

Volodymyr Kharchenko

Dmytro Bugayko

Ivan Ostroumov

BUDOWA STATKÓW  
POWIETRZNYCH  
I SYSTEM  
ŻEGLUGI  
POWIETRZNEJ

Wrocław 2020

# SPIS TREŚCI

WSTĘP .....	9
<b>MODUŁ 1. BUDOWA STATKÓW POWIETRZNYCH.....</b>	<b>11</b>
1. WCZESNA HISTORIA AERONAUTYKI .....	13
1.1. Historia aeronautyki – do 1700 r.....	13
1.2. Historia aeronautyki – XVIII w.....	15
1.3. Historia aeronautyki – XIX w.....	16
2. HISTORIA AERONAUTYKI W XX W – 1900–1945 .....	21
2.1. Historia aeronautyki – 1900–1909.....	21
2.2. Historia aeronautyki – 1910–1919.....	23
2.3. Historia aeronautyki – okres międzywojenny, 1920–1939.....	26
2.4. Historia aeronautyki – II Wojna Światowa, 1939–1945.....	30
3. KLASYFIKACJA I NAJWAŻNIEJSZE PARAMETRY SAMOLOTÓW .....	33
3.1. Klasyfikacja samolotów na podstawie konfiguracji skrzydeł nośnych ..	33
3.2. Oznaczenia typów statków powietrznych według Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO) oraz Międzynarodowego Zrzeszenia Przewoźników Lotniczych (IATA) (samoloty).....	42
3.3. Oznaczenia typów statków powietrznych według Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO) oraz Międzynarodowego Zrzeszenia Przewoźników Lotniczych (IATA) (śmigłowce).....	44
3.4. Kody referencyjne lotnisk według ICAO .....	45
3.5. Kategorie prędkości podejścia do lądowania .....	47

3.6. Kategorie turbulencji w śladzie aerodynamicznym ICAO.....	48
3.7. Boeing kontra Airbus: klasyfikacje i segmenty rynkowe .....	49
<b>4. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA I PARAMETRY STATKÓW POWIETRZNYCH .....</b>	<b>53</b>
4.1. Ogólna charakterystyka i parametry samolotu Airbus A320 .....	53
4.2. Ogólna charakterystyka i parametry samolotu Antonov 124 „Ruslan”.....	56
4.3. Ogólna charakterystyka i parametry samolotu Antonov An-225 „Mrija” .....	62
4.4. Ogólna charakterystyka i parametry śmigłowca Mil Mi-8 .....	64
<b>5. UKŁAD KABINY PASAŻERSKIEJ WE WSPÓŁCZESNYCH SAMOLOTACH I ŚMIGŁOWCACH .....</b>	<b>69</b>
5.1. Układ kabiny pasażerskiej w samolocie Airbus A320 .....	69
5.2. Układ kabiny pasażerskiej w śmigłowcu Mil Mi-8 .....	73
5.2.1. Konfiguracja ratownicza.....	73
5.2.2. Konfiguracja przystosowana do lotniczej ewakuacji medycznej .....	78
5.2.3. Konfiguracja do przewozu pasażerów .....	81
<b>6. UKŁAD PRZEDZIAŁÓW ŁADUNKOWYCH WE WSPÓŁCZESNYCH SAMOLOTACH I ŚMIGŁOWCACH .....</b>	<b>83</b>
6.1. Układ przedziałów ładunkowych w samolocie pasażerskim Airbus A320.....	83
6.2. Układ przedziałów ładunkowych w samolocie transportowym Antonov An-124 „Ruslan” .....	87
6.3. Układ przedziałów ładunkowych w samolocie transportowym Antonov An-225 „Mrija” .....	89
6.4. Układ przedziałów ładunkowych w śmigłowcu Mil Mi-8.....	91
<b>7. PRZYSZŁOŚĆ LOTNICTWA .....</b>	<b>93</b>
7.1. Elektryczne maszyny Airbus Industry .....	93
7.2. Naddźwiękowe samoloty dla biznesu.....	96
7.3. Transport hipersoniczny, suborbitalny i orbitalny.....	102
<b>MODUŁ 2. SYSTEM ŻEGLUGI POWIETRZNEJ.....</b>	<b>109</b>
<b>8. PODSTAWY SYSTEMU ŻEGLUGI POWIETRZNE.....</b>	<b>111</b>
<b>9. URZĄDZENIA DOZOROWANIA W SYSTEMIE ŻEGLUGI POWIETRZNEJ .....</b>	<b>115</b>

9.1. Pierwotne radary dozorowania.....	116
9.2. Wtórne radary dozorowania .....	118
9.3. Dozorowanie zależne.....	121
9.4. Multilateracja.....	121
10. URZĄDZENIA NAWIGACJI LOTNICZEJ .....	125
10.1. Wymagania dotyczące charakterystyki nawigacyjnej .....	128
10.2. Globalne systemy nawigacji satelitarnej .....	133
10.3. Systemy nawigacji inercyjnej .....	135
10.4. Urządzenia pomiaru odległości.....	137
10.5. Urządzenia ogólnokierunkowe VHF.....	140
10.6. System lądowania według wskazań przyrządów .....	143
11. ROLA KOMUNIKACJI W SYSTEMIE ŻEGLUGI POWIETRZNEJ.....	147
11.1. Komunikacja na wysokich częstotliwościach .....	148
11.2. Komunikacja na bardzo wysokich częstotliwościach .....	150
11.3. Satelitarne systemy komunikacyjne .....	154
12. AUTOMATYCZNE SYSTEMY DOZOROWANIA ZALEŻNEGO .....	157
13. SYSTEMY WYKRYWANIA I ZAPOBIEGANIA KOLIZJOM W LOTNICTWIE .....	161
13.1. Pokładowy system zapobiegania kolizjom.....	162
13.2. System ostrzegania o zbliżającej się powierzchni gruntu.....	169
14. SYSTEM ZARZĄDZANIA LOTEM.....	175
15. WSPÓŁCZESNE TRENDY W DZIAŁANIACH SŁUŻBY ŻEGLUGI POWIETRZNEJ .....	181
15.1. Zarządzanie informacją w systemie transportu lotniczego.....	181
15.2. Cyberbezpieczeństwo w służbach żeglugi powietrznej .....	182
ZAKOŃCZENIE .....	187
BIBLIOGRAFIA .....	189
O AUTORACH.....	195



# WSTĘP

Branża transportu lotniczego odgrywa istotną rolę w całym światowym systemie gospodarczym. Założenia strategiczne sektora lotniczego są ściśle związane z realizacją 15 spośród 17 Celów Zrównoważonego Rozwoju ONZ. Głównym celem niniejszego podręcznika jest przedstawienie studentom zrównoważonego systemu lotnictwa, opartego na innowacyjnych konstrukcjach samolotów i inteligentnym, bezpiecznym systemie żeglugi powietrznej.

Podręcznik składa się z dwóch części: *Budowa samolotów* i *System żeglugi powietrznej*. Poruszamy w nich następujące zagadnienia: historię aeronautyki, klasyfikację statków powietrznych, najważniejsze cechy i parametry samolotów i helikopterów, układ kabiny pasażerskiej w nowoczesnych samolotach i helikopterach, układ przedziałów bagażowych i towarowych w nowoczesnych samolotach i helikopterach, lotnictwo przyszłości, podstawy systemu żeglugi powietrznej, urządzenia dozorowania wykorzystywane w systemach żeglugi powietrznej, urządzenia nawigacyjne wykorzystywane w żegludze powietrznej, rolę komunikacji w systemach żeglugi powietrznej, automatyczne systemy dozorowania zależnego, systemy wykrywania i zapobiegania kolizjom w lotnictwie, system zarządzania lotem oraz nowoczesne trendy w systemie żeglugi powietrznej.

Podręcznik przedstawia również główne zasady konstrukcji statków powietrznych i funkcjonowania systemu żeglugi powietrznej. Przeznaczony jest dla szerokiej grupy czytelników, obejmującej badaczy i wykładowców, specjalistów w obszarach lotnictwa, nawigacji oraz logistyki i transportu, ale przede wszystkim dla studentów nowej specjalizacji Logistyka w awiacji, otwartej w National Aviation University w Kijowie oraz w Międzynarodowej Wyższej Szkole Logistyki i Transportu we Wrocławiu.

Podręcznik omawia kwestię konstrukcji statków powietrznych, w tym działanie wyposażenia pokładowego, niezwykle istotne dla właściwego funkcjonowania całego systemu transportowego. Szczegółowo przedstawia także główne aspekty

struktury systemu żeglugi powietrznej, takie jak nowoczesne rozwiązania komunikacyjne i urządzenia dozorowania, prezentując je w kontekście wsparcia działań logistycznych. Książka ułatwia zrozumienie wymagań najważniejszych służb żeglugi powietrznej, których celem jest zapewnienie pełnego bezpieczeństwa operacji w łańcuchach logistycznych.

W istocie materiał zawarty w niniejszym podręczniku może stanowić podstawę dalszych studiów w dziedzinie lotnictwa, w ramach specjalności logistyka w awiacji. Można w nim znaleźć nawiązania do takich przedmiotów, jak zarządzanie i infrastruktura portów lotniczych i lotnisk, zarządzanie transportem lotniczym pasażerów i ładunków, systemy bezpieczeństwa w lotnictwie, zarządzanie globalnym ruchem lotniczym i technologii satelitarne czy bezzałogowe systemy powietrzne (UAS). Zapoznanie się z prezentowanym materiałem pozwoli czytelnikom usystematyzować i poszerzyć wiedzę w zakresie technik i technologii wykorzystywanych w lotnictwie, co będzie miało ogromne znaczenie w ich przyszłych działaniach w roli specjalistów w zakresie logistyki lotniczej [94, 20].

MODUŁ 1

# BUDOWA STATKÓW POWIETRZNYCH



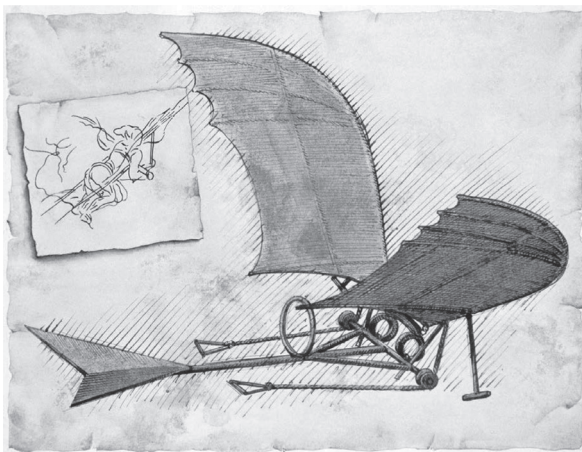


## Rozdział 1

# WCZESNA HISTORIA AERONAUTYKI

Podpisanie Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym (zwanej również konwencją chicagowską) w 1944 r. i powołanie Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO) w 1947 r. rozpoczęło erę nowoczesnego lotnictwa cywilnego [19]. Zanim jednak zajmiemy się zagadnieniami nowoczesnej aeronautyki, proponujemy najpierw otworzyć karty historii. Od tysiącleci, pomimo wielu ofiar i niepowodzeń, ludzie niestrudzenie próbowali wznieść się w powietrze, aż w końcu udało im się osiągnąć ten cel. Pierwszy rozdział poświęcamy śmiałkom i pionierom, którzy swoimi wynalazkami i próbami położyli podwaliny współczesnego bezpiecznego i efektywnie funkcjonującego lotnictwa cywilnego.

### 1.1. HISTORIA AERONAUTYKI – DO 1700 R.



Ilustracja 1. Około 1490 r. Leonardo da Vinci stworzył projekt maszyny latającej

Źródło: <https://www.britannica.com/technology/history-of-flight>

**Przed naszą erą**

- 3500 p.n.e. – król Etana, sumeryjski władca, przedstawiony jest na monecie w chwili lotu na orle.
- 2500 p.n.e. – Auca, jeden z założycieli państwa Inków, opisywany jest jako „skrzydlaty, ten, który potrafi latać”.
- 1000 p.n.e. – Chińczycy wynajdują latawce mogące unieść człowieka, które były wykorzystywane w armii.

**1000**

- 1010 – Oliver z Malmesbury, mnich z zakonu benedyktynów, jest pierwszym człowiekiem, który unosi się w powietrze na skrzydłach. Skacze z wieży opactwa Malmesbury i przelatuje 125 m, po czym spada na ziemię i łamie obie nogi.

**1100**

- 1162 – mieszkaniec Konstantynopola buduje skrzydła podobne do żagla z plisowanego materiału. Skacze z miejskiej wieży i ginie na miejscu.

**1300**

- Lata 1300 – Marco Polo widzi w Chinach latawce unoszące ludzi.

**1400**

- 1488 – 1514 – we Włoszech Leonardo da Vinci tworzy pierwsze projekty maszyn latających, wzorowane na skrzydłach ptaków [80].

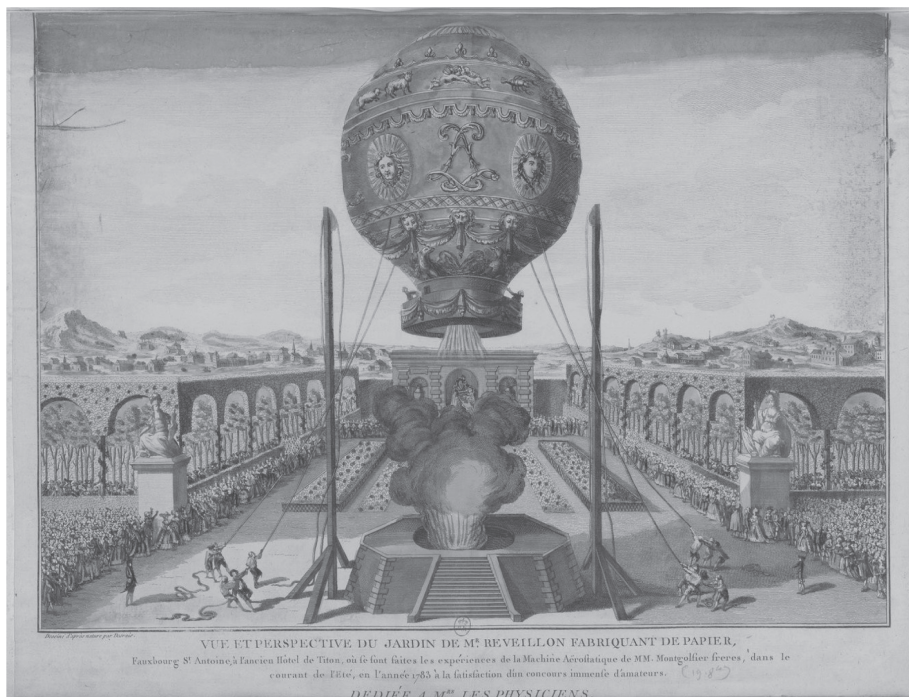
**1500**

- 1536 – Francuz Denis Bolor próbuje lotów na skrzydłach poruszanych przez mechanizm sprężynowy. Kiedy jedna ze sprężyn łamie się, Bolor spada i ginie na miejscu.

**1600**

- Lata 1600 – Hezârfen Çelebi wyskakuje z wieży Galata w Stambule i po przelecaniu pewnej odległości ląduje bezpiecznie na rynku w Scutari.
- Lata 1600 – w XVII w. brytyjskie Royal Society wydaje dla swoich członków dokumenty na temat aeronautyki. Po lekturze i dyskusji na ich temat członkowie Towarzystwa zachęceni są do zgłaszania swoich tekstów. Wśród autorów najciekawszych dokumentów znaleźli się Robert Hooke i sir Christopher Wren.
- 1678 – francuski kowal o nazwisku Besnier próbuje przelotu na skrzydłach zbudowanych na wzór płetwowych stóp kaczki. Szczęśliwie udaje mu się przeżyć tę próbę [46].

## 1.2. HISTORIA AERONAUTYKI – XVIII W.



Ilustracja 2. Balon braci Montgolfier

Źródło: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/Montgolfiere\\_1783.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/Montgolfiere_1783.jpg)

**1709**

- 1709 – ojciec Bartolomeu de Gusmão demonstruje królowi Janowi V model balonu na ogrzane powietrze.

**1783**

- 4 czerwca 1783 – balon braci Montgolfier – pierwszy bezzałogowy balon w historii unosi się w powietrze. Balon unoszony jest przez powietrze ogrzane nad stosem płonącej wilgotnej wełny i starych butów.
- 19 września 1783 – bracia Montgolfier przeprowadzają drugą udaną próbę lotu swojego balonu na ogrzane powietrze, przed królem Ludwikiem XVI. Tym razem balon ma załogę, złożoną z koguta, kaczki i owcy.
- 21 listopada 1783 – Joseph i Jacques Montgolfier budują balon na ogrzane powietrze, który unosi się na wysokość 84 stóp (25 m). Po raz pierwszy na pokładzie znajdują się ludzie – Jean-François Pilâtre de Rozier oraz François Laurent. Balon utrzymuje się w powietrzu przez prawie 4 min [31].

- 1 grudnia 1783 – Jacques Alexandre César Charles dokonuje pierwszego samodzielnego lotu swoim balonem na ogrzane powietrze. Pokonuje odległość 36 km, lecąc na wysokości 3500 m.

#### 1784

- 19 stycznia 1784 – Joseph Montgolfier po raz pierwszy leci swoim wynalazkiem, przewożąc na pokładzie 6 pasażerów [31].

#### 1785

- 7 stycznia 1785 – pierwszy w historii przelot nad Kanałem La Manche. Przelot odbywa się balonem wypełnionym wodorem i trwa 2,5 godz.

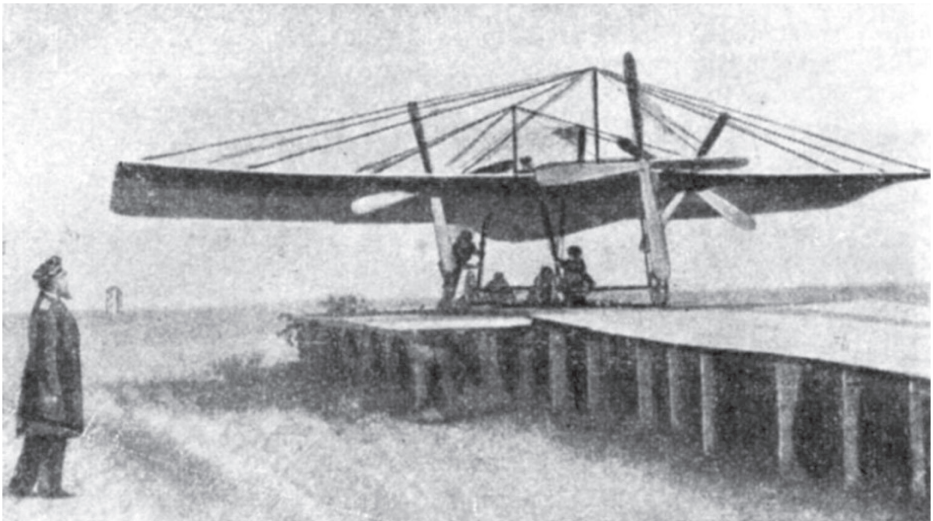
#### 1797

- 22 października 1797 – André-Jacques Garnerin, jako pierwszy człowiek w historii, wykonuje skok ze spadochronem z balonu znajdującego się na wysokości ok. 2000 stóp (600 m).

