkach, to jest przy wykorzystaniu rzeczywistych maszyn, na małym dystansie (w zasięgu wzroku). Do dziś (03.05.2024) nie ujawniono wyniku starcia [D’Urso 2024].

Warto równocześnie podkreślić, że rzeczywiste loty samolotu pilotowanego przez sztuczną inteligencję wielokrotnie pokazywały ograniczenia tej technologii i wymagały dokonywania kolejnych poprawek wynikających z różnic w zachowaniu realnej maszyny względem komputerowej symulacji. Równocześnie według podpułkownika Ryana „Hala” Hefrona nie napotkano żadnych poważnych problemów, a przede wszystkim pokazano konieczność prowadzenia testów na obiektach takich jak VISTA, które ze względu na duże możliwości rekonfiguracji znacząco przyspieszają proces udoskonalania technologii [Hefron b.d.]. Można zatem założyć, że w przypadku tworzenia autonomicznych samolotów transportowych należy najpierw przeprowadzić analogiczny proces, czyli prowadzić testy w warunkach rzeczywistych przy wykorzystaniu już istniejących maszyn. Równocześnie znaczącą kwestią pozostają zmiany w budowie jednostek pozbawionych klasycznych kokpitów. Ponadto w ramach testów prowadzono symulacyjne pojedynki ośmiu różnych systemów SI, co podniosło poziom każdego z nich [D’Urso 2024]. O ile więc w przypadku cywilnych zastosowań nie występuje konieczność ani możliwość walki bojowej różnych propozycji w kontekście bezpośrednich starć, o tyle możliwe byłoby zestawianie równolegle systemów do konkurowania oraz tworzenia alternatywnych scenariuszy celem podniesienia ich sprawności i zdolności reagowania na nieprzewidziane sytuacje.

Projektowanie samolotów a sztuczna inteligencja

Ze względu na ograniczenie lub całkowite wyeliminowanie roli pilota w kontekście sterowania pojazdem jego obecność na pokładzie samolotu może okazać się niepotrzebna, a w niektórych przypadkach wręcz niekorzystna. Opisane przykłady wskazują na dążenie do uczynienia maszyn w jak największym stopniu autonomicznymi oraz dowodzą, że już na obecnym etapie staje się to możliwe. W tej sytuacji może dojść do znaczących zmian w budowie samolotów przez wyeliminowanie elementów sterowania i kokpitu. Tym samym redukcji ulegnie masa własna pojazdu, co pozwoli zwiększyć jego udźwig, a także zwiększyć przestrzeń ładunkową, co przełoży się nie tylko na zwiększenie możliwości transportowych i obniżenie kosztów, ale także na ograniczenie emisji substancji szkodliwych w przeliczeniu na ilość towaru [Natilus 2023].

Inną propozycją jest powrót do szybowców transportowych znanych między innymi z operacji powietrznodesantowych podczas II wojny światowej, w tym podczas niemieckiego ataku na Belgię [Kubiak i Lizut 2016] oraz alianckiej operacji Market Garden [Grant 2007]. O ile ówczesne konstrukcje charakteryzowały się znaczną prostotą i w przypadku jednostek pozbawionych załogi po odłączeniu liny holowniczej zaczynały właściwie niekontrolowany lot ślizgowy, o tyle współczesne pro-

pozycje tego rozwiązania zakładają autonomiczne sterowanie lotkami oraz sterami kierunku i wysokości przez system kierujący szybowcem. Pozwoli to na bardziej precyzyjne, bezpieczne lądowanie, ograniczając ryzyko uszkodzenia pojazdu i towaru. Możliwość rezygnacji z silników i kokpitu według firmy Aerolane może obniżyć koszty transportu lotniczego nawet o 65% [Blain 2024]. W tym wypadku algorytmy sztucznej inteligencji mogłyby nie tylko usprawnić sterowanie pojazdem, ale także pomóc w podjęciu decyzji o odłączeniu liny holowniczej w zależności od często bardzo zmiennych warunków pogodowych.

Należy zwrócić również uwagę na fakt możliwości zastosowania sztucznej inteligencji do tworzenia projektów oraz prototypów maszyn latających zgodnie z podanymi założeniami. Już na obecnym etapie trwają prace i występują często propozycje zmian ogólnego sposobu projektowania kształtu jednostek latających dla zwiększenia ich efektywności [Natilus]. Jednym z ciekawych rozwiązań, które stanowi obecnie ważny kierunek w ogólnym projektowaniu skomplikowanych urządzeń, jest tworzenie tak zwanych cyfrowych bliźniaków, czyli obiektów wirtualnych identycznych z fizycznymi. Pozwalają one na przeprowadzanie testów bez strat cennych prototypów i eliminację części problemów już na etapie projektowania. Oczywiście nie mogą one zastąpić w całości testów z użyciem rzeczywistych pojazdów, jednak mogą znacząco ograniczyć liczbę występujących później problemów, a przez to obniżyć liczbę strat obiektów testowych i przyspieszyć proces rozwoju dzięki dostarczeniu prototypów od razu bliższych ostatecznemu projektowi. Dodatkowo „cyfrowe bliźniaki” umożliwiają eksperymentowanie oraz analizę zdarzeń trudnych do osiągnięcia w przypadku pełnowymiarowych obiektów testowych, na przykład przybliżone zachowanie przy rzadko występujących warunkach [Chawla 2024].

Podsumowanie i wnioski

Transport lotniczy podlega obecnie znacznym przemianom, na które wpływ ma między innymi dynamiczny rozwój sztucznej inteligencji. Jej mechanizmy implementować można w różnych aspektach, dotyczących zarówno sterowania i planowania trasy lotu, jak i w fazie projektowania oraz zapewnienia odpowiedniego poziomu usług. Tym samym przedsiębiorstwa, które jako pierwsze skutecznie zaimplementują ją w swoich produktach (zarówno w znaczeniu fizycznym, jak i usługowym), zyskają znaczącą przewagę konkurencyjną. Sztuczna inteligencja pozwoli uniknąć ograniczeń związanych z niedoborem personelu lotniczego, optymalizować budowę samolotów w celu zwiększenia efektywności przewozów, co przełoży się na obniżenie kosztów oraz emisji substancji szkodliwych dla środowiska.

Jednostki latające już teraz charakteryzują się stosunkowo wysokim poziomem automatyzacji, szczególnie w porównaniu z innymi środkami transportu. Wiele jednostek, szczególnie bardziej wymagających w ujęciu zdolności sterowania jest obecnie zależnych od działania komputera pokładowego. Opracowywane są też systemy, które pozwalają zarządzać lotem bez obecności pilota. Dodatkowo są one stosunkowo uniwersalne, co przekłada się na możliwość wprowadzania ich do różnych jednostek, a także przyspie-

sza przekwalifikowania personelu. Wprowadzanie SI pozwala znacząco podnieść jakość i bezpieczeństwo lotów, czego przykładem jest wprowadzenie sztucznej inteligencji do myśliwca F-16 określanego mianem X-62A.

Generalnie założyć można, że elementy sztucznej inteligencji odegrają ważną rolę w dalszym rozwoju lotnictwa transportowego i uczynią go jeszcze bardziej efektywnym oraz korzystnym sposobem przetrwania dóbr. Równocześnie podczas prac należy zwracać uwagę na słabe strony, a także zagrożenia wynikające z wprowadzenia tej stosunkowo nowej technologii, której wszystkie możliwości prawdopodobnie nie są jeszcze znane. Niemniej należy spodziewać się wzrostu autonomizacji transportu lotniczego. Wraz z upowszechnieniem się technologii dojdzie zapewne do jej dalszego rozwoju i usprawnienia.