#### 1799

- 1799 – sir George Cayley jako pierwszy opracowuje projekt stałopłata – statku powietrznego o nieruchomych skrzydłach nośnych [46].

### 1.3. HISTORIA AERONAUTYKI – XIX W.



Ilustracja 3. Samolot Możajskiego

Źródło: <https://rg.ru/2016/07/11/rodina-mogayskij.html>

**1804**

- 1804 – sir George Cayley buduje pierwszy latający model szybowca.

**1809**

- 1809 – Marie Madeleine Sophie Blanchard, żona balonia rza Jean-Pierre'a Blancharda, ginie, kiedy wypełniony wodorem balon, w którym się znajduje, zapala się podczas pokazu fajerwerków. Jest pierwszą kobietą, która traci życie podczas lotu.

**1840**

- 23 marca 1840 – powstaje pierwsze zdjęcie księżycyca.

**1845**

- 2 kwietnia 1845 – powstaje pierwsze zdjęcie słońca.

**1850**

- 17 lipca 1850 – powstaje pierwsze zdjęcie gwiazdy (Vega).

**1852**

- 24 września 1852 – przelot pierwszego statku powietrznego napędzanego silnikiem parowym, pilotowanego przez Henriego Giffarda.
- Cayley dokonuje pierwszego przelotu swoim szybowcem.

**1868**

- 1868 – Matthew Boulton uzyskuje brytyjski patent na lotkę, wykorzystywaną jako powierzchnia kontrolna.

**1882**

- Jesień – Albert F. Zahm buduje szybowiec w Notre Dame University, w amerykańskim stanie Indiana, i startuje go przy pomocy tyrolki.

**1884**

- Horatio Phillips z Anglii eksperymentuje z różnymi profilami lotniczymi w tunelu aerodynamicznym i odkrywa tajemnicę lotu wznoszącego.
- John J. Montgomery buduje szybowiec, wlatuje nim ze zbocza wzgórza i ląduje bezpiecznie.

**1889**

- Grudzień 1889 – publikacja książki Lilienthala, zatytułowanej *Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst (Lot ptaka jako podstawa sztuki latania)*, w której znalazły się pomiary siły nośnej oraz oporu skrzydeł, wykorzystywane w projektowaniu profili lotniczych do dnia dzisiejszego [71].

**1890**

- 9 października 1890 – Clément Ader swoim napędzanym parą jednopłatem o nazwie Eole, ze skrzydłami w kształcie skrzydeł nietoperza, pokonuje odległość 50 m (160 stóp) w okolicy Paryża. Silnik parowy nie nadaje się jednak do wykonywania stabilnych kontrolowanych lotów, do tego potrzebny jest silnik spalinowy.

**1891**

- Lato – Otto Lilienthal pokonuje w powietrzu odległość 25 m, startując z platformy umieszczonej na wysokości 10 m. Loty Lilienthala uważa się za pierwsze bezpieczne, powtarzalne i udokumentowane przypadki szybowania człowieka w pojeździe cięższym od powietrza [71].

**1892**

- Grudzień 1892 – bracia Wright otwierają pierwszy sklep z rowerami.

**1893–1894**

- Otto Lilienthal rozpoczyna pierwszą seryjną produkcję „aparatów szybowcowych” (Normalsegelapparat). Dzięki udoskonaleniom wprowadzonym w swojej konstrukcji udaje mu się pokonać odległość 250 m i pokazać światu, że latanie to przyjemna i bezpieczna rozrywka.

**1894**

- Samolot Możajskiego to eksperymentalna rosyjska konstrukcja, zaprojektowana i zbudowana przez oficera marynarki wojennej, Aleksandra Możajskiego. Według doniesień, w 1884 r. ten napędzany dwoma silnikami parowymi jednopłat wystartował z pochylni i wykonał lot na odległość 20-30 m w pobliżu miejscowości Krasnoye Selo w Rosji [40].
- Kwiecień 1894 – publikacja książki Chanute’a, zatytułowanej *Progress in Flying Machines*.

**1895**

- Sierpień 1895 – pierwszy raport Percy’ego Pilchera na temat jego własnej konstrukcji latającej, nazwanej Bat (Nietoperz) pojawia się w czasopiśmie „*American Railroad and Engineering Journal*”.

**1894–1896**

- Publikacja *Aeronautical Annuals* Jamesa Meansa.

**1896**

- 6 maja 1896 – Samuel P. Langley, sekretarz Smithsonian Institution, przeprowadza udaną próbę przelotu pierwszego, stosunkowo dużego, modelu

samolotu napędzanego silnikiem parowym. Model pokonuje odległość trzech czwartych mili, lecąc nad rzeką Potomac w Waszyngtonie.

- 22 czerwca – 4 lipca 1896 – Octave Chanute i jego zespół, złożony z Williama Avery’ego, Augustusa Herringa oraz Williama Paula Butusova, zakładają obóz wśród wydm nad jeziorem Michigan, gdzie eksperymentują z maszynami latającymi: udoskonalonym szybowcem Lilienthala i wieloskrzydłową maszyną o nazwie Katydid (Pasikonik).
- 8 sierpnia 1896 – Otto Lilienthal ginie, kiedy podmuch wiatru powoduje, że traci kontrolę nad swoim szybowcem.
- 20 sierpnia – 26 września 1896 – Octave Chanute i jego zespół, złożony z Williama Avery’ego, Augustusa Herringa oraz Williama Butusova, wracają do obozu nad jeziorem Michigan, z naprawioną maszyną Katydid, trójpłatem, który został przerobiony na dwupłat, oraz maszyną Butusova, o nazwie Albatross.

### 1898

- 2 października 1898 – Percy Pilcher ginie, rozbijając swojego Hawka.
- 10 i 22 października 1898 – Augustus Herring rzekomo przeprowadza kilka prób lotów szybowcem konstrukcji Chanute’a, napędzanym silnikiem na sprężone powietrze, startując z St. Joseph w stanie Michigan.

### 1899

- 30 maja 1899 – Wilbur Wright pisze do Smithsonian Institute, wyrażając przekonanie, że lot człowieka jest możliwy [46, 75].

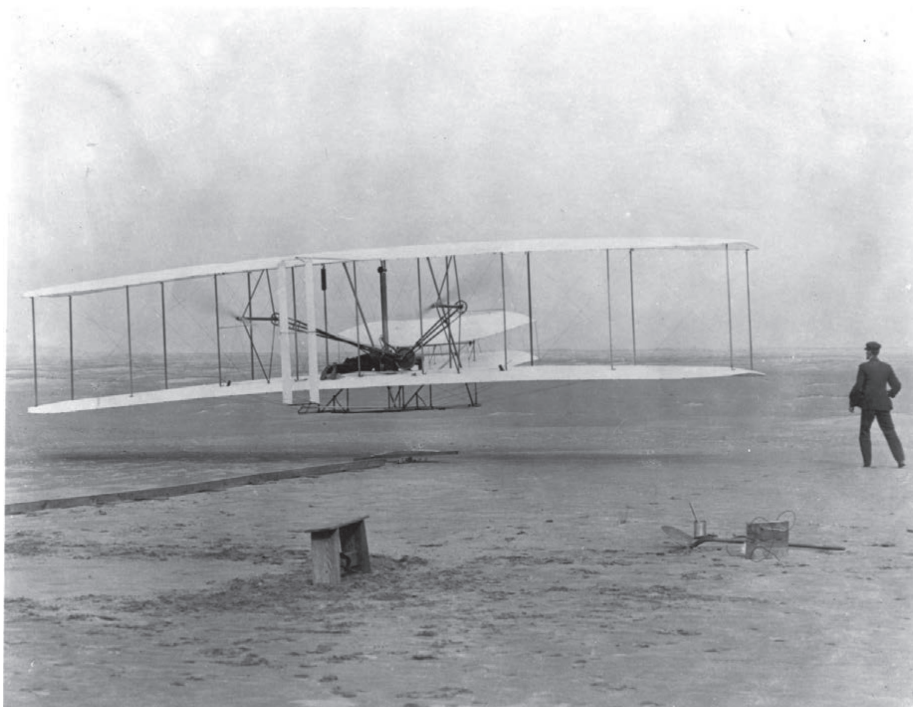




## Rozdział 2

# HISTORIA AERONAUTYKI W XX W – 1900–1945

## 2.1. HISTORIA AERONAUTYKI – 1900–1909



Ilustracja 4. 17 grudnia 1903 r. – Wright Flyer unosi się z ziemi o godz. 10.35

Źródło: <https://frs.noosphere.ru/xmlui/bitstream/handle/20.500.11925/2674521/GPN-2002-000128.jpg?sequence=1>

**1900**

- 13 maja 1900 – Wilbur Wright pisze do Octave’a Chanute’a, zgadzając się z nim, że lot człowieka jest możliwy, i prosząc o dodatkowe informacje [75].
- 2 lipca 1900 – pierwszy lot Zeppelina, „sztywnego” statku powietrznego, opartego na metalowej konstrukcji.
- 22 października 1900 – bracia Wright wykonują swój pierwszy lot szybowcem [75].

**1902**

- 4 października 1902 – bracia Wright modyfikują swój szybowiec, zastępując stały podwójny ogon ruchomym tylnym sterem, połączonym z linkami kontrolującymi zwichrzenie skrzydeł, zmniejszające opór i zwiększające sterowność [75].

**1903**

- 23 marca 1903 – bracia Wright występują z wnioskiem o opatentowanie udoskonalonego szybowca i maszyny latającej [75].
- 25 września 1903 – bracia Wright przybywają do Kitty Hawk w Karolinie Północnej, by przygotować się do historycznego lotu [75].
- 17 grudnia 1903 – Wright Flyer, pilotowany przez Orville’a Wrighta, wzbija się w powietrze o godzinie 10.35. Lot trwa zaledwie 12 s i ma długość tylko 121 stóp (37 m). Jest to pierwszy w historii przelot cięższego od powietrza, napędzanego silnikiem samolotu [75].

**1904**

- 3 sierpnia 1904 – kapitan Thomas S. Baldwin dokonuje pierwszego okrężnego lotu sterowcem wokół Oakland, w stanie Kalifornia.
- 1904 – bracia Wright budują drugą maszynę, ale łączny czas ich wszystkich lotów w 1904 r. to zaledwie 45 min [75].

**1905**

- 18 marca 1905 – prof. J.J.Montgomery zlatuje szybowcem z balonu umieszczonego na wysokości 2500 stóp w Leonards, w Kalifornii.
- 4 października 1905 – Flyer III, samolot braci Wright, pokonuje odległość 24,2 mili w czasie 38 min i 3 s [75].

**1906**

- 12 września 1906 – Duńczyk J.C.H.Ellehammer wykonuje okrężny lot na uwięzi, pokonując ok. 140 stóp (42 m) na wyspie Lindholm w Danii.

**1907**

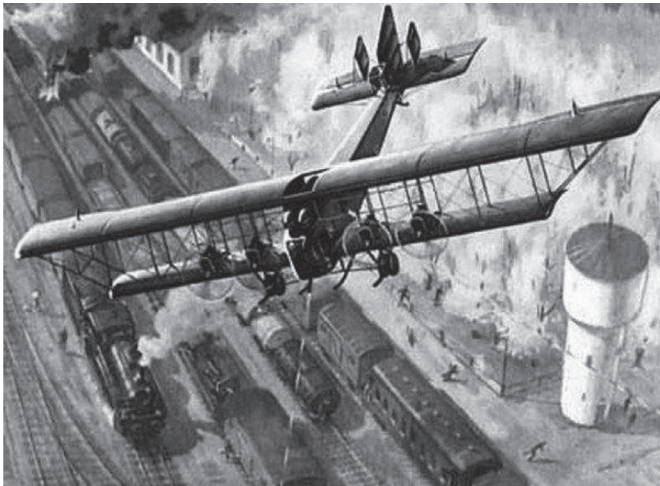
- 13 listopada 1907 – pierwszy lot śmigłowcem, pilotowanym przez francuskiego wynalazcę, Paula Cornu. Lot trwa zaledwie 20 s, a maszyna unosi się jedynie stopę (30 cm) nad ziemią.

**1908**

- 12 marca 1908 – Kanadyjczyk Casey Baldwin wykonuje pierwszy publiczny lot w Stanach Zjednoczonych, w Hammondsport, w stanie Nowy Jork. Samolot Baldwina, Red Wing, startuje z jeziora, przelatuje 318 stóp i ulega lekkiemu uszkodzeniu podczas lądowania.
- lipca 1908 – Glenn Curtiss trafia na czołówki gazet, jako pilot w pierwszym oficjalnym locie na odległość przekraczającą 1 milę. Curtiss leciał samolotem June Bug, a jego lot odbył się na torze wyścigowym w Stony Brook Farm.
- 17 września 1908 – Wright Flyer rozbija się podczas swojego ostatniego lotu w Fort Myer. W katastrofie ginie por. Thomas Selfridge, a Orville Wright zostaje ranny.

**1909**

- 25 lipca 1909 – Blériot XI – Louis Blériot jako pierwszy przelatuje samolotem nad Kanałem La Manche [46].
- 7 września 1909 – powstaje pierwsze amerykańskie lotnisko wojskowe w College Park, w stanie Maryland.

**2.2. HISTORIA AERONAUTYKI – 1910–1919**

Ilustracja 5. Bombowiec Igora Sikorskiego o nazwie Ilja Muromiec

Źródło: <https://en.topwar.ru/79537-ego-prizvaniem-bylo-byt-pervym.html>

**1910**

- Czerwiec 1910 – pierwszy nocny lot w Stanach Zjednoczonych, wykonany przez Charlesa W. Hamiltona w Camp Dickinson, Knoxville, w stanie Tennessee.
- Sierpień 1910 – McCurdy wysyła i odbiera bezprzewodowo pierwsze wiadomości z pokładu samolotu w locie nad Sheepshead Bay, w stanie Nowy Jork.

**1911**

- 18 stycznia 1911 – Eugene Ely wykonuje pierwsze udane lądowanie na pokładzie lotniskowca – USS Pennsylvania – w Zatoce San Francisco.
- Maj 1911 – Francuz Jules Védrines jest jedynym uczestnikiem, który kończy zawody lotnicze na trasie Paryż–Madryt.

**1912**

- Luty 1912 – bracia Wright produkują nowy model samolotu, wyposażony w opatentowany stabilizator, który automatycznie ustawia samolot pod odpowiednim kątem podczas skrzętu [75].
- 1 marca 1912 – kpt. Albert Berry wykonuje pierwszy skok ze spadochronem z samolotu.
- 26 lipca 1912 – US Navy rozpoczyna eksperymenty w zakresie komunikacji radiowej ziemia–powietrze.
- Październik 1912 – A. Leo Stevens projektuje spadochron pakowany w pokrowcu.

**1913**

- 5 lutego 1913 – por. J.H. Towers z US Navy przeprowadza pierwszą próbę bombardowania nieruchomego celu z samolotu.
- 30 sierpnia 1913 – Elmer A. Sperry produkuje kompas i stabilizator żyroskopowy. Pierwszy lot z użyciem tych instrumentów odbywa się wodnosamolotem Curtiss C-2.
- Listopad 1913 – K.M. Turner opracowuje „aviaphone” (interkom) umożliwiającą komunikację między pilotem i pasażerami podczas lotu.

**1914**

- 1914 – pierwsza próba dwukierunkowej komunikacji radiowej między pilotem i kontrolą naziemną.
- 1914 – Elmer A. Sperry projektuje pierwsze żyroskopowe przyrządy kontrolne.
- 1914 – Robert Goddard uzyskuje amerykańskie patenty na rakiety napędzane paliwem stałym i ciekłym, pociski raketowe i wielostopniowe rakiety nośne.
- 24 czerwca 1914 – Igor Sikorski ustanawia oficjalny rekord odległości lotu, pokonując 1590-milową trasę z Sankt Petersburga do Kijowa i z powrotem samolotem Ilja Muromiec [29].
- Sierpień 1914 – w Europie wybucha I wojna światowa.

- 26 sierpnia 1914 – Igor Sikorski prezentuje Grand, pierwszy na świecie samolot czterosiłnikowy [29].
- Grudzień 1914 – pierwsza udana próba komunikacji radiowej ziemia–powietrze, przeprowadzona w Manili przez pilota samolotu, H.A.Dargue’a i por. J.O.Mauborgne’a, projektanta urzędnika.

### 1915

- 3 marca 1915 – powstaje *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA) – pierwsza rządowa organizacja wspierająca badania i rozwój branży lotniczej.
- 6 listopada 1915 – kmdr por. H.C.Mustin jako pierwszy katapultuje się z poruszającej się jednostki – z USS North Carolina w Zatoce Pensacola.

### 1916

- 20 czerwca 1916 – William E.Boeing buduje i testuje swój pierwszy samolot – szkolno-treningowy B&W.
- 2 września 1916 – pierwsza udana próba bezpośredniej łączności radiowej pomiędzy dwoma samolotami w locie.

### 1917

- 30 kwietnia 1917 – Pacific Aero Products Company zmienia nazwę na Boeing Airplane Company, jej prezesem zostaje William E. Boeing.

### 1918

- Listopad 1918 – kiedy I wojna światowa zbliża się do końca, Orville Wright pisze do przyjaciela, że „Samoloty uczyniły wojnę tak okrutną, że nie wierzę, że jakkolwiek kraj będzie chciał jeszcze jakąś wywołać”.

### 1919

- 1919 – powstaje pierwsze stałe komercyjne połączenie lotnicze między Paryżem i Brukselą.
- 16–27 maja 1919 – NC-4 (latająca łódź Navy Curtiss), pierwszy samolot, który przelatuje przez Atlantyk, pilotowany przez amerykańskiego pilota, kmdr por. A.C.Reada.
- 10 grudnia 1919 – Vickers Vimy G-EAOU ląduje w Darwin, na australijskim Terytorium Północnym, kończąc 135-godzinny lot z Wielkiej Brytanii do Australii [46].

### 2.3. HISTORIA AERONAUTYKI – OKRES MIĘDZYWOJENNY, 1920–1939



Ilustracja 6. Najpopularniejszy samolot lat 30. – DC-3

Źródło: <https://www.britannica.com/technology/DC-3>

#### 1920

- 22 lutego 1920 – pierwszy transkontynentalny samolot pocztowy z San Francisco ląduje w Nowym Jorku. Transport trwa 33 godz. i 20 min – niemal trzy dni krócej niż połączenie kolejowe.

#### 1921

- 21 listopada 1921 – Wesley May przechodzi ze skrzydła swojego dwupłata Lincoln Standard na skrzydło samolotu Curtiss JN-4 z 5-galonowym kanistrem paliwa przymocowanym do pleców i w ten sposób przeprowadza pierwsze w historii techniczne „tankowanie w powietrzu”, podczas przelotu nad Long Beach, w Kalifornii.

#### 1922

- 12 czerwca 1922 – kpt. A.W. Stevens z US Air Service wykonuje rekordowy skok ze spadochronem z wysokości 24 206 stóp, wyskakując z bombowca Martin nad McCook Field w USA.

**1923**

- 1923 – sterowany radiowo samolot bez pilota przelatuje nad Etampes Aerodrome we Francji.
- 2–3 maja 1923 – porucznicy Oakley Kelly i John Macready wykonują pierwszy lot non stop przez kontynent amerykański, z Nowego Jorku do San Diego, w 26 godz. i 50 min.
- 27 czerwca 1923 – porucznicy Lowell Smith i John Richter przeprowadzają pierwsze pełne tankowanie w powietrzu, podczas lotu nad Rockwell Field w USA.

**1924**

- 28 września 1924 – uczestnicy pierwszego lotu dookoła świata lądują w Seattle, w stanie Waszyngton. W locie wzięły udział trzy dwuosobowe samoloty Douglas World Cruisers, należące do US Army Air Service.

**1925**

- 12 czerwca 1925 – Daniel Guggenheim przeznaczą 500 000 USD na założenie School of Aeronautics na New York University.
- 22 sierpnia 1925 – US Army Air Service ogłasza wprowadzenie „kompasów rejestrujących”, które umożliwiają zapis wszystkich kierunków lotu samolotu.

**1926**

- 9 maja 1926 – kmdr Richard E. Byrd i pilot Floyd Bennett wykonują pierwszy przelot nad biegunem północnym.

**1927**

- 1927 – silniki chłodzone powietrzem zastępują silniki chłodzone wodą, co pozwala zmniejszyć wagę i umożliwia konstruowanie większych i szybszych samolotów.
- 1927 – National Advisory Committee for Aeronautics buduje w swoich laboratoriach w Langley pierwszy tunel aerodynamiczny o rozmiarach wystarczających do testowania pełnowymiarowych samolotów.
- 20–21 maja 1927 – Spirit of St. Louis – Charles A. Lindbergh wykonuje pierwszy samotny lot przez Atlantyk bez międzylądowań.

**1928**

- Luty 1928 – Avro Avian – Bert Hinkler jako pierwszy przelatuje samotnie z Anglii do Australii.
- Kwiecień 1928 – Hubert Wilkins i jego pilot, Carl Ben Eielson, w samolocie Lockheed Vega wykonują pierwszy lot przez Arktykę, z Point Barrow na Alasce na Spitsbergen.



- 31 maja–9 czerwca 1928 – Southern Cross – Charles Kingsford Smith i Charles Ulm First są pierwszymi, którzy pokonują Ocean Spokojny, lecąc z Oakland w Kalifornii do Brisbane w Australii. W ich załodze są również James Warner (radiooperator) i Harry Lyons (nawigator).
- Czerwiec 1928 – Friedrich Stamer pilotuje pierwszy szybowiec z napędem raketowym. Start szybowca odbywa się przy pomocy liny startującej i 44-funtowej rakiety wypychającej, a kolejna rakietka napędzająca wystrzeliwana jest po starcie.

### 1929

- 1929 – wynaleziony zostaje pierwszy elektromechaniczny symulator lotu, o nazwie Link Trainer.
- 1929 – ankieta przeprowadzona przez magazyn lotniczy pokazuje, że w Stanach Zjednoczonych działa 12 szkół lotniczych, do których w tym roku przyjęto 1400 nowych studentów.
- 1929 – Niemiec Fritz Opel jako pierwszy pilotuje samolot z napędem raketowym. Lot trwa 1 min i 15 s.
- 1929 – William Green opracowuje model pierwszego pilota automatycznego, wykorzystywanego w samolocie pasażerskim.
- 8–29 sierpnia 1929 – Graf Zeppelin, z załogą pod dowództwem kpt. Hugo Eckenera, jest pierwszym sterowcem, który wykonuje przelot dookoła świata.

### 1930

- 20 kwietnia 1930 – Charles Lindbergh i Anne Morrow ustanawiają transkontynentalny rekord prędkości, pokonując trasę z Los Angeles do Nowego Jorku w 14 godz. i 45 min [76].
- Wrzesień 1930 – Francuzi Costes i Bellonte jako pierwsi pokonują trasę z Paryża do Nowego Jorku, lecąc ze wschodu na zachód.
- 1930 – powstaje echolokacyjny system do wykrywania samolotów w locie.

### 1931

- 31 maja 1931 – pierwsza udana próba zdalnego sterowania samolotem z pokładu innego samolotu zostaje przeprowadzona w Houston, w Teksasie.
- 4–5 października 1931 – pierwszy przelot nad Pacyfikiem bez międzylądowań: Clyde Pangborn i Hugh Herndon w samolocie Bellanca CH-400, trasa z Japonii do Wenatchee, w stanie Waszyngton.
- 1931 – Brytyjczyk Frank Whittle projektuje i opatentowuje silnik odrzutowy.

### 1932

- 19 kwietnia 1932 – wystrzelona zostaje pierwsza rakietka Goddarda, wyposażona w kontrolowane żyroskopowo łopatki zapewniające stabilizację lotu.

- 9 maja 1932 – kpt. Albert F. Hegenberger z US Army Air Corps wykonuje pierwszy samotny „ślepy lot”, kierując się od startu do lądowania tylko wskazaniami przyrządów.

### 1933

- Styczeń 1933 – Orville Wright zostaje pierwszym członkiem honorowym Institute of the Aeronautical Sciences.
- 15–22 lipca 1933 – Wiley Post wykonuje pierwszy samotny lot dookoła świata swoim samolotem Lockheed Vega „Winnie Mae”.
- Utworzony zostaje Kijowski Instytut Lotnictwa (obecnie National Aviation University).

### 1934

- 1934 – American Airlines produkują i testują pierwszy radionamiernik do wykorzystania w samolotach.

### 1935

- 28 lipca 1935 – na rynku pojawia się „Latająca Forteca” B-17, pierwszy udany amerykański bombowiec czterosilnikowy.
- 29 listopada 1935 – amerykańskie US Bureau of Air Commerce, wspólnie z firmami z branży lotniczej, wprowadza na rynek urządzenie usuwające lód ze śmigieł.
- 1 grudnia 1935 – pierwsze centrum kontroli lotniczej zostaje uruchomione na lotnisku Newark w stanie New Jersey.
- 17 grudnia 1935 – pierwszy popularny samolot pasażerski, DC-3, startuje do swojego pierwszego lotu z lotniska w Santa Monica w Kalifornii.

### 1936

- 12 maja 1936 – najdłuższy na świecie tunel aerodynamiczny do testowania wysokich prędkości zostaje otwarty w laboratoriach National Advisory Committee for Aeronautics w Langley.
- 1936 – Lockheed Aircraft Corporation buduje pierwszy samolot z hermetyczną kabiną.

### 1937

- 6 maja 1937 – słynny niemiecki sterowiec Hindenburg z nieznanых przyczyn staje w płomieniach i wybucha podczas lądowania na lotnisku w Lakehurst w New Jersey. W katastrofie ginie 36 osób.
- 1937 – Lores Bonney jako pierwsza na świecie samotnie pokonuje liczącą 18 200 mil lądowych trasę z Australii do Afryki Południowej.

**1938**

- 8 lutego 1938 – American Zeppelin Transport, Inc., działająca jako agent German Zeppelin Co., otrzymuje pierwszą licencję na eksport helu do wykorzystania w zagranicznych sterowcach.

**1939**

- 28 czerwca 1939 – Pan American Airways uruchamiają pierwsze połączenie pasażerskie przez Atlantyk [46].
- 24 sierpnia 1939 – pierwszy lot Heinkla He-178, pierwszego samolotu z napędem odrzutowym.
- 14 września 1939 – pierwsze próby VS-300 – pierwszego udanego śmigłowca skonstruowanego w układzie klasycznym. Pilotujący maszynę Sikorski unosi ją na wysokość 3 stóp i utrzymuje na niej przez ok. 10 s.

## 2.4. HISTORIA AERONAUTYKI – II WOJNA ŚWIATOWA, 1939–1945



Ilustracja 7. Bitwa o Wielką Brytanię

Źródło: <https://acesflyinghigh.wordpress.com/2014/07/13/the-battle-of-britain-1940-a-duel-of-eagles/>

**1939**

- 1–3 września 1939 – Niemcy najeżdżają Polskę, Wielka Brytania i Francja wypowiedziadają Niemcom wojnę.

**1940**

- 25 marca 1940 – amerykańska armia i marynarka wojenna zgadzają się, by zapewnić Wielkiej Brytanii i Francji pełny dostęp do najnowszych modeli

amerykańskich samolotów wojskowych, przekazując aliantom ponad 600 nowych maszyn.

- 3 lipca 1940 – Northrop wprowadza samolot N-1M Flying Wing, pierwsze latające skrzydło–samolot, w którym kabina pilota, silnik i kadłub zawarte są w pojedynczym profilu skrzydła.
- 8 lipca 1940 – pierwszy lot Boeinga Stratoliner, pierwszego samolotu pasażerskiego z hermetyczną kabiną, umożliwiającą loty na wysokości 20 000 stóp bez turbulencji.

### 1941

- 16 kwietnia 1941 – Igor Sikorski ustanawia na lotnisku Stratford w Connecticut krajowy rekord, utrzymując helikopter bez ruchu przez 1 godz. i 5 min.
- 15 maja 1941 – pierwszy aliancki samolot odrzutowy, Gloster-Whittle E28/39, odbywa swój pierwszy oficjalny lot.
- 5 września 1941 – dziewięć amerykańskich samolotów B-17 „Latająca Forteca” przelatuje z Hawajów na Filipiny, co jest pierwszym grupowym lotem ciężkich bombowców przez zachodni Pacyfik.
- 7 grudnia 1941 – japońskie lotnictwo dokonuje nalotu na amerykańską bazę w Pearl Harbor na Hawajach, powodując ciężkie straty floty i niszcząc większość samolotów stacjonujących na lotnisku Hickman Field.

### 1942

- 19 lipca 1942 – Messerschmitt 262, pierwszy na świecie w pełni funkcjonalny myśliwiec odrzutowy po raz pierwszy startuje do lotu, pilotowany przez Fritza Wendela.
- 3 października 1942 – pierwszy udany próbny lot rakiety V-2.
- 26 listopada 1942 – firma Pratt & Whitney Aircraft zaczyna instalować w silnikach lotniczych urządzenie do wtrocku wody, które powoduje gwałtowny wzrost ich mocy.
- 1942 – niemiecki Heinkel He-219 jest pierwszym samolotem, w którym serjnie montowane są fotele katapultowe.

### 1943

- Styczeń 1943 – Franklin D. Roosevelt wsiada w Miami na pokład łodzi latającej Boeing 314 i tym samym staje się pierwszym urzędującym przywódcą podróżującym samolotem w czasie wojny.

### 1944

- 7 stycznia 1944 – US Army Air Forces ogłaszają rozpoczęcie produkcji pierwszego amerykańskiego myśliwca odrzutowego – Bell P-59 „Airacomet”.

- 6 czerwca 1944 (D-Day) – gigantyczny podniebny pociąg o szerokości dziewięciu samolotów i długości 200 mil przewozi amerykańskich i brytyjskich żołnierzy przez Kanał La Manche. Rozpoczyna się inwazja aliantów w Europie.
- 8 września 1944 – V-2 staje się pierwszym bojowym pociskiem balistycznym wykorzystanym przez Niemcy przeciwko Wielkiej Brytanii.
- 14 września 1944 – Amerykanie, płk Floyd B. Wood, mjr Harry Wexler i por. Frank Record, w samolocie Douglas A-20 „Havoc”, jako pierwsi w historii wlatują w centrum huraganu, by zdobyć wartościowe dane naukowe.
- 7 grudnia 1944 – 52 kraje podpisują Konwencję o międzynarodowym lotnictwie cywilnym (zwaną również konwencją chicagowską). W oczekiwaniu na ratyfikację konwencji przez 26 krajów powołana zostaje Tymczasowa Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (PICAO). Działa ona od 6 czerwca 1945 do 4 kwietnia 1947 r. [19].

## 1945

- 20 stycznia 1945 – Robert T. Jones konstruuje skośne skrzydło, pozwalające pokonać efekt fali uderzeniowej [46].
- 29 marca 1945 – wystrzelenie ostatniej rakiety V-2.
- 8 maja 1945 – wojna w Europie kończy się klęską Niemiec.
- 6 sierpnia 1945 – amerykański bombowiec B-29, „Enola Gay”, pilotowany przez płk. Paula W. Tibbetsa, Jr., zrzuca pierwszą bombę atomową na miasto Hiroszima w Japonii.
- 14 sierpnia 1945 – kapitulacja Japonii kończy II wojnę światową.

# KLASYFIKACJA I NAJWAŻNIEJSZE PARAMETRY STATKÓW POWIETRZNYCH

*Samolot* to statek powietrzny (aerodyna) z napędem silnikowym utrzymujący się w powietrzu za pomocą nieruchomych skrzydeł nośnych (stałopłat), poruszający się do przodu dzięki sile ciągu wytwarzanej przez silnik śmigłowy, odrzutowy lub raketowy.

*Helikopter (śmigłowiec)* to statek powietrzny z napędem silnikowym, wyposażony w jedno lub więcej śmigieł lub wirników, które umożliwiają mu pionowy start i lądowanie, poruszanie się w dowolnym kierunku lub utrzymywanie się bez ruchu w powietrzu. Inne statki startu pionowego to wiatrakowce, konwertoplany oraz pojazdy krótkiego startu i lądowania w rozmaitych konfiguracjach [50].

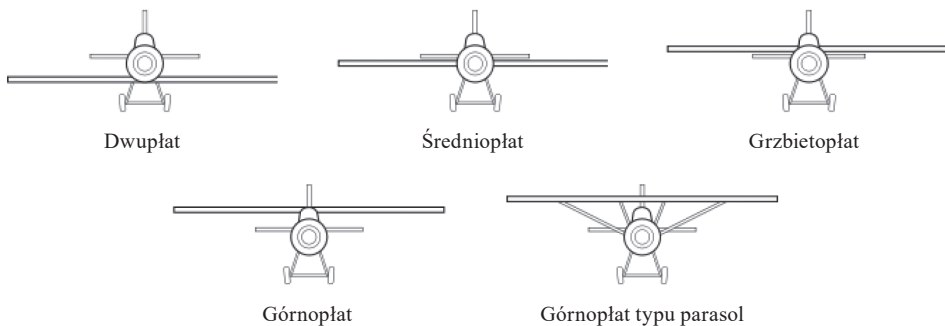
## 3.1. KLASYFIKACJA SAMOLOTÓW NA PODSTAWIE KONFIGURACJI SKRZYDEŁ NOŚNYCH

Konstrukcje samolotów są często klasyfikowane na podstawie konfiguracji skrzydeł nośnych.

Stałopłaty mogą być wyposażone w *różną liczbę płatów (skrzydeł) nośnych*:

- *Jednopłaty*: pojedynczy płat nośny. Od lat 30. ub.w. większość konstruowanych samolotów to jednopłaty. Skrzydło nośne może być umocowane w różnych pozycjach na kadłubie:
  - *Dolnopłaty*: skrzydło zamocowane u dołu lub pod kadłubem.
  - *Średniopłaty*: skrzydło zamocowane mniej więcej w połowie kadłuba.

- Grzbietopłat: skrzydło zamocowane w górnej części („na grzbiecie”) kadłuba, ale niewystające poza jego obrys. Grzbietopłaty są czasami uznawane jeden z typów górnopłatów [1, 2].
- Górnopłat: skrzydło zamocowane w górnej części kadłuba. W odróżnieniu od grzbietopłatów w przypadku górnopłatów skrzydło zamocowane jest na elemencie wystającym ponad główną część kadłuba (np. na dachu kabiny).
- Górnopłat typu parasol: skrzydło umieszczone nad kadłubem i połączone z nim zazwyczaj zastrzałami, pylonami lub podstawkami [39].

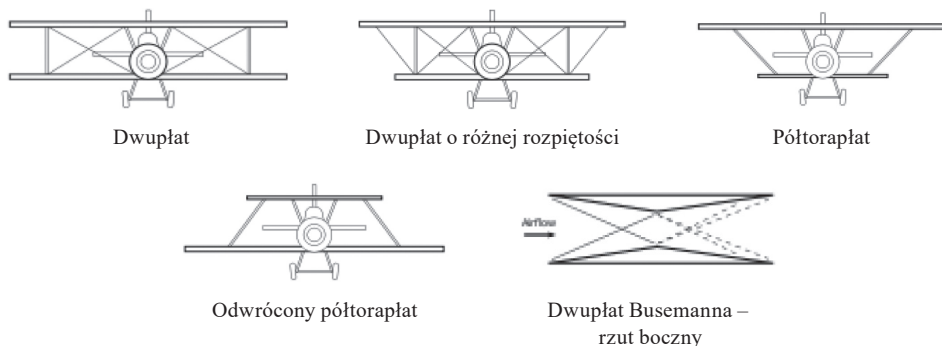


Ilustracja 8. Jednopłaty

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing\\_configuration](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration)

Stałopłaty mogą być wyposażone w więcej niż jeden płat nośny, ułożone pionowo: *Dwupłaty*: dwa płaty skrzydeł o podobnej wielkości, ułożone jeden nad drugim. Dwupłaty są z natury lżejsze i mocniejsze od jednopłatów i do lat 30. XX w. były najpopularniejszym typem samolotów. Pierwszy samolot braci Wright – Wright Flyer I – był dwupłatem.

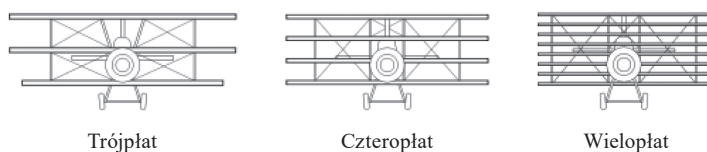
- Dwupłat o różnej rozpiętości skrzydeł: dwupłat, w którym jedno ze skrzydeł (zazwyczaj dolne) jest krótsze, np. Curtiss JN-4 Jenny z czasów I wojny światowej.
- Półtorapłat: dwupłat, w którym dolne skrzydło (jego rozpiętość lub cięciwa) jest znacząco mniejsze od górnego. Znanym przykładem był Nieuport 17 z czasów I wojny światowej.
- Odwrócony półtorapłat: ma znacząco mniejsze górne skrzydło. Przykładem może być produkowany przez wiele lat Fiat CR.1.
- Dwupłat Busemanna: teoretyczna konfiguracja skrzydeł w samolocie nadźwiękowym, która pozwala zredukować siłę fali uderzeniowej pomiędzy płatami, a tym samym zmniejszyć opór podczas lotu [39].