Bibliografia

- Aerostaty, Twierdza Przemyśl, [źródło elektroniczne] <http://www.twierdzaprzemysl.org/index.php?menu=art&akction=Aerostaty> [dostęp: 11.05.2024]
- Airbus, 2020: Airbus concludes ATTOL with fully autonomous flight tests, [źródło elektroniczne] <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2020-06-airbus-concludes-attol-with-fully-autonomous-flight-tests> [dostęp: 03.05.2024].
- Airbus, 2023: Aerial refuelling without human intervention, [źródło elektroniczne] <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2023-11-aerial-refuelling-without-human-intervention> [dostęp: 03.05.2024].
- Altair, 2021: Renesans CH-54 Tarhe?, Agencja Lotnicza, [źródło elektroniczne] https://www.altair.com.pl/news/view?news_id=32864 [dostęp: 06.05.2024].
- August M., 2023: The Forgotten History of the Japanese Balloon Bomb That Killed Americans in World War II, Time, [źródło elektroniczne] <https://time.com/6276685/japanese-balloon-bomb-history-world-war-ii/> [dostęp: 7.05.2024].
- Berson A. 1896: The use of balloon in geographical work, The Geographical Journal 5(7), 541–544.
- Blain L., 2024: Unpowered cargo gliders on tow ropes promise 65% cheaper air freight, New Atlas, [źródło elektroniczne] <https://newatlas.com/aircraft/towed-cargo-gliders/> [dostęp: 08.05.2024].
- Brett D., 2023: AI and machine learning to enhance air cargo, Aircargo news, [źródło elektroniczne] <https://www.aircargonews.net/ai-and-machine-learning-to-enhance-air-cargo/1060550.article> [dostęp: 2.05.2024].
- Cargo Flash InfoTech, 2024: 5 Innovative Technologies Set to Transform Air Cargo in 2024, LinkedIn, [źródło elektroniczne] <https://www.linkedin.com/pulse/5-innovative-technologies-set-transform-air-cargo-2024-cargoflash-jiqje> [dostęp: 02.05.2024].
- Cessna Caravan, [źródło elektroniczne] https://cessna.txtav.com/en/turboprop/caravan#_model-specs [dostęp: 02.05.2024].
- Challoner J., 2009a: Balon na ogrzane powietrze, [w:] 1001 wynalazków, które zmieniły świat, Publicat S.A., Poznań.
- Challoner J., 2009b: Silnik odrzutowy, [w:] 1001 wynalazków, które zmieniły świat, Publicat S.A., Poznań 2009.

- Challoner J., 2009c: Śmigłowiec, [w:] 1001 wynalazków, które zmieniły świat, Publicat S.A., Poznań 2009.
- ChatGPT – Chatbot od TalkAI w języku polskim, TalkAI, [źródło elektroniczne] <https://talkai.info/pl/> [dostęp: 11.05.2024].
- Chawla J., 2024: Future Trends in Aviation Logistics: AI and Automation, [źródło elektroniczne] <https://enestit.com/future-trends-in-aviation-logistics-ai-and-automation/> [dostęp: 2.05.2024].
- Choromański W., Grabarek I., Kozłowski M., Czerepicky A., Marczuk K.: 2021: Pojazdy Autonomiczne i systemy transport autonomicznego, PWN, Warszawa.
- D’Urso S., 2024: AI Flew X-62 VISTA During Simulated Dogfight Against Manned F-16, The Aviationist, [źródło elektroniczne] <https://theaviationist.com/2024/04/18/ai-flew-x-62-vista-during-dogfight/> [dostęp: 3.05.2024].
- DARPA, 2023: ACE Program’s AI Agents Transition from Simulation to Live Flight, [źródło elektroniczne] <https://www.darpa.mil/news-events/2023-02-13> [dostęp: 03.05.2024].
- Dla pilota, 2020: Airbus ukończył projekt ATTOL lotami całkowicie autonomicznymi, [źródło elektroniczne] <https://dlapilota.pl/wiadomosci/airbus/airbus-ukonczyl-projekt-attol-lotami-calkowicie-autonomicznymi> [dostęp: 03.05.2024].
- Dougherty M.J., 2011: Nowoczesne uzbrojenie lotnicze, MAK velrlag GmbH, Brema.
- Drozdowski K., 2023: Od balonu do latającego czołgu, Odkrywca 4, 50–53.
- Dudziak M., 2017: W poszukiwaniu Wunderwaffe. Bronie V na ziemiach polskich, Replika, Zakrzewo.
- Garamone J., 2023: F-22 Safely Shoots Down Chinese Spy Balloon Off South Carolina Coast, U.S. Department of Defense, [źródło elektroniczne] <https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/Article/3288543/f-22-safely-shoots-down-chinese-spy-balloon-off-south-carolina-coast/> [dostęp: 11.05.2024].
- Georgilidakis S., 2021, Airbus Beluga No1 Gets Retired – Or Replaced!, Mentour Pilot, [źródło elektroniczne] <https://mentourpilot.com/airbus-beluga-no1-gets-retired-or-replaced/> [dostęp: 06.05.2024].
- Gitlin J.M., 2024: This AI-controlled jet fighter has now flown against human pilots, Ars Technica, [źródło elektroniczne] <https://arstechnica.com/cars/2024/04/darpas-ai-test-pilot-successfully-flew-a-dogfight-against-a-human/> [dostęp: 03.05.2024].
- Grant R.G., 2007: Bitwy. Historia wojen i konfliktów zbrojnych, PWN, Warszawa.
- H-47 Chinook, Boeing, [źródło elektroniczne] <https://www.boeing.com/defense/ch-47-chinook> [dostęp: 06.05.2024].
- Hadley G., 2024: Autonomous Cargo Planes: Is This the Future of ACE?, Air & Space Forces, [źródło elektroniczne] <https://www.airandspaceforces.com/autonomy-startups-cargo-air-force-exercise/> [dostęp: 03.05.2024].
- Hefron R., b.d.: Air Combat Evolution (ACE), DARPA, [źródło elektroniczne] <https://www.darpa.mil/program/air-combat-evolution> [dostęp: 03.05.2024].
- Hogg I.V., 2009: Encyklopedia uzbrojenia, Bellona, Warszawa.
- Jaworski J., 2021a: Pierwsze pociski sterowane. Część 1, Odkrywca, 10, 29–33.
- Jaworski J., 2021b: Pierwsze pociski sterowane. Część 2, Odkrywca, 11, 44–48.
- Kubiak K., Lizut J., 2016: Wielki blef czyli desant na twierdzę cz. 2, Wojsko i Technika Historia 2/2016, [źródło elektroniczne] <https://zbiam.pl/artykuly/wielki-blef-czyli-desant-na-twierdze/> [dostęp: 08.05.2024]