Ilustracja 9. Dwupłaty

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing\\_configuration](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration)

- *Trójpłat*: trzy płaty nośne ułożone pionowo jeden nad drugim. Trójpłaty takie jak Fokker Dr.I cieszyły się krótką popularnością podczas I wojny światowej dzięki swojej zwrotności, ale szybko zostały wyparte przez udoskonalone dwupłaty.
- *Czteropłat*: cztery płaty nośne ułożone jeden nad drugim. Podczas I wojny światowej powstała krótka seria czteropłatów Armstrong Whitworth F.K.10, ale nigdy nie weszły one do użytku.
- *Wielopłat*: wiele płatów nośnych, nazwa może oznaczać więcej niż jeden lub więcej niż jakaś określona liczba płatów i może być używana zarówno w odniesieniu do kilku płatów ułożonych pionowo, jak i poziomo. Zbudowany w 1907 r. wielopłat Horatio Phillipsa wzbił się w powietrze unoszony na 200 płatach nośnych. Dalej patrz również: skrzydła tandemowe [39].



Ilustracja 10. Wielopłaty

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing\\_configuration](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration)

*Przesunięcie skrzydeł* (ang. stagger) oznacza konstrukcję, w której górne skrzydło przesunięte jest nieco do przodu względem dolnego. Długo uważano, że pozwala to zredukować zakłócenia wywołane przez mieszanie się powietrza o niskim ciśnieniu znajdującego się nad dolnym płatem z powietrzem o wysokim ciśnieniu znajdującym się pod górnym płatem, jednak wpływ takiej konstrukcji jest



minimalny, a jej główną zaletą jest lepszy dostęp do kadłuba. Przesunięcie pojawia się w wielu udanych dwupłatach i trójpłatach. Znamy również kilka przypadków wykorzystania tylnego przesunięcia, np. Beechcraft Staggerwing [39].



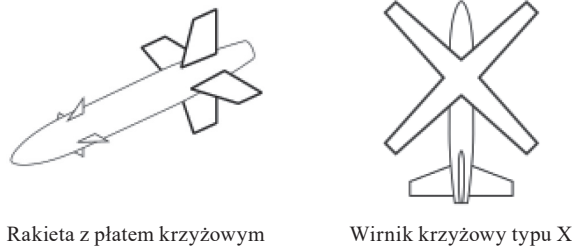
Ilustracja 11. Przesunięcie skrzydeł

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing\\_configuration](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration)

*Skrzydła tandemowe* to konstrukcja, w której samolot ma dwa główne płaty nośne, ułożone jeden za drugim. Niektóre wczesne maszyny miały kilka zestawów skrzydeł tandemowych, jak np. dziewięcioskrzydłowa łódź latająca Caproni Ca.60, która była potrójnym trójpłatowcem.

*Skrzydło X (krzyżowe)* to zestaw czterech pojedynczych płatów ułożonych w kształcie krzyża. Może on przyjmować jedną z dwóch form:

- Płaty rozłożone wokół kadłuba, w dwóch prostopadłych płaszczyznach, układ typowy dla pocisku.
- Płaty połączone w jednej płaszczyźnie, wokół pionowej osi, jak w przypadku wirników krzyżowych typu X [39].



Ilustracja 12. Skrzydło krzyżowe

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing\\_configuration](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration)

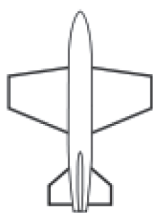
### Obrys skrzydła

Obrys skrzydła oznacza kształt płata nośnego widzianego z góry lub z dołu.

Wydłużenie płata obliczamy, dzieląc rozpiętość przez średnią długość cięciwy płata. Jest to miara smukłości skrzydła widzianego z góry lub z dołu.

- *Płat o małym wydłużeniu:* skrzydło krótkie i szerokie. Bardziej wydajne konstrukcyjnie, zwrotniejsze i pozwalające na szybszą zmianę prędkości. Wykorzystywane w samolotach myśliwskich, jak np. Lockheed F-104 Starfighter, oraz w superszybkich samolotach, np. North American X-15.
- *Płat o średnim wydłużeniu:* skrzydło ogólnego zastosowania, wykorzystywane powszechnie, np. w samolocie transportowym Douglas DC-3.
- *Płat o dużym wydłużeniu:* długie i smukłe skrzydło. Bardziej wydajne pod względem aerodynamiki, o mniejszym oporze indukowanym. Wykorzystywane w samolotach latających z prędkością poddźwiękową na dużych wysokościach, np. Bombardier Dash 8, lub w wysokowyczynowych szybowcach, np. Glaser-Dirks DG-500.

W większości konfiguracji ze zmienną geometrią skrzydeł również wydłużenie płata ulega zmianie – celowo lub jako efekt uboczny [39].



Płat o małym wydłużeniu



Płat o średnim wydłużeniu



Płat o dużym wydłużeniu

Ilustracja 13. Wydłużenie płata

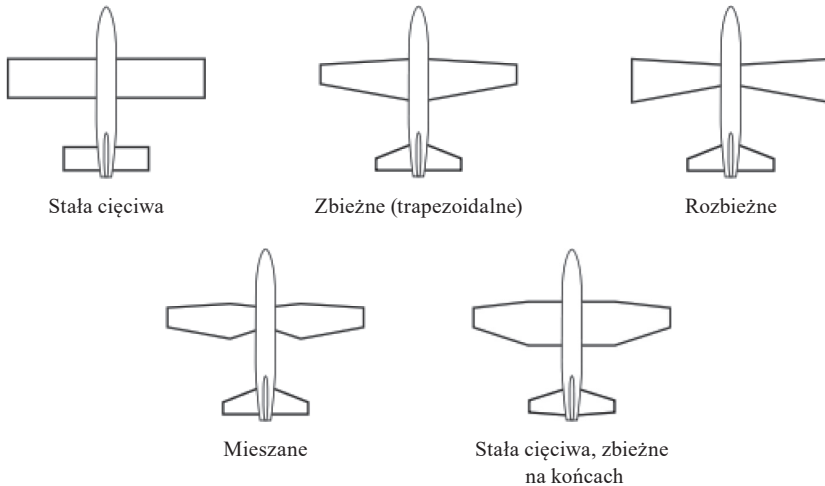
Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing\\_configuration](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration)

### Zmiana cięciwy na długości skrzydła

Cięciwa skrzydła może mieć różną długość w różnych miejscach skrzydła nośnego, zarówno z przyczyn konstrukcyjnych, jak i aerodynamicznych.

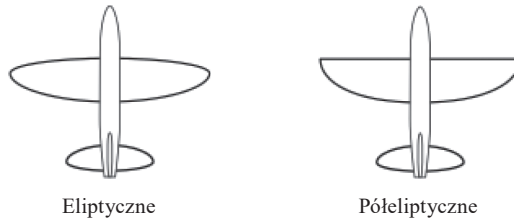
- Stała długość cięciwy: równoległe krawędzie natarcia i spływu. Najłatwiejsze w produkcji, stosowane w sytuacjach, kiedy najważniejsze są niskie koszty, np. w samolocie Piper J-3 Cub, jednak mało wydajne, ponieważ najbardziej zewnętrzna część skrzydła generuje małą siłę nośną, przy dużej wadze i oporze. W Ameryce Północnej ten typ skrzydła nazywany jest czasem *Hershey Bar*, ponieważ wyglądem przypomina popularny amerykański baton czekoladowy.
- Skrzydło zbieżne: skrzydło zwęża się od nasady w kierunku końcówki. Konstrukcyjnie i aerodynamicznie bardziej wydajne od skrzydła o stałej cięciwie i łatwiejsze w produkcji niż skrzydła eliptyczne.

- Trapezoidalne: skrzydło zbieżne o prostych krawędziach natarcia i spływu, może być skośne lub nie. Proste skrzydło zbieżne to jeden z najczęściej stosowanych obrysów skrzydła, np. w samolocie Messerschmitt Bf 109.
- Rozbieżne: skrzydło jest najszersze przy końcówce. Konstrukcyjnie mało wydajne, ponieważ zwiększa wagę. Wykorzystane eksperymentalnie w myśliwcu XF-91 Thunderceptor w ramach prób pokonania zjawiska przeciągnięcia w samolotach ze skośnymi skrzydłami.
- Mieszane: skrzydło rozszerza się od nasady, a następnie zwęża. Zazwyczaj łączone przy pomocy zastrzału, by poprawić sztywność. Wykorzystane w samolocie wojskowym Westland Lysander, by poprawić widoczność z kabiny pilota.
- Stała cięciwa, zbieżne na końcach: często stosowane rozwiązanie, np. w samolotach Cessna [39]



Ilustracja 14. Zmiana cięciwy na długości skrzydła  
 Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing\\_configuration](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration)

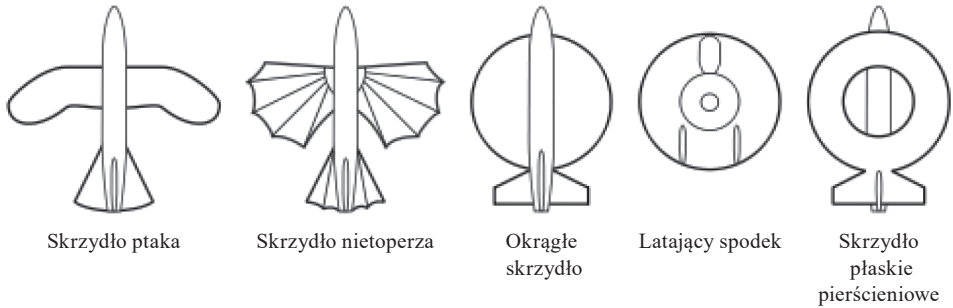
- Skrzydło eliptyczne: krawędzie natarcia i spływu są zakrzywione w taki sposób, że zmiana długości cięciwy tworzy eliptyczny obrys skrzydła. Teoretycznie najbardziej efektywny, ale najtrudniejszy w produkcji. Słynnym przykładem takiego typu skrzydeł był Supermarine Spitfire. (Warto zauważyć, że w teorii aerodynamiki terminem „eliptyczny” określa się optymalny rozkład siły nośnej na skrzydle, a nie jego kształt).
  - Półeliptyczne: tylko jedna z krawędzi jest częścią elipsy, druga krawędź jest prosta, jak w przypadku samolotu Seversky P-35 – krawędzie natarcia są proste, a krawędzie spływu eliptyczne [39].



Ilustracja 15. Skrzydło eliptyczne

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing\\_configuration](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration)

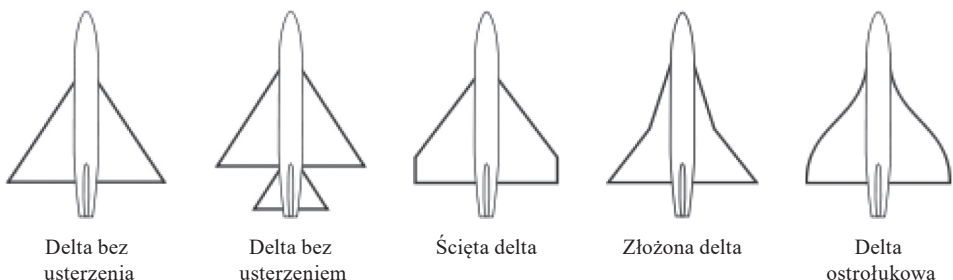
- Skrzydło ptaka: zakrzywiony kształt, podobny z wyglądu do rozwiniętego skrzydła ptaka. Typ popularny w pionierskim okresie, wykorzystany np. w samolotach Etrich Taube, w których obrys skrzydeł zainspirowany był wyglądem nasion ogórka jawańskiego (*Alsomitra macrocarpa*).
- Skrzydło nietoperza: forma z promieniście rozchodzącym się ozebrowaniem. W takie skrzydła wyposażony był Whitehead No. 21 z 1901 r., przez wielu uważany za pierwszy napędzany silnikiem samolot, jaki wzbił się w powietrze.
- Okrągłe: skrzydła o obrysie zbliżonym do koła. Samolot Vought XF5U wyposażony był w duże śmigła w pobliżu końcówek skrzydeł, co, zdaniem producenta, miało rozpraszać tworzące się tam zawirowania powietrza, oraz w zintegrowany tylny płat statecznika.
- Latający spodek: okrągłe latające skrzydło. Konstrukcja z natury niestabilna, co pokazał Avrocar.
- Dysk: wariant, w którym obraca się cały dysk [11]. Popularny w przypadku zabawek, np. frisbee.
- Płaskie skrzydło pierścieniowe: koło z otworem w środku, przypominające zamknięte skrzydło (patrz wyżej). Wyposażone w takie skrzydła jednopłaty Lee-Richards były wykorzystywane krótko przed I wojną światową [39].
- *Delta*: trójkątny obrys, o skośnej krawędzi natarcia i prostej krawędzi spływu. Zapewnia takie same korzyści jak skośne skrzydła, przy dobrej efektywności konstrukcyjnej i niewielkiej powierzchni czołowej. Wady tego rozwiązania to niskie obciążenie skrzydła i duża powierzchnia spływu potrzebne do uzyskania stabilności aerodynamicznej. Odmiany tego typu skrzydła to:
  - Delta bez usterzenia: klasyczna konstrukcja superszybkich samolotów, stosowana np. w serii Dassault Mirage III.
  - Delta z usterzeniem: wyposażona w konwencjonalny statecznik poziomy, ułatwiający pilotowanie. Wykorzystana w samolocie Mikoyan-Gurevich MiG-21.



Ilustracja 16. Skrzydła ptaka i okrągłe

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing\\_configuration](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration)

- Ścięta delta: końcówki skrzydeł są ścięte. Pozwala to zmniejszyć opór końcówek przy wysokim kącie natarcia. Wyposażony w takie skrzydła Fairrey Delta 1 miał również statecznik. W ekstremalnych przypadkach ten typ przypomina skrzydło „skośne zbieżne”.
- Złożona delta lub podwójna delta (skrzydło pasmowe): część bliżej kadłuba ma (zazwyczaj) większy kąt skosu krawędzi natarcia, jak w przypadku samolotu Saab Draken. Poprawia to siłę nośną przy wysokich kątach natarcia i opóźnia przeciągnięcie lub zapobiega mu. Dla odróżnienia w samolocie Saab Viggen część skrzydła bliżej kadłuba ma mniejszy kąt skosu, by zredukować zakłócenia wywołane przez przedni ster wysokości.
- Delta ostrołukowa: gładko wyprofilowana krzywizna krawędzi natarcia w kształcie „kieliszka do wina”, łącząca cechy skrzydła pasmowego ze ściętymi końcówkami skrzydeł. W formie bez statecznika wykorzystana w naddźwiękowym samolocie pasażerskim Concorde [39].



Ilustracja 17. Skrzydła typu delta

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing\\_configuration](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration)

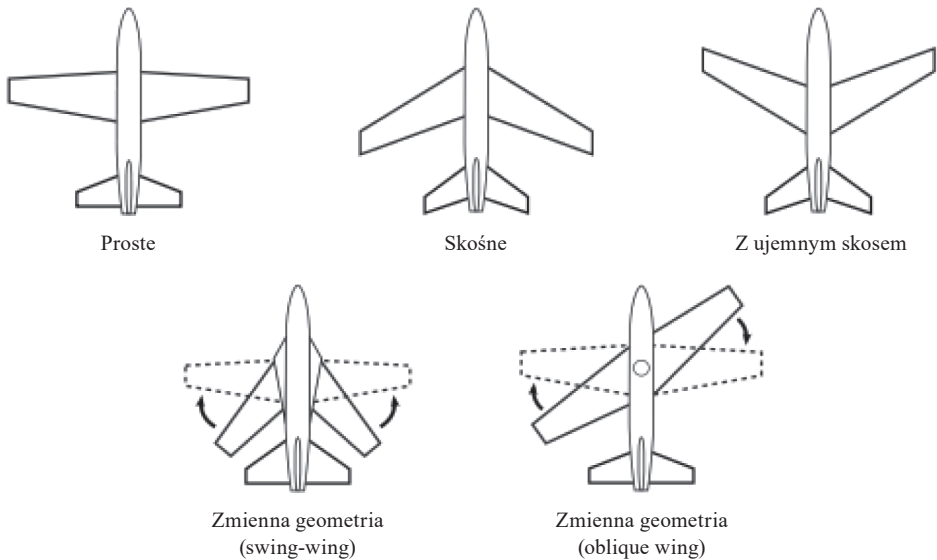
### *Skrzydła skośne*

Skrzydła skośne dzielą się na skrzydła z dodatnim (do tyłu) i ujemnym (do przodu) skosem. Możemy wymienić wiele powodów wykorzystywania tego typu skrzydeł. Czasami niewielki kąt skosu potrzebny jest, by skorygować centrum siły nośnej, w sytuacjach kiedy skrzydło nie może być zamocowane w idealnej pozycji, np. kiedy ograniczałoby widoczność z kokpitu. Poniżej opisujemy inne zastosowania.

- Proste: rozciąga się pod kątem prostym do linii lotu. Najbardziej wydajny konstrukcyjnie typ skrzydła, popularny wśród wolniejszych konstrukcji od pierwszych lotów Wright Flyera.
- Skrzydło z dodatnim skosem (inaczej „skrzydło skośne”): skrzydło ułożone skośnie do tyłu od nasady do końcówki. We wczesnych zastosowaniach, takich jak samolot Dunne’a, zewnętrzna część skrzydła pełniła dzięki temu funkcję usterzenia (stateczników), zapewniając stabilność aerodynamiczną. Przy prędkościach transonicznych skrzydła skośne stawiają mniejszy opór, ale są bardzo trudne w manewrowaniu, grożąc przeciągnięciem. Wymagają również dużej sztywności, by uniknąć efektu aeroelastyczności przy dużych prędkościach. Częste w samolotach latających z wysoką prędkością poddźwiękową i wczesnych samolotach naddźwiękowych, takich jak Hawker Hunter.
- Skrzydło z ujemnym skosem: skrzydło ułożone ukośnie do przodu od nasady. Oferuje korzyści podobne do skrzydła z dodatnim skosem, ale pozwala uniknąć problemu przeciągnięcia i redukuje straty na końcówkach, pozwalając na zastosowanie mniejszych skrzydeł. Wymaga jednak jeszcze większej sztywności, by zapobiec drżeniom aeroelastycznym, jakie pojawiają się np. w samolocie Sukhoi Su-47. Ujemny skos zastosowano w samolocie HFB 320 Hansa Jet, by uniknąć konieczności wstawienia dźwigara skrzydła do kabiny. Rozwiązanie to wykorzystuje się również w niektórych małych grzbietopłatach, by zachować właściwy środek ciężkości.

*W niektórych typach samolotów o zmiennej geometrii skrzydeł zmiana skosu możliwa jest podczas lotu:*

- *Swing-wing*: nazywane również „skrzydłem o zmiennej geometrii”. Lewe i prawe skrzydło zmieniają kąt skosu jednocześnie, zazwyczaj do tyłu. Spotykane w kilku typach samolotów wojskowych, np. General Dynamics F-111 Aardvark.
- *Oblique wing* (skrzydło nożycowe): pojedynczy płat skrzydła, obracany w całości wokół jednego punktu tak, że jedna część obraca się do tyłu, a druga – do przodu. Stosowane w samolotach badawczych NASA AD-1 [39].



Ilustracja 18. Skrzydła skośne

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing\\_configuration](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration)

### 3.2. OZNACZENIA TYPÓW STATKÓW POWIETRZNYCH WEDŁUG ORGANIZACJI MIĘDZYNARODOWEGO LOTNICTWA CYWILNEGO (ICAO) ORAZ MIĘDZYNARODOWEGO ZRZESZENIA PRZEWOŹNIKÓW LOTNICZYCH (IATA) (SAMOLOTY)

Dokument ICAO nr 8643, Aircraft Type Designators (Oznaczniki typów statków powietrznych).

Załącznik A do *Standard Schedules Information Manual* (SSIM) wydawanego przez IATA.

Normy i zalecane metody postępowania ICAO dotyczące statków powietrznych zawarte są w Załączniku 6 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, zatytułowanym Eksploatacja statków powietrznych [10], Załączniku 7 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym – Znaki przynależności państwowej oraz rejestracyjne [11] i w Załączniku 8 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym – Zdatność do lotu statków powietrznych [12].

Oznacznik typu statku powietrznego to złożony z dwóch, trzech lub czterech znaków kod alfanumeryczny, unikatowy dla każdego typu statków powietrznych (oraz niektórych podtypów), który może się pojawić w planach lotów. Kody te

ustala zarówno Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego, jak i Międzynarodowe Zrzeszenie Przewoźników Lotniczych [58, 56].

Kody ICAO publikowane są w Dokumencie ICAO nr 8643, zatytułowanym Aircraft Type Designators. Są one wykorzystywane głównie przez służby kontroli ruchu lotniczego (*Air Traffic Control, ATC*) oraz planowania lotów. O ile kody ICAO używane są do rozróżnienia typów i odmian samolotów ze względu na ich charakterystykę i parametry istotne z punktu widzenia ATC, o tyle nie pokazują różnic związanych z zastosowaniem maszyn (odmiany pasażerska i towarowa tego samego typu/serii samolotu będą miały taki sam kod ICAO) [58].

Kody IATA można znaleźć w Załączniku A do publikowanego corocznie *Standard Schedules Information Manual (SSIM* – informatora o rozkładach lotów). Są one wykorzystywane w rozkładach lotów linii lotniczych oraz w komputerowych systemach rezerwacyjnych. Kody IATA pozwalają odróżnić typy i odmiany statków powietrznych z perspektywy zastosowań komercyjnych (wielkość, rola, konfiguracja wnętrza itp.) [56].

Oprócz kodów dla pojedynczych typów statków powietrznych IATA opcjonalnie wprowadza również kody dla całych grup statków powietrznych, które mają wspólne cechy charakterystyczne (np. dla wszystkich frachtowców Boeing 747, bez względu na serię).

Tabela 1. Oznaczenia typów samolotów według ICAO i IATA

Kod ICAO	Kod IATA	Model
A124	A4F	Antonov AN-124 Ruslan
A140	A40	Antonov AN-140
A148	A81	Antonov An-148
A158	A58	Antonov An-158
A19N	31N	Airbus A319neo
A20N	32N	Airbus A320neo
A21N	32Q	Airbus A321neo
A225	A5F	Antonov An-225 Mriya
A319	319	Airbus A319
A320	320	Airbus A320
A321	321	Airbus A321
A332	332	Airbus A330-200
A333	333	Airbus A330-300
A339	339	Airbus A330-900neo



A345	345	Airbus A340-500
A359	359	Airbus A350-900
A388	388	Airbus A380-800
AN12	ANF	Antonov AN-12
AN26	A26	Antonov AN-26
B38M	7M8	Boeing 737 MAX 8
B39M	7M9	Boeing 737 MAX 9
B738	738	Boeing 737-800
B739	739	Boeing 737-900
B744	744	Boeing 747-400
B748	74N	Boeing 747-8F
B753	753	Boeing 757-300
B763	763	Boeing 767-300
B764	764	Boeing 767-400ER
B772	772	Boeing 777-200 / Boeing 777-200ER
B773	773	Boeing 777-300
B77W	77W	Boeing 777-300ER
B788	788	Boeing 787-8
C25C	CNJ	Cessna Citation CJ4
C30J	LOH	Lockheed Martin C-130J Hercules
E75S/L	E75	Embraer 175
E190	E90	Embraer 190
MD11	M11	McDonnell Douglas MD-11
MD83	M83	McDonnell Douglas MD-83

Źródło: ICAO Document 8643 Aircraft Type Designators

### 3.3. OZNACZENIA TYPÓW STATKÓW POWIETRZNYCH WEDŁUG ORGANIZACJI MIĘDZYNARODOWEGO LOTNICTWA CYWILNEGO (ICAO) ORAZ MIĘDZYNARODOWEGO ZRZESZENIA PRZEWOŹNIKÓW LOTNICZYCH (IATA) (ŚMIGŁOWCE)

Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego oraz Międzynarodowe Zrzeszenie Przewoźników Lotniczych określają również kody dla śmigłowców. Kody ICAO opublikowane są w Dokumencie ICAO nr 8643, Aircraft Type Designators [58].

Kody IATA znajdują się w Załączniku A do wydawanego co rok *Standard Schedules Information Manual* (SSIM) [56].

Tabela 2. Oznaczenia typów samolotów według ICAO i IATA

Kod ICAO	Kod IATA	Model
AS32	APH	Eurocopter AS332 Super Puma
AS50	NDE	Eurocopter AS350 Écureuil / AS355 Écureuil 2 / AS550 Fennec
B105	MBH	Eurocopter (MBB) Bo.105
B212	BH2	Bell 212
B412	BH2	Bell 412
B429	BH2	Bell 429
EC20	N/A	Eurocopter EC120 Colibri / Harbin HC120
EC25	N/A	Eurocopter EC225 Super Puma
EC35	N/A	Eurocopter EC135 / EC635
EC45	N/A	Eurocopter EC145
MI8	MIH	MIL Mi-8 / Mi-17 / Mi-171 / Mil-172
MI24	N/A	MIL Mi-24 / Mi-25 / Mi-35

Źródło: ICAO Document 8643 Aircraft Type Designators

### 3.4. KODY REFERENCYJNE LOTNISK WEDŁUG ICAO

Kod referencyjny lotniska określony przez ICAO to dwuelementowe oznaczenie kategorii danego lotniska, które pozwala ustalić, jakie rodzaje samolotów może ono obsługiwać. Kody można znaleźć w Załączniku 14 ICAO [9]. Pierwszy z elementów kodu to cyfra odpowiadająca długości pola referencyjnego (ang. Reference Field Length), czyli głównej drogi startowej danego lotniska. Wyróżniamy tu cztery kategorie (patrz tabela 3). Drugi element to litera określana na podstawie rozpiętości skrzydeł oraz rozstawu zewnętrznych kół w podwoziu głównym samolotu (tab. 4).

Pierwszy element kodu wygląda następująco:

Tabela 3. Element 1 kodu referencyjnego lotniska ICAO

Cyfra kodu	Długość pola referencyjnego	Przykładowy typ samolotu
1	< 800 m	De Havilland Canada DHC-6 / Piper PA-31
2	800–1200 m	ATR ATR-42-300/320 / Bombardier Dash 8 Q300
3	1200–1800 m	SAAB 340 / Bombardier Regional Jet CRJ-200
4	1800 m i powyżej	Boeing 737-700 / Airbus A-320

Źródło: Załącznik 14 do konwencji chicagowskiej ICAO

Długość pola oznacza zrównoważoną długość pola startowego/drogi startowej (czyli taką, kiedy droga startu jest równa odległości potrzebnej do zatrzymania rozpędzonego samolotu), w określonych sytuacjach, lub też długość drogi startowej, w innych przypadkach. Długość pola referencyjnego dla danego samolotu definiuje się jako „minimalną długość pola wymaganą do startu przy maksymalnej dopuszczalnej masie startowej, na poziomie morza, w warunkach wzorcowej atmosfery, bezwietrznych, przy zerowym nachyleniu drogi startowej, zgodnie z zapisami zawartymi w instrukcji użytkowania statku powietrznego (ang. *Aircraft Flight Manual*, AFM) lub innym równoważnym dokumencie”.

Drugi element kodu zależy od bardziej restrykcyjnego z dwóch wymiarów – rozpiętości skrzydeł lub rozstawu zewnętrznych kół w podwoziu głównym samolotu [54]. Wyróżniamy następujące kategorie:

Tabela 4. Element 2 kodu referencyjnego lotniska ICAO

Litera kodu	Rozpiętość skrzydeł	Rozstaw zewnętrzny kół podwozia głównego	Przykładowy samolot
A	<15 m	<4,5 m	Piper PA-31 / Cessna 404 Titan
B	15–24 m	4,5–6 m	Bombardier Regional Jet CRJ-200 / De Havilland Canada DHC-6
C	24–36 m	6–9 m	Boeing 737-700 / Airbus A-320 / Embraer ERJ 190-100
D	36–52 m	9–14 m	B767 Series / Airbus A-310
E	52–65 m	9–14 m	B777 Series / B787 Series / A330 Family
F	65–80 m	14–16 m	Boeing 747-8 / Airbus A-380-800

Źródło: Załącznik 14 do konwencji chicagowskiej ICAO

Trzeba zauważyć, że często wykorzystuje się tylko element 2, ponieważ odnosi się on bezpośrednio do szczegółów projektu i układu lotniska. Analogiczny, lecz inaczej zdefiniowany kod, o nazwie *Airplane Design Group* (ADG), stosuje również amerykański organ nadzoru lotniczego, FAA [54].

### 3.5. KATEGORIE PRĘDKOŚCI PODEJŚCIA DO LĄDOWANIA

Kategorie prędkości podejścia do lądowania to system podziału statków powietrznych w zależności od ich prędkości podczas fazy podejścia do lądowania. W systemie tym stałopłaty podzielone są na pięć kategorii.

Parametry i osiągi statku powietrznego mają bezpośredni wpływ na to, ile przestrzeni i jakiej widzialności potrzebuje pilot, by wykonać wszystkie niezbędne manewry podczas procedury podejścia do lądowania na przyrządach. Najważniejszym z tych parametrów jest prędkość statku powietrznego.

Na tej podstawie wprowadzono w lotnictwie kilka kategorii, z których każda obejmuje określony zakres prędkości. Stanowią one bazę do zdefiniowania standardowych wymagań dotyczących manewrowości statku powietrznego oraz przestrzeni obowiązujących podczas określonych procedur podejścia. Na tej podstawie ustala się, do jakiej kategorii należy dany typ lub odmiana statku powietrznego.

Jednym z kryteriów branych pod uwagę podczas określania kategorii statku powietrznego jest wskazywana prędkość lotu nad progiem drogi startowej ( $v_{AT}$ ) w normalnej konfiguracji do lądowania, przy maksymalnej dopuszczalnej masie lądowania. Prędkość tę definiuje się jako równą większej z dwóch prędkości – prędkości przeciągnięcia ( $v_{so}$ ) pomnożonej razy 1,3 lub prędkości przeciągnięcia ( $v_{slg}$ ) pomnożonej razy 1,23. Konfiguracja lądowania, którą uwzględnia się w tym kryterium, może być określona przez operatora lub producenta statku powietrznego, jednak w większości przypadków bierze się pod uwagę zalecenia producenta [53].

Poniższa tabela ICAO pokazuje zakres wskazywanych prędkości lotu w węzłach, dla każdej kategorii statków powietrznych, optymalnych podczas manewrów lub określonej fazy podejścia. Te zakresy prędkości wykorzystywane są przez służby kontroli lotu do definiowania procedur i wymagań dotyczących usuwania przeszkód i przestrzeni powietrznej w kolejnych fazach procedury podejścia [57].

Tabela 5. Kategoryzacja prędkości podejścia

Kategoria statku powietrznego	$V_{AT}$	Zakres prędkości w początkowej fazie podejścia	Zakres prędkości w końcowej fazie podejścia	Prędkości maksymalne podczas podejścia z okrążeniem	Prędkości maksymalne w środkowej fazie nieudanego podejścia	Prędkości maksymalne w końcowej fazie nieudanego podejścia	Typowy statek powietrzny tej kategorii
<b>A</b>	<91	90–150	70–110	100	100	110	mały jednosilnikowy
<b>B</b>	91 - 120	120–180	85–130	135	130	150	mały wielosilnikowy
<b>C</b>	121 - 140	160–240	115–160	180	160	240	pasażerski odrzutowiec
<b>D</b>	141 - 165	185–250	130–185	205	185	265	duży odrzutowiec / wojskowy odrzutowiec

Źródło: ICAO Doc 8168 PANS-OPS Vol. 1

### 3.6. KATEGORIE TURBULENCJI W ŚLADZIE AERODYNAMICZNYM ICAO

Kategorię turbulencji w śladzie aerodynamicznym ICAO pokazuje odpowiedni jednoelementowy wskaźnik turbulencji w śladzie, umieszczony w punkcie 9 formularza planu lotu ICAO. Kategorie zależą od maksymalnej dopuszczalnej masy startowej i są to:

- *H (Ciężka)*: statki powietrzne o masie 136 000 kg (300 000 lb) lub większej,
- *M (Średnia)*: statki powietrzne o masie mniejszej niż 136 000 kg (300 000 lb) i większej niż 7000 kg (15 500 lb),
- *L (Lekka)*: statki powietrzne o masie 7000 kg (15 500 lb) lub mniejszej.

Uwaga:

- Kategoria *Supercieżka* obejmuje samoloty Airbus A380-800, o maksymalnej masie startowej od 560 000 kg (patrz: Airbus A380 Wake Vortex Guidance) [55].

Różne odmiany tego samego typu statku powietrznego mogą znaleźć się w różnych kategoriach turbulencji w śladzie aerodynamicznym (np. L/M lub M/H). W takich przypadkach za wpisanie odpowiedniego wskaźnika kategorii turbulencji do planu lotu odpowiada operator lub pilot. W niektórych krajach obowiązują pewne

odmiany systemu ICAO. Na przykład przepisy stosowane w Wielkiej Brytanii zmieniają nieco zakres kategorii:

- Dodano kategorię *Małe*, obejmującą statki powietrzne o maksymalnej masie startowej między 17 000 a 40 000 kg.
- Kategoria *Lekka* w systemie ICAO została rozszerzona na statki powietrzne o maksymalnej masie startowej do 17 000 kg. Dodatkowo z kategorii Średnie wydzielono kategorię *Wyższa średnia*, obowiązującą (wyłącznie) podczas podejścia do lądowania na lotniskach EGLL, EGKK, EGSS and EGCC. Wszystkie szczegóły rozwiązań brytyjskich można znaleźć w dokumencie UK AIC P 001/2015 – Wake Turbulence.
- *B757*: w niektórych krajach Boeing B757 zaliczany jest do wyższej kategorii, niż wskazywałaby jego waga, jeśli podchodzi do lądowania jako poprzedzający statek powietrzny (czyli ten, który powoduje turbulencje) [55].

### 3.7. BOEING KONTRA AIRBUS: KLASYFIKACJE I SEGMENTY RYNKOWE

Dwaj najwięksi producenci samolotów, koncerny Boeing i Airbus, stosują nieco inne systemy klasyfikacji maszyn, co może prowadzić do niejasności w ocenie udziału w rynku oraz utrudniać prognozowanie (patrz: tabela 6).

Tradycyjnie firma Boeing dzieliła i dzieli samoloty na wąskokadłubowe (z pojedynczym przejściem) i szerokokadłubowe (z dwoma przejściami), a następnie na podkategorie w zależności od liczby miejsc. I tak, w segmencie samolotów wąskokadłubowych mamy podkategorie odrzutowców regionalnych, samolotów o liczbie miejsc od 90 do 175 oraz większe, z liczbą miejsc powyżej 175. Z kolei samoloty szerokokadłubowe podzielone są, w zależności od liczby miejsc, na małe, średnie i duże. Również koncern Airbus do niedawna dzielił swoją flotę na samoloty wąsko- i szerokokadłubowe, rezerwując oddzielną kategorię dla największych maszyn. Jednak w swojej prognozie z 2018 r. europejski producent zaproponował nowy podział rynku, tym razem wprowadzając kategorie od „Małych” do „Bardzo dużych” samolotów (patrz: tabela 6), co zamazało nieco dotychczasowe rozróżnienia pomiędzy typami samolotów.

Nowa klasyfikacja redefiniuje tradycyjny podział na samoloty wąsko- i szerokokadłubowe, a także na różne typy samolotów długodystansowych. „Małe” maszyny to takie, które mają do 230 miejsc i zasięg do 3000 mil morskich (Mm). „Średnie” to samoloty z liczbą miejsc między 230 a 300 i zasięgiem do 5000 Mm, zaś „Duże” – z liczbą miejsc między 300 a 350 i zasięgiem do 10 000 Mm. Jeśli chodzi o większe maszyny, to zamiast tworzyć osobną kategorię dla samolotów o liczbie miejsc od 450 w górę, która w praktyce obejmowałaby tylko B747 i A380,

Airbus zaliczył wszystkie samoloty z liczbą miejsc przekraczającą 350 i zasięgiem do 10 000 Mm do jednej kategorii – „Bardzo dużych” maszyn [87].

Tabela 6. Kategorie samolotów pasażerskich według firm Boeing i Airbus

<b>Klasyfikacja firmy Boeing</b>	<b>Typ samolotu</b>	<b>Klasyfikacja firmy Airbus</b>
Regionalne	Antonov An-148, -158	Mały
	AVIC ARJ-700	Mały
	Bombardier CRJ	Mały
	Embraer 170, 175, 175E2	Mały
	Mitsubishi MRJ	Mały
	Sukhoi Superjet 100	Mały
Wąskokadłubowe	Boeing 737-700, -800, MAX-7, MAX-8	Średni
	Boeing 737-900ER, MAX 9, MAX 10	Średni
	Boeing 757-200, -300	Średni
	Airbus A318, A319, A320, A319neo, A320neo	Mały
	Airbus A321, A321neo	Średni
	Bombardier CRJ-1000	Mały
	Embraer 190, 190E2, 195, 195E2	Mały
	Comac C919	Mały
	UAC MS 21-200/300	Mały
	Tupolev TU-154, -204, -214	Mały/Średni
Szerokokadłubowe	Boeing 747	Bardzo duży
	Boeing 767	Duży
	Boeing 777, 777X	Duży/Bardzo duży
	Boeing 787	Duży
	Airbus A330	Duży
	Airbus A340	Duży
	Airbus A350	Duży/Bardzo duży
	Airbus A380	Bardzo duży
	Ilyushin IL	Duży

Źródło: Boeing, Airbus [87]

Zmiana metody klasyfikacji przez firmę Airbus ma pewne historyczne podstawy. Od kilku lat Airbus toczył z Boeingiem spór na temat rzeczywistego popytu na takie samoloty jak B747 i A380. Airbus jest przekonany, że zapotrzebowanie na

te samoloty wzrosnąć w przyszłości ze względu na rosnący ruch i coraz większe zatłoczenie lotnisk. Boeing z kolei uważa, że duże samoloty dwusilnikowe, takie jak B777X, pozwolą rozwiązać ten problem, a popyt na wielkie czterosilnikowe odrzutowce niedługo zupełnie się skończy. Dziś wizja koncernu Boeing wydaje się bardziej realistyczna, ale tłok widoczny w powietrzu i na lotniskach może w pewnym momencie wymusić jakieś decyzje.