- Lizut J., 2023, Atomowe marzenia, Odkrywca, 2, 30–31.
- money.pl, 2023: Chat GPT: Nowy wymiar zarabiania dzięki sztucznej inteligencji, [źródło elektroniczne] <https://www.money.pl/gospodarka/chat-gpt-nowy-wymiar-zarabiania-dzieki-sztucznej-inteligencji-6897219639913280a.html> [dostęp: 11.05.2024].
- Natilus, [źródło elektroniczne] <https://natilus.co/about/> [dostęp: 08.05.2024].
- Natilus, 2023: UPS Feeder Airline Intends To Buy 20 Pilotless Cargo Planes, [źródło elektroniczne] <https://natilus.co/ups-feeder-airline-intends-to-buy-20-pilotless-cargo-planes/> [dostęp: 08.05.2024].
- OECD, Ocean shipping and shipbuilding, [źródło elektroniczne] <https://issuu.com/oecd-publishing/docs/oecd-work-in-support-of-a-sustainable-ocean/26> [dostęp: 06.05.2024].
- Petrozolin-Skowrońska B., 1998: Samolot, Nowa encyklopedia powszechna PWN, PWN, Warszawa.
- Piccard D.L., b.d.: Balloon flight, Britannica, [źródło elektroniczne] <https://www.britannica.com/technology/balloon-flight> [dostęp: 05.05.2024].
- Quadrocopter, Integral SENSO, [źródło elektroniczne] <https://sknaimeth.polsl.pl/projekt-quadrocopter/> [dostęp: 06.05.2024].
- Remiszewska A., Czubaszek M., 2021: Wykorzystanie dronów w logistyce w Polsce – szanse i ograniczenia, Akademia Zarządzania 5(2), 140–154.
- Samolot, Encyklopedia PWN, [źródło elektroniczne] <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/samolot;3971691.html> [dostęp: 06.05.2024].
- Stryker C., Kavlakoglu E., 2024: What is AI?, IBM, [źródło elektroniczne] <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence> [dostęp: 11.05.2024].
- The Berlin Airlift, 1948–1949, Office of the Historian, [źródło elektroniczne] <https://history.state.gov/milestones/1945-1952/berlin-airlift> [dostęp: 6.05.2024]
- Ułanowska M. 2024: Propozycja wykorzystania autonomicznego autobusu na przykładzie KZK w Białymstoku, Wydział Inżynierii Zarządzania, Politechnika Białostocka [praca inżynierska].
- Union Pacific Railroad, 2023: Pros & Cons of Air Freight: Cost, Speed, Shipment Visibility and More, [źródło elektroniczne] <https://www.up.com/customers/track-record/tr090319-plane-pros-cons.htm> [dostęp: 06.05.2024]
- Verma M., Artificial Intelligence Role in Modern Science: Aims, Merits, Risks and Its Applications, International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD) 5, 336–337.
- Wąsowska K., 2018, Transport lotniczy w łańcuchu dostaw, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Organizacja i Zarządzenia 128, 409–420.