Porównując wykorzystanie samolotów dziś i w 2007 r., można dostrzec ewolucję rynku, szczególnie w kwestii zasięgu i ilości miejsc. Dane pokazują, że rozmiary maszyn są coraz większe i granice między poszczególnymi segmentami coraz bardziej się zacierają. Dziś np. duże samoloty wąskokadłubowe, jak A321, operują w segmencie rynku, który jeszcze do niedawna wydawał się zarezerwowany dla maszyn szerokokadłubowych. Widzimy to nie tylko w przypadku mniejszych typów. Również większe samoloty, jak A350, mogą być wykorzystywane w różnych segmentach, w zależności od strategii linii lotniczych lub wymagań rynkowych [87, 32].



Ilustracja 19. Boeing kontra Airbus

Źródło: <https://aviationvoice.com/airbus-a320-neo-vs-boeing-737-max-2-201602121522/>

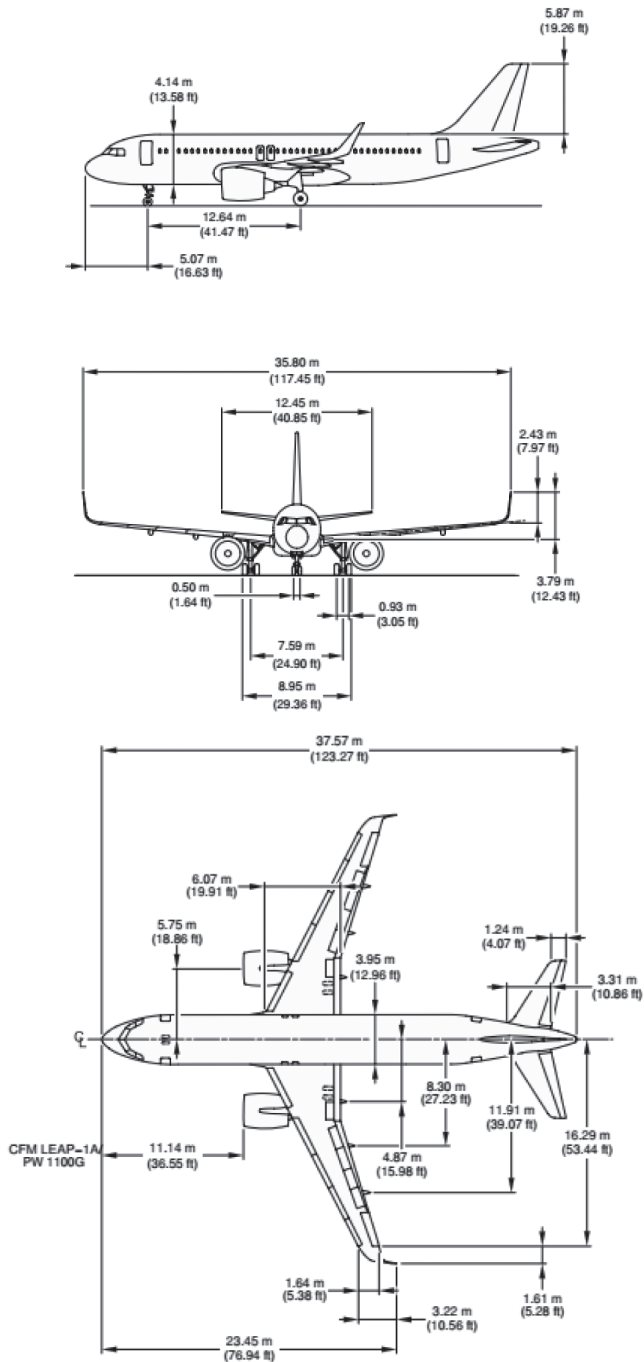




# OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA I PARAMETRY STATKÓW POWIETRZNYCH

## 4.1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA I PARAMETRY SAMOLOTU AIRBUS A320

Airbus A320 to wąskokadłubowy samolot pasażerski krótkiego i średniego zasięgu. Model wszedł do służby w 1988 r. Jest to pierwszy samolot pasażerski wyposażony w elektroniczny system sterowania (*fly-by-wire*) wykorzystujący joystick i elektroniczny system przyrządów lotu (EFIS). Przewoźnicy zamówili dotychczas łącznie 2532 szt., z czego producent dostarczył 1563, a obecnie w użyciu pozostają 1542 samoloty. A320 należy do rodziny samolotów A320 (obejmującej modele 318/319/320/321). W sumie w wyposażeniu linii lotniczych znajduje się 3469 maszyn z tej rodziny (dane z maja 2008 r.). W 2010 r. Airbus zaprojektował nową serię A320 – „neo” (*new engine option*) – a pierwsza maszyna z tej serii weszła do służby w 2016 r. Oprócz nowego typu silników (PW 1100G lub CFM LEAP-1A) seria ta ma również nowego typu zakończenia skrzydeł, nazywane „*sharklets*” [52, 37].



Ilustracja 20. Główne wymiary samolotu Airbus A320

Źródło: Airbus 320 aircraft characteristics airport and maintenance planning

Tabela 7. Parametry samolotów z rodziny Airbus A320

Podtyp	A318	A319	A320	A321
Załoga w kokpicie	dwie osoby			
Maksymalna liczba pasażerów wg EASA/FAA	136	160	195/190	230
Maksymalna liczba miejsc – 1 klasa	132, w odstępach 29–30 in (74–76 cm)	156, w odstępach 28–30 in (71–76 cm)	186, w odstępach 29 in (74 cm)	236, w odstępach 28 in (71 cm)
Typowa liczba miejsc – 1 klasa	117, w odstępach 32 in (81 cm)	134, w odstępach 32 in (81 cm)	164, w odstępach 32 in (81 cm)	199, w odstępach 32 in (81 cm)
Typowa liczba miejsc – 2 klasa	107 (8F @ 38 in, 99Y @ 32 in)	124 (8F @ 38 in, 116Y @ 32 in)	150 (12F @ 36 in, 138Y @ 32 in)	185 (16F @ 36 in, 169Y @ 32 in)
Objętość cargo	21,20 m <sup>3</sup> (749 ft <sup>3</sup> )	27,70 m <sup>3</sup> (978 ft <sup>3</sup> )	37,40 m <sup>3</sup> (1,321 ft <sup>3</sup> )	51,70 m <sup>3</sup> (1,826 ft <sup>3</sup> )
Kontenery lotnicze ULD		4 × LD3-45	7 × LD3-45	10 × LD3-45
Długość	31,44 m (103 ft 2 in)	33,84 m (111 ft 0 in)	37,57 m (123 ft 3 in)	44,51 m (146 ft 0 in)
Rozpiętość skrzydeł	34,10 m (111 ft 11 in)	35,8 m (117 ft 5 in) <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_A320_family_-_cite_note-sharklets-112">https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_A320_family_-_cite_note-sharklets-112</a>		
Powierzchnia nośna <sup>[27]</sup>		124 m <sup>2</sup> (1330 ft <sup>2</sup> ), wydłużenie 10.3		128 m <sup>2</sup> (1380 ft <sup>2</sup> ), wydłużenie 10
Kąt skosu skrzydeł	25°			
Wysokość	12,56 m (41 ft 2 in)	11,76 m (38 ft 7 in)		
Kadłub	wysokość 4,14 m (13 ft 7 in), szerokość 3,95 m (13 ft 0 in), szerokość kabiny 3,70 m (12 ft 2 in)			
Maksymalna masa startowa (MTOW)	68 t (150 000 lb)	75,5 t (166 000 lb)	78 t (172 000 lb)	93,5 t (206 000 lb)
Maksymalna ładowność	15 t (33 000 lb)	17,7 t (39 000 lb)	19,9 t (44 000 lb)	25,3 t (56 000 lb)
Pojemność zbiornika paliwa	24 210 L 6400 US gal	24 210–30 190 L 6400–7980 US gal	24 210–27 200 L 6400–7190 US gal	24 050–30 030 L 6350–7930 US gal
Masa operacyjna (OEW)	39,5 t (87 100 lb)	40,8 t (89 900 lb)	42,6 t (93 900 lb)	48,5 t (107 000 lb)
Masa minimalna	34,5 t (76 000 lb)	35,4 t (78 000 lb)	37,23 t (82 100 lb)	47,5 t (105 000 lb)
Prędkość	przelotowa: 0,78 Ma (447 kn, 829 km/godz.), maksymalna: 0,82 Ma (470 kn, 871 km/godz.)			
Zasięg	5741 km (3100 NM)	6945 km (3750 NM)	6112 km (3300 NM)	5926 km (3200 NM)

Rozbieg (MTOW, SL, ISA)	1780 m (5840 ft)	1850 m (6070 ft)	2100 m (6900 ft)	
Dobieg (MLW, SL, ISA)	1230 m (4040 ft)	1360 m (4460 ft)	1500 m (4900 ft)	
Pałap	39 100–41 000 ft (11 900–12 500 m)			
Silniki (×2)	CFM International CFM56-5B, 68,3 in (1,73 m) turbowentylatorowy			
	PW6000A, 56,5 in (1,44 m) turbowentylatorowy	IAE V2500A5, 63,5 in (1,61 m) turbowentylatorowy		
Ciąg (×2)	96–106 kN (22 000–24 000 lb <sub>f</sub> )	98–120 kN (22 000–27 000 lb <sub>f</sub> )		133–147 kN (30 000– 33 000 lb <sub>f</sub> )
Kod ICAO	A318	A319	A320	A321

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus\\_A320\\_family](https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_A320_family)

## 4.2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA I PARAMETRY SAMOLOTU ANTONOV 124 „RUSŁAN”



Ilustracja 21. Ciężki samolot transportowy dalekiego zasięgu Antonov An-124-100

Źródło: <https://www.aerospace-technology.com/projects/antonov/>

Samolot An-124 Rusłan, zaprojektowany przez biuro konstrukcyjne Antonov ASTC z Kijowa, to bardzo duży samolot transportowy o ładowności do 150 t. Jest on produkowany przez zakłady Aviant State Aviation Plant w Kijowie i Aviastar w Uljanowsku, w Rosji.

Samolot został zaprojektowany do wykonywania transportów dalekiego zasięgu i zrzutów ciężkich, wielkogabarytowych ładunków, w tym maszyn, wyposażenia

oraz wojska. Samolot oparty jest na konstrukcji maszyny An-124 Rusłan, samolotu wojskowego armii rosyjskiej, nazywanego w nomenklaturze NATO Condorem. An-124 wszedł do służby w 1986 r. i od tego czasu zbudowano 55 szt. tego modelu. Wersja An-124-100 uzyskała certyfikat typu w 1992 r. [45].

### *Cechy samolotu An-124-100*



Ilustracja 22. Załadunek śmigłowców do samolotu Antonov An-124-100, ciężkiego samolotu transportowego dalekiego zasięgu

Źródło: <https://www.aerospace-technology.com/projects/antonov/>

Ładowność samolotu została zwiększona ze 120 do 150 t, masa startowa z 392 do 402 t, a zasięg z ładunkiem o masie 120 t – z 4650 do 5400 km. Wielkość załogi zmniejszono do czterech osób. Cyfrowy system ABS zamontowany w samolocie wyposażono w monografitowe tarcze hamulcowe.

Unikatowe możliwości załadunkowe samolotu oraz jego wyjątkowe osiągi zostały niejednokrotnie potwierdzone w praktyce. An-124 wykorzystywany był w wielu krajach do przewozu ważnych dla gospodarki i niecodziennych ładunków, np. 90-tonowych turbin hydraulicznych, wielkogabarytowych dźwigów Liebherr, wywrotek American Euclid, kadłuba samolotu pasażerskiego Tu-204, 109-tonowej lokomotywy czy jachtu pełnomorskiego o długości ponad 25 m [45].

### *Konstrukcja samolotu transportowego dalekiego zasięgu Antonov 124-100*

An-124-100 to samolot dwupokładowy. Na górnym pokładzie znajduje się kokpit, kabina dla załogi zamiennnej oraz kabina pasażerska, mieszcząca 88 miejsc. Dolny poziom to ładownia. Stanowiska załogi – złożonej z pilota, drugiego pilota, dwóch inżynierów, nawigatora oraz oficera łączności – ustawione są parami. Stanowisko loadmastera (odpowiedzialnego za załadunek) znajduje się na śródpokładzie.

Samolot An-124 wyposażony jest w stosunkowo grube (12%) skrzydło o profilu nadkrytycznym, co zapewnia wysoką wydajność aerodynamiczną i w rezultacie daleki zasięg. Maszyna ma niską stateczność statyczną, co pozwala zmniejszyć opór przeciągnięcia.

Konstrukcja obejmuje wytłaczane panele na powierzchni skrzydeł, wytłaczane płyty w centralnej części płata nośnego oraz lite płyty wafłowe, z których zbudowane są panele kadłuba. Elementy konstrukcji wykonane z kompozytów pokrywają ok. 1500 m<sup>2</sup> powierzchni maszyny, zmniejszając jego masę o ok. 2000 kg.

Dzięki wielopunktowej konstrukcji podwozia samolot może lądować i operować na lotniskach o zróżnicowanej infrastrukturze, zarówno wyposażonych w utwardzone betonowe drogi startowe, jak i na nieutwardzonych lądowiskach lub w bazach wojskowych, w pobliżu obszarów wykorzystania dostarczanych ładunków.

An-124-100 ma samoregulujące podwozie, wyposażone dodatkowo w mechanizm opuszczający, który umożliwia odpowiednie pochylenie kadłuba w sposób ułatwiający załadunek i rozładunek pojazdów.

Samolot wyposażony jest w sprzęt do zrzutu ładunków na spadochronie oraz w suwnice do obsługi cargo, a także w automatyczny pokładowy system testujący, obejmujący 1000 punktów testowania. Na pokładzie znajdują się również dwie jednostki zasilające APU, wyposażone w generatory oraz turbopompy zapewniające pełną niezależność maszyny [45].

#### *Systemy awioniki na pokładzie samolotu Antonov 124-100*

Wszystkie systemy awioniki są poczwórne i redundantne.

Wyposażenie pokładowe umożliwia prowadzenie operacji unoszenia i zrzutu ładunków w ciągu dnia i w nocy, w warunkach lotu z widocznością i według wskazań przyrządów (VFR i IFR), a także podczas przedłużających się działań poza lotniskiem bazowym. Najważniejsze systemy to zintegrowany system kontroli lotu i nawigacji, urządzenia komunikacyjne oraz sprzęt do zrzutu ładunków i obsługi cargo. Na pokładzie pracują 34 komputery, połączone w cztery główne systemy: nawigacji, automatycznego pilotażu, zdalnego sterowania i monitorowania.

Zintegrowany system kontroli lotu i nawigacji obejmuje autonomiczny system nawigacji, wskaźniki prędkości i wysokości samolotu, system nawigacji radiowej bliskiego zasięgu i lądowania, globalny system pozycjonowania, automatyczny kompas radiowy, zintegrowany system kontroli lotu, radar obserwacji ziemi, dalekosiężny radar meteorologiczny, a także celowniki optyczne, kamery telewizyjne oraz system rozpoznawania swój-obcy.

Standardowe urządzenia komunikacyjne na pokładzie to radiostacja do łączności w powietrzu, krótkofalowy zestaw radiowy (HF), zestaw radiowy VHF/UHF, interkom, dźwiękowy system ostrzegawczy oraz system dokumentacyjny [45].

#### *Możliwości załadunkowe i transportowe samolotu Antonov 124-100*

Cechą wyróżniającą samolotu An-124-100 są dwie przestrzenie ładunkowe. Dodatkowo możliwe jest równoczesne otwarcie kadłuba z przodu i z tyłu, co pozwala znacznie skrócić czas operacji załadunku i wyładunku towarów. Pokładowe systemy obsługi umożliwiają załadunek i rozładunek bez udziału urządzeń naziemnych. Wyposażenie do obsługi cargo i zrzutu ładunków obejmuje dwie suwnice, dwa dźwigi, rolkowaną podłogę oraz sprzęt mocujący. Samolot jest często porównywany do amerykańskiego Lockheed Martin C-5 Galaxy, jednak w rzeczywistości jego zdolność transportowa jest o 25% większa niż w przypadku C-5A i o 10% większa niż C-5B.

#### *Rekordy świata ustanowione przez samolot An-124-100*



Ilustracja 23. Rekordowy ładunek transportowany samolotem Antonov An-124-100

Źródło: <https://www.aerospace-technology.com/projects/antonov/>



Samoloty An-124 wykonują loty czarterowe dla międzynarodowych linii lotniczych od 1989 r. i w tym okresie ustanowiły 30 rekordów świata. Najważniejsze z nich to: 171 219 kg cargo wyniesione na wysokość 10 750 m w 1985 r., trasa 20 161 km pokonana w ciągu 25,5 godz. w 1987 r. czy średnia prędkość przelotowa 689,1 km/godz., osiągnięta podczas lotu dookoła świata, nad biegunami północnym i południowym, w 1990 r. [45].



	<b>AN-124-100</b>	<b>AN-124-100M-150</b>
Maksymalna ładowność	120 000 kg (264 555 lb)	150 000 kg (330 693 lb)
Maksymalna pojemność	1040 m <sup>3</sup>	1040 m <sup>3</sup>
Ładownia cargo (dł. × wys. × szer.)	36,5 × 6,4 × 4,4 m (1437 × 251,9 × 173,2 in)	36,5 × 6,4 × 4,4 m (1437 × 251,9 × 173,2 in)
Wymiary ładowni z rampą	43,7 × 6,4 × 4,4 m (1877,9 × 251,9 × 173,2 in)	43,7 × 6,4 × 4,4 m (1877,9 × 251,9 × 173,2 in)
Drzwi ładowni (wys. × szer.)	6,4 × 4,4 (251,9 × 173,2 in)	6,4 × 4,4 (251,9 × 173,2 in)
Udźwig suwnic na pokładzie	30 000 kg (66 139 lb)	30 000 kg (66 139 lb)

Ilustracja 24. Najważniejsze wymiary samolotu Antonov 124-100

Źródło: <https://www.antonov-airlines.com/wp-content/uploads/2019/03/AA-Brochure-2019-I-NET.pdf>

*Ogólna charakterystyka:*

- załoga: 6 osób (pilot, drugi pilot, nawigator, starszy inżynier, (+ inżynier, radiooperator) + 2 loadmasterów – odpowiedzialnych za załadunek),
- pojemność/ładowność: 88 pasażerów na górnym pokładzie lub dodatkowych 350 pasażerów na siedzeniach paletowych/150 000 kg (330 693 lb),
- długość: 69,1 m (226 ft 8 in),
- rozpiętość skrzydeł: 73,3 m (240 ft 6 in),
- wysokość: 21,08 m (69 ft 2 in),
- powierzchnia nośna: 628 m<sup>2</sup> (6,760 sq ft),
- wydłużenie: 8,6,
- profil: TsAGI Supercritical,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Antonov\\_An-124\\_Ruslan](https://en.wikipedia.org/wiki/Antonov_An-124_Ruslan) - cite\_note-Selig-68,
- masa własna pustego samolotu: 181 000 kg (399 037 lb),
- masa brutto: 214 000 kg (471 789 lb) z pełnym zbiornikiem paliwa,
- maksymalna masa startowa: 402 000 kg (886 258 lb),
- maksymalna masa lądowania: 330 000 kg (727 525 lb),
- pojemność zbiornika paliwa: 348 740 l (92 130 US gal, 76 710 imp gal),
- zespół napędowy: 4 silniki turbowentylatorowe Progress D-18T, o sile ciągu 229 kN (51 000 lbf) każdy [49].

*Osiągi:*

- prędkość przelotowa: maksymalna 865 km/godz. (537 mph, 467 w), 800–850 km/godz. (500–530 mph, 430–460 kn) na poziomie lotu 328–394 (32 800–39 400 ft/ 997–12 009 m) przy standardowym lokalnym ciśnieniu atmosferycznym,
- prędkość podejścia: 230–260 km/godz. (140–160 mph, 120–140 kn),
- zasięg: 3700 km (2300 mil, 2000 NM) przy maksymalnym załadunku, 8400 km (5200 mil, 4,500 NM) z ładunkiem 80 000 kg (176 370 lb), 11 500 km (7100 mil, 6,200 NM) z ładunkiem 40 000 kg (88 185 lb),
- zasięg maksymalny: 14 000 km (8700 mil, 7,600 NM) – z maksymalną ilością paliwa i minimalnym ładunkiem,
- pułap maksymalny: 12 000 m (39 000 ft),
- obciążenie powierzchni nośnej: 640,1 kg/m<sup>2</sup> (131,1 lb/ft<sup>2</sup>),
- siła ciągu/masa: 0,23,
- rozbieg (maksymalna masa startowa): 3000 m (9800 ft),
- dobieg (maksymalna masa lądowania): 900 m (3000 ft) [49].

### 4.3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA I PARAMETRY SAMOLOTU ANTONOV AN-225 „MRIJA”



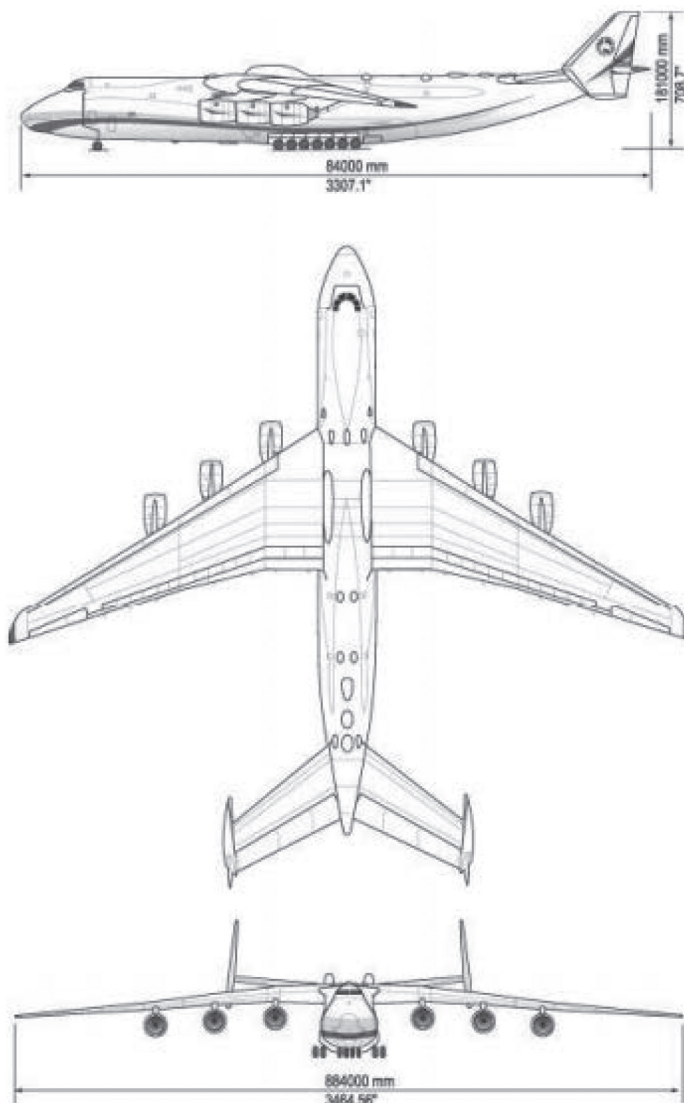
Ilustracja 25. Ciężki samolot transportowy dalekiego zasięgu Antonov An-225

Źródło: <https://wall.alphacoders.com/big.php?i=936759&lang=Russian>

An-225 Mrija to sześciosilnikowy strategiczny samolot transportowy do przewozu ciężkich ładunków, zaprojektowany i produkowany przez ukraińskie zakłady *Antonov Design Bureau* (ADB).

Duży hermetyczny przedział ładunkowy umożliwia transportowanie rozmaitych rodzajów ładunków. Ładownia ma 43 m długości, 6,4 m szerokości i 4,4 m wysokości. Podłoga ma powierzchnię 280 m<sup>2</sup>, a całkowita objętość ładowni wynosi 1300 m<sup>3</sup>. Samolot może przewieźć 250 t towarów wewnątrz ładowni lub 200-tonowy ładunek o wysokości do 70 m zamocowany na grzbiecie.

Maszyna może wykonywać wewnątrzkontynentalne loty non stop z ładunkiem o masie 180 lub 200 t, a także loty międzykontynentalne z obciążeniem do 150 t. Może pomieścić 16 standardowych kontenerów lotniczych UAC-10 o masie 10 t każdy, 50 samochodów, turbiny, generatory, wywrotki i ciężarówki Belaz, Komatsu czy Euclid.



	<b>AN-225 Mrija</b>
Maksymalna ładowność	250 000 kg (551 155 lb)
Maksymalna pojemność	1200 m <sup>3</sup>
Ładownia cargo (dł. × wys. × szer.)	43,3 × 6,4 × 4,4 m (1704,7 × 251,9 × 173,2 in)
Wymiary ładowni z rampą	45,4 × 6,4 × 4,4 m (1787,4 × 251,9 × 173,2 in)
Drzwi ładowni (wys. × szer.)	6,4 × 4,4 m (251,9 × 173,2 in)
Udźwignie suwnic na pokładzie	30 000 kg (66 139 lb)

Ilustracja 26. Najważniejsze wymiary samolotu Antonov An-225

Źródło: <https://www.antonov-airlines.com/wp-content/uploads/2019/03/AA-Brochure-2019-I-NET.pdf>

*Ogólna charakterystyka:*

- załoga: 6 osób,
- długość: 84 m (275 ft 7 in),
- rozpiętość skrzydeł: 88,4 m (290 ft 0 in),
- wysokość: 18,1 m (59 ft 5 in),
- powierzchnia nośna: 905 m<sup>2</sup> (9740 ft<sup>2</sup>),
- wydłużenie: 8,6,
- masa własna pustego samolotu: 285 000 kg (628 317 lb),
- maksymalna masa startowa: 640 000 kg (1 410 958 lb),
- zbiornik paliwa: ponad 300 000 kg (661 000 lb) [60],
- ładownia: objętość 1300 m<sup>3</sup> (46 000 ft<sup>3</sup>), 43,35 m (142,2 ft) długości × 6,4 m (21 ft) szerokości × 4,4 m (14 ft) wysokości,
- zespół napędowy: 6 silników turbowentylatorowych Progress D-18T, o sile ciągu 229,5 kN (51 600 lbf) każdy [49].

*Osiągi:*

- prędkość maksymalna: 850 km/godz. (530 mph, 460 kn),
- prędkość przelotowa: 800 km/godz. (500 mph, 430 kn),
- zasięg: 15 400 km (9600 mil, 8300 NM) z maksymalną ilością paliwa, zasięg z obciążeniem 200 ton: 4000 km (2500 mil),
- pułap maksymalny: 11 000 m (36 000 ft),
- obciążenie powierzchni nośnej: 662,9 kg/m<sup>2</sup> (135,8 lb/ft<sup>2</sup>),
- siła ciągu/masa: 0,234 [49].

#### 4.4. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA I PARAMETRY ŚMIGŁOWCA MIL MI-8

Mil Mi-8 (oznaczenie NATO: Hip) to średni dwusilnikowy śmigłowiec. Oprócz swojej podstawowej roli, śmigłowca transportowego, Mi-8 może być również wykorzystywany jako powietrzne stanowisko dowodzenia, śmigłowiec bojowy lub rozpoznawczy.

Mil Mi-8 to jeden z najpopularniejszych śmigłowców wielozadaniowych i od czasu wejścia do służby w 1961 r. zbudowano ponad 7300 maszyn tego typu.

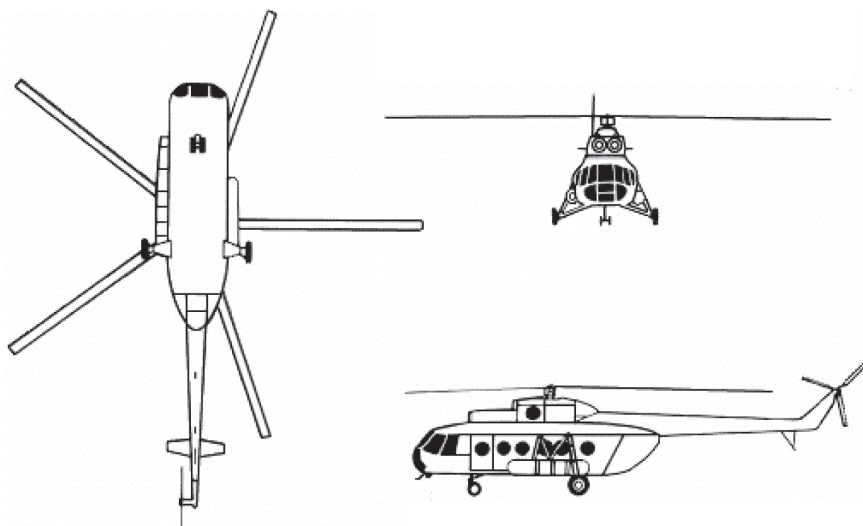
Sprawdzony w walce Mi-8 to mocna i niezawodna maszyna, nic zatem dziwnego, że ciągle pozostaje w powszechnym użyciu. Mi-8 i jego udoskonalona wersja Mi-17 nadal tworzą trzon powietrznych sił transportowych armii rosyjskiej, a także służą w siłach powietrznych 70 innych krajów na całym świecie.

Najczęściej spotykaną wersją śmigłowca jest Mi-8T Hip-C, standardowy śmigłowiec transportowy. Z kolei uzbrojona wersja Mi-8TB Hip-E wyposażona jest w ruchomy karabin maszynowy, bomby, rakiety i sterowane pociski przeciwczołgowe.

By poprawić osiągi, Mi-8 został wyposażony w silniki TV3-117MT o mocy 1874 KM i otrzymał nowe oznaczenie – Mi-17 (oznaczenie NATO: Hip-H). Wersja ta weszła do służby w 1975 r. Oznaczenie Mi-17 jest używane zazwyczaj przez odbiorców zagranicznych, a siły powietrzne państw WNP używają nazwy Mi-8MT. Śmigłowce w służbie WNP często wyposażone są w dodatkowe uzbrojenie kokpitu, zagłuszacze podczerwieni i raketnice. Ta sama podstawowa wersja śmigłowca bez uzbrojenia nosi oznaczenie Mi-8AMT.

Załoga podstawowej wersji Mi-8 składa się z trzech osób – dwóch pilotów i mechanika pokładowego. Maszyna może przewieźć 24 żołnierzy z pełnym ekwipunkiem.

Śmigłowiec Mi-8/17 dostępny jest obecnie w ogromnej liczbie zróżnicowanych wersji, dostosowanych do specjalistycznych funkcji, w jakich wykorzystywana jest maszyna. Wersje wojskowe mogą służyć jako zapasowe stanowiska dowodzenia, maszyny do walki elektronicznej (z użyciem sprzętu zakłócającego), helikoptery do prowadzenia nasłuchu czy do przekazywania rozkazów. Inne wersje służą do transportu paliwa dla jednostek frontowych, prowadzą rozpoznanie fotograficzne, kierują ogniem artyleryjskim, przewożą ważne osobistości, a także stawiają lub niszczą pola minowe [38].



Ilustracja 27. Śmigłowiec Mil Mi-8

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mil\\_Mi-8#/media/File:Mil\\_Mi-8\\_HIP.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Mil_Mi-8#/media/File:Mil_Mi-8_HIP.png)

*Charakterystyka i osiągi:*

- załoga: 3 (pilot, drugi pilot, inżynier pokładowy),
- pojemność/nośność: 24 pasażerów lub 12 szt. noszy i fotel dla sanitariusza, lub 4000 kg (8800 lb) ładunku na wewnętrznych/zewnętrznych węzłach uzbrojenia,
- długość: 18,4 m (60 ft 4 in),
- wysokość: 5,5 m (18 ft 1 in),
- masa własna pustego śmigłowca: 7100 kg (15 653 lb),
- masa brutto: 11 100 kg (24 471 lb),
- maksymalna masa startowa: 13 000 kg (28 660 lb),
- pojemność zbiornika paliwa: 3700 l (980 US gal, 810 imp gal),
- zespół napędowy: 2 silniki turbowalowe Klimov TV3-117MT, o mocy 1 454 kW (1 950 KM) każdy,
- średnica głównego wirnika: 21,29 m (69 ft 10 in),
- powierzchnia pracy głównego wirnika: 356 m<sup>2</sup>(3 830 ft<sup>2</sup>),
- profil płata: NACA 23012,



Ilustracja 28. Kokpit śmigłowca Mil Mi-8

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mil\\_Mi-8#/media/](https://en.wikipedia.org/wiki/Mil_Mi-8#/media/)

- prędkość maksymalna: 250 km/godz. (160 mph, 130 kn),
- prędkość przelotowa: 240 km/godz. (150 mph, 130 kn),
- zasięg: 495 km (308 mil, 267 NM),
- zasięg maksymalny: 960 km (600 mil, 520 NM),
- pułap maksymalny: 5000 m (16 000 ft) [38].





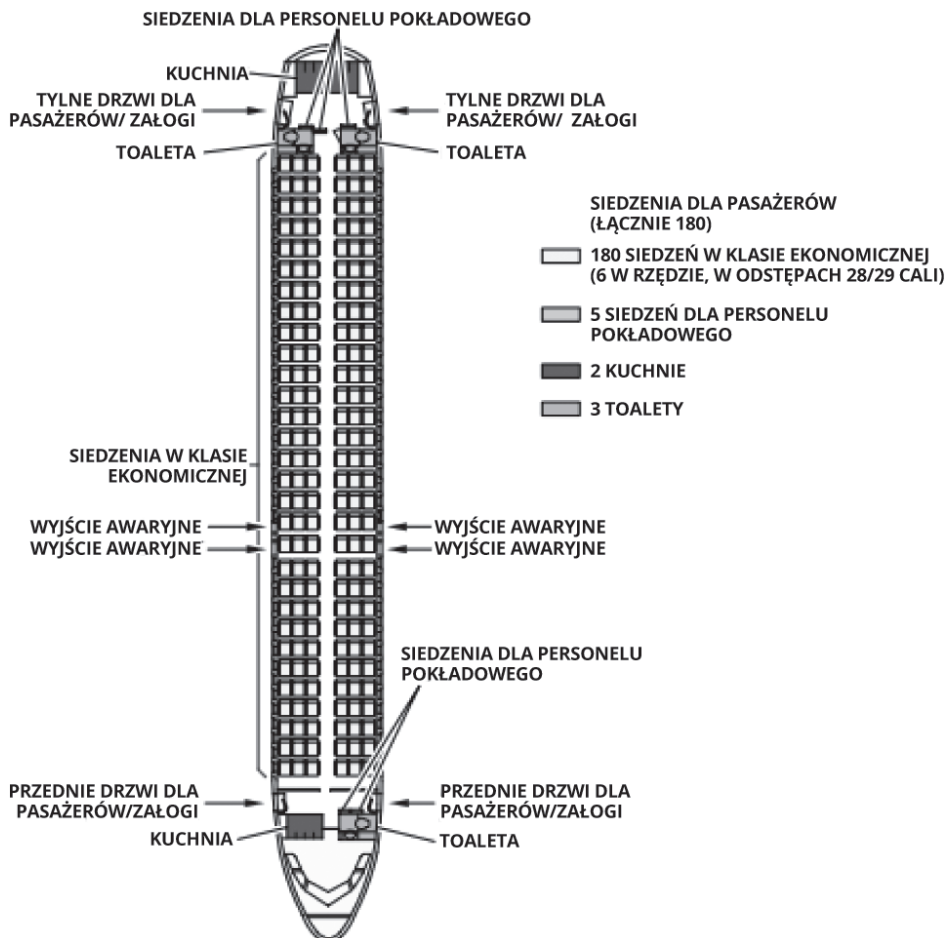
# UKŁAD KABINY PASAŻERSKIEJ WE WSPÓŁCZESNYCH SAMOLOTACH I ŚMIGŁOWCACH

## 5.1. UKŁAD KABINY PASAŻERSKIEJ W SAMOLOCIE AIRBUS A320

Komfort pasażerów to jeden z priorytetów firmy Airbus. Kabiny w samolotach Airbus zaprojektowano z myślą o zapewnieniu odpowiedniego poziomu wygody, warunków obsługi i atmosfery gwarantujących najlepsze doświadczenia dla klientów i optymalne możliwości komercyjne dla linii lotniczych. Kabiny pasażerskie Airbus, pełne innowacyjnych i atrakcyjnych rozwiązań, są stale modernizowane i doskonalone, by stwarzać najbardziej komfortowe i najprzyjemniejsze warunki podróżowania, dziś i w przyszłości [47].

Środowisko we wnętrzu samolotów Airbus należy do najbezpieczniejszych w branży, dzięki systemom filtracji powietrza zapewniającym najwyższy poziom jakości powietrza w kokpicie i kabinie pasażerskiej. Stanowią one element ogólnego systemu kontroli środowiska w kabinie (*Environment Control System, ECS*), który reguluje i monitoruje wilgotność, temperaturę oraz ciśnienie wewnątrz samolotu, a także zapewnia stały ruch powietrza w kabinie. Powietrze przepływa z góry w dół i następnie usuwane jest przez podłogę. Przepływ jest zoptymalizowany w taki sposób, by zapobiec przemieszczaniu się powietrza wzdłuż kabiny, pomiędzy sąsiadującymi rzędami siedzeń.

Dodatkowo podczas lotu do samolotu stale dostarczane jest powietrze z zewnątrz. Kiedy świeże powietrze wpływa do kabiny, taka sama ilość zużytego powietrza jest z niej usuwana przez specjalne zawory ciśnieniowe. Dzięki temu całe powietrze w kabinie wymieniane jest co dwie–trzy minuty.



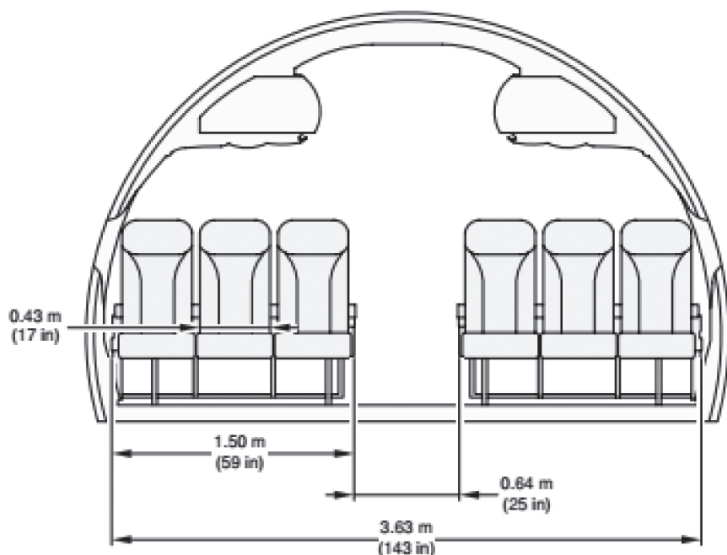
Ilustracja 29. Układ kabiny samolotu Airbus A320 – typowa konfiguracja – 1 klasa, duże zagęszczenie

Źródło: Airbus 320 aircraft characteristics airport and maintenance planning

Airbus był pierwszym producentem, który wprowadził kolorowe oświetlenie kabiny jako wyposażenie fabryczne samolotów komercyjnych. Dziś dostępne jest ono we wszystkich typach maszyn tego wytwórcy. Rozwiązanie to pozwala liniom lotniczym odpowiednio dostosowywać oświetlenie w kabinie pasażerskiej, by tworzyć atmosferę zgodną z wizerunkiem i kolorystyką danego przewoźnika, dając możliwość wyboru z palety 16 milionów kolorów.

Wprowadzony przez firmę Airbus w 2016 r. innowacyjny typ kabiny – o nazwie Airspace – został zaprojektowany z myślą o komforcie pasażerów i potrzebach

linii lotniczych. Opiera się na czterech filarach: wygodzie, atmosferze, obsłudze i wystroju.

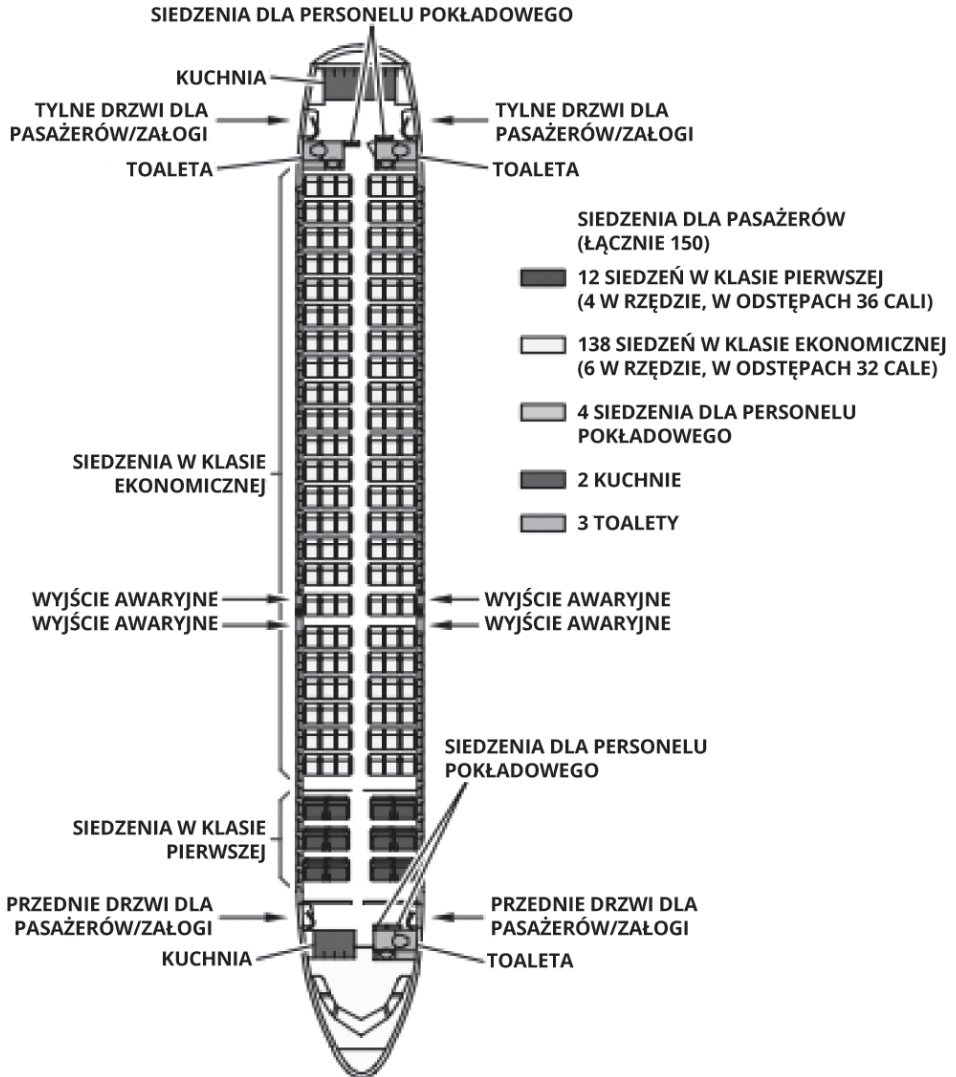


Ilustracja 30. Przekrój kabiny samolotu Airbus A320 – klasa ekonomiczna, 6 siedzeń w rzędzie – szersze przejście

Źródło: Airbus 320 aircraft characteristics airport and maintenance planning

Charakterystyczne elementy wystroju widoczne we wszystkich kabinach Airspace to przede wszystkim zwiększona przestrzeń osobista, powiększone górne schowki na bagaż podręczny, więcej miejsca na nogi pod siedzeniem czy przestronne, nowoczesnie zaprojektowane toalety. Inne ważne wyróżniki to dodatkowe opcje systemu rozrywki pokładowej, zindywidualizowana strefa powitalna, wykorzystanie oświetlenia LED, plus proste linie, nowoczesne kształty i jasne powierzchnie w całym wnętrzu.

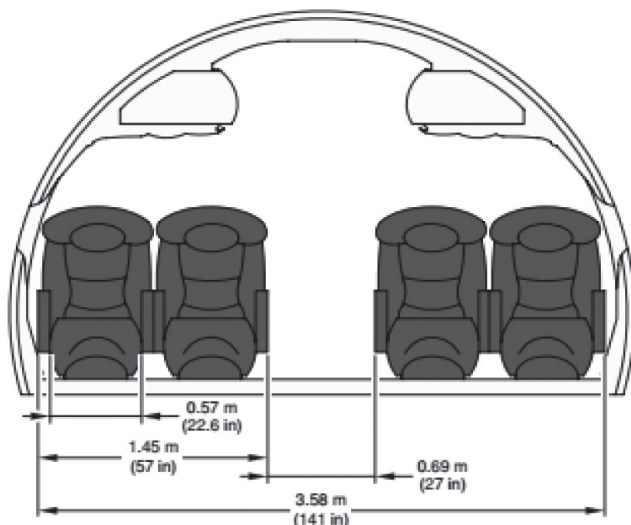
Cechy istotne z punktu widzenia linii lotniczych to nowe opcje rozwiązań w kuchniach i toaletach, dopasowane do indywidualnych wymagań, a także umożliwiające lepsze wykorzystanie przestrzeni, takie jak Space-Flex w kuchniach lub toalety dostosowane dla wózków inwalidzkich [47].



Ilustracja 31. Układ kabiny samolotu Airbus A320 – typowa konfiguracja – dwie klasy

Źródło: Airbus 320 aircraft characteristics airport and maintenance planning

4 SIEDZENIA W RZĘDZIE – PIERWSZA KLASA



Ilustracja 32. Przekrój kabiny samolotu Airbus A320 – klasa business, 4 siedzenia w rzędzie

Źródło: Airbus 320 aircraft characteristics airport and maintenance planning

## 5.2. UKŁAD KABINY PASAŻERSKIEJ W ŚMIGŁOWCU MIL MI-8

### 5.2.1. Konfiguracja ratownicza

W konfiguracji ratowniczej na pokładzie śmigłowca znajduje się sprzęt medyczny, poszukiwawczy i ratunkowy, a także wyznaczone stanowiska dla ratowników, personelu medycznego i pacjentów. Konfiguracja ta umożliwia prowadzenie działań ratunkowych, ewakuację ofiar oraz świadczenie doraźnej pomocy medycznej w kabinie śmigłowca.

Realizacja działań ratunkowych jest możliwa dzięki wykorzystaniu następującego wyposażenia zainstalowanego na pokładzie śmigłowca:

1. okulary noktowizyjne i odpowiednio przystosowany kokpit,
2. system kamer termowizyjnych (FLIR),
3. reflektor poszukiwawczy wspomagany systemem termowizji,
4. wzmocniona wciągarka ratunkowa (wytrzymująca obciążenie 2 osób),
5. urządzenie zjazdowe (RD).



Ilustracja 33. Ewakuacja ofiary zdarzenia

Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-search-and-rescue>

Operacje ratunkowe wymagają współdziałania załogi śmigłowca z grupą specjalistów – operatorem systemu FLIR oraz ratownikami przeszkolonymi do pracy w okularach noktowizyjnych, zjeżdżania po linie, wciągania ofiar na pokład śmigłowca oraz wykorzystywania innych urządzeń specjalistycznych [44].



Ilustracja 34. Konfiguracja ratownicza

Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-search-and-rescue>

### *System obserwacji FLIR*

System FLIR umożliwia:

- wykrywanie i identyfikację obiektów,
- dokonywanie ilościowej i jakościowej oceny obiektów, tj. ich współrzędnych, ustawień, odległości, wielkości, prędkości przemieszczania, rozkładu temperatur itd.,
- prowadzenie długotrwałej obserwacji urządzeń naziemnych w ciągu dnia i w nocy,
- rejestrowanie i archiwizację danych fotograficznych i wideo.



Ilustracja 35. System FLIR

Źródło: <https://ukrcopcopter.com/en/page-search-and-rescue>

Optoelektroniczny system obserwacji umożliwia prowadzenie działań ratunkowych w ciągu dnia i w nocy, z wykorzystaniem kamer dziennych i nocnych (na podczerwień). Ofiarę można dostrzec z odległości 10,1 km (5,45 mili), a zidentyfikować – z odległości 2,2 km (1,19 mili). Z kolei pojazd można zauważyć z odległości 17 km (9,18 mili), a w pełni zidentyfikować – z odległości 4,9 km (2,65 mili). Ponadto monitory znajdujące się w kokpicie i kabine pasażerskiej wyświetlają ilościowe i jakościowe parametry obiektu: współrzędne, odległość, wielkość, prędkość, rozkład temperatur itp. [44].





Ilustracja 36. Optoelektroniczny system obserwacji  
Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-search-and-rescue>

### *Reflektor poszukiwawczy*

Łatwy w obsłudze reflektor poszukiwawczy (szperacz) emitujący skupiony promień jasnego światła ułatwia przeszukiwanie krytycznych lokalizacji w obszarach prowadzenia operacji ratunkowych lub ocenę terenu w przypadku awaryjnego lądowania. Reflektor dostosowany jest do użycia w akcji łącznie z okularami noktowizyjnymi oraz optoelektronicznym systemem obserwacji FLIR. Zasięg działania: 1 km w trybie normalnym i 1,8 km w trybie podczerwieni [44].



Ilustracja 37. Reflektor poszukiwawczy  
Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-search-and-rescue>

### *Wzmocniona wciągarka ratownicza*

Wciągarka może być wykorzystywana do załadunku i wyładunku towarów, jak również do podnoszenia i opuszczania ludzi, kiedy śmigłowiec pozostaje zawieszony na wysokości do 80 m nad ziemią. Wciągarka może podnieść ładunek o ciężarze równym wadze dwóch osób. Jej nominalna nośność wynosi 272 kg, a kabel rozwijany jest z prędkością 1,8 m/s.



Ilustracja 38. Wciągarka ratownicza

Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-search-and-rescue>

### *Urządzenie do zjazdu po linie*

Urządzenie zjazdowe pozwala opuszczać ludzi oraz ładunki z zawieszzonego śmigłowca na ziemię w sytuacjach, kiedy lądowanie nie jest możliwe. Przy pomocy tego urządzenia można w sposób kontrolowany opuścić ratownika lub ładunek o masie do 100 kg, z prędkością 3 m/s [44].



Ilustracja 39. Urządzenie do zjazdu na linie

Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-search-and-rescue>

### 5.2.2. Konfiguracja przystosowana do lotniczej ewakuacji medycznej

Załoga śmigłowca i ambulansu lotniczego jest gotowa do przeprowadzenia ewakuacji medycznej 24 godz. na dobę, 7 dni w tygodniu. Działanie to polega na świadczeniu niezbędnej pomocy medycznej i podtrzymywaniu życia ofiar nagłych zdarzeń oraz innych pacjentów, przeprowadzeniu skutecznej ewakuacji z miejsca zdarzenia i zapewnieniu transportu do właściwych ośrodków medycznych.



Ilustracja 40. Lotnicza ewakuacja medyczna

Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-aeromedical-evacuation>

*Konfiguracja przystosowana do lotniczej ewakuacji medycznej obejmuje następujące elementy:*

- w pełni wyposażony nowoczesny moduł medyczny,
- nosze dla pacjentów transportowanych w pozycji leżącej (3–6 szt.).

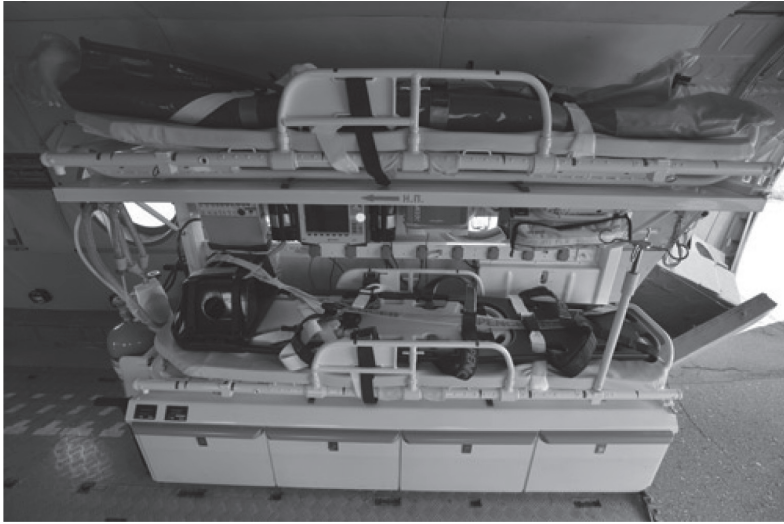


Ilustracja 41. Konfiguracja przystosowana do lotniczej ewakuacji medycznej

Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-aeromedical-evacuation>

Dodatkowo na pokładzie śmigłowca znajduje się dwóch specjalistów medycznych – lekarzy lub ratowników – przeszkolonych do pracy w warunkach dziennych i nocnych, z wykorzystaniem okularów noktowizyjnych.

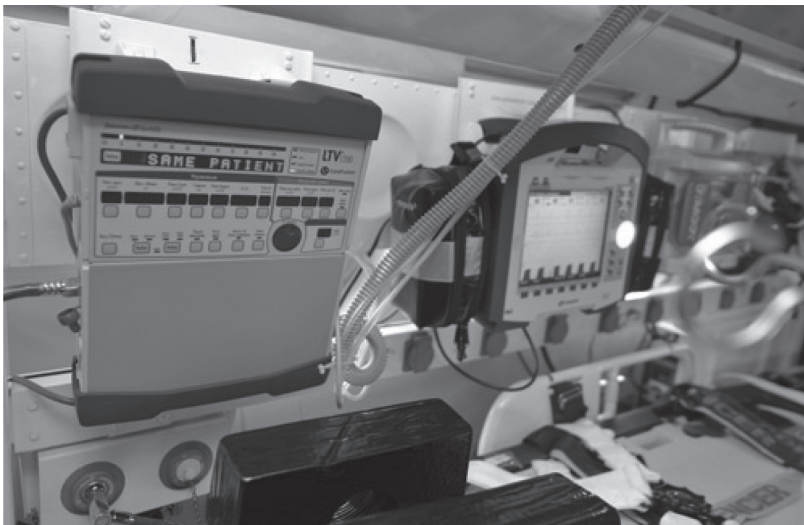
Układ modułu medycznego umożliwia transport i zapewnienie odpowiedniej opieki medycznej dla dwóch pacjentów w pozycji leżącej. Wyposażenie modułu obejmuje respirator, defibrylator, monitory, aspiratory, elektrokardiograf, pompę infuzyjną oraz inne specjalistyczne urządzenia medyczne wytwarzane przez czołowych producentów.



Ilustracja 42. Moduł medyczny

Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-aeromedical-evacuation>

Informacja o stanie pacjenta rejestrowana jest przez połączony z respiratorem system monitorowania i defibrylacji. Urządzenia te podłączone są również do satelitarnego systemu komunikacyjnego, który umożliwia przekazywanie danych do ośrodków naziemnych w czasie rzeczywistym.



Ilustracja 43. Respirator połączony z systemem monitorowania i defibrylacji

Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-aeromedical-evacuation>

Sygnał wideo może być transmitowany bezpośrednio z kamer zainstalowanych na pokładzie. W skomplikowanych przypadkach możliwe jest zorganizowanie w czasie rzeczywistym telekonferencji z udziałem specjalistów, by przeprowadzić potrzebne analizy medyczne, uzyskać właściwą diagnozę i podjąć decyzję na temat dalszych działań oraz metod leczenia rannych pacjentów [41].

### 5.2.3. Konfiguracja do przewozu pasażerów

Bezpieczeństwo lotu i wygodność to najważniejsze kwestie dla naszych pasażerów. W zależności od przeznaczenia i rodzaju zadań konfiguracja pasażerska może obejmować: 16 foteli ustawionych przodem do kierunku lotu (15 pasażerów i stacja obsługi systemu FLIR), zapewniających wygodny przelot, i oddzielny przedział bagażowy o ładowności 320 kg, umieszczony z tyłu kabiny, lub też 19 składanych siedzeń i stację obsługi systemu FLIR.



Ilustracja 44. Konfiguracja kabiny do przewozu pasażerów

Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-passenger>

- liczba pasażerów: 16–19 osób,
- maksymalna waga bagażu w luku bagażowym: 320 kg,
- bagaż podręczny na pasażera: 5 kg,
- typy siedzeń: fotele ustawione zgodnie z kierunkiem lotu lub składane siedzenia.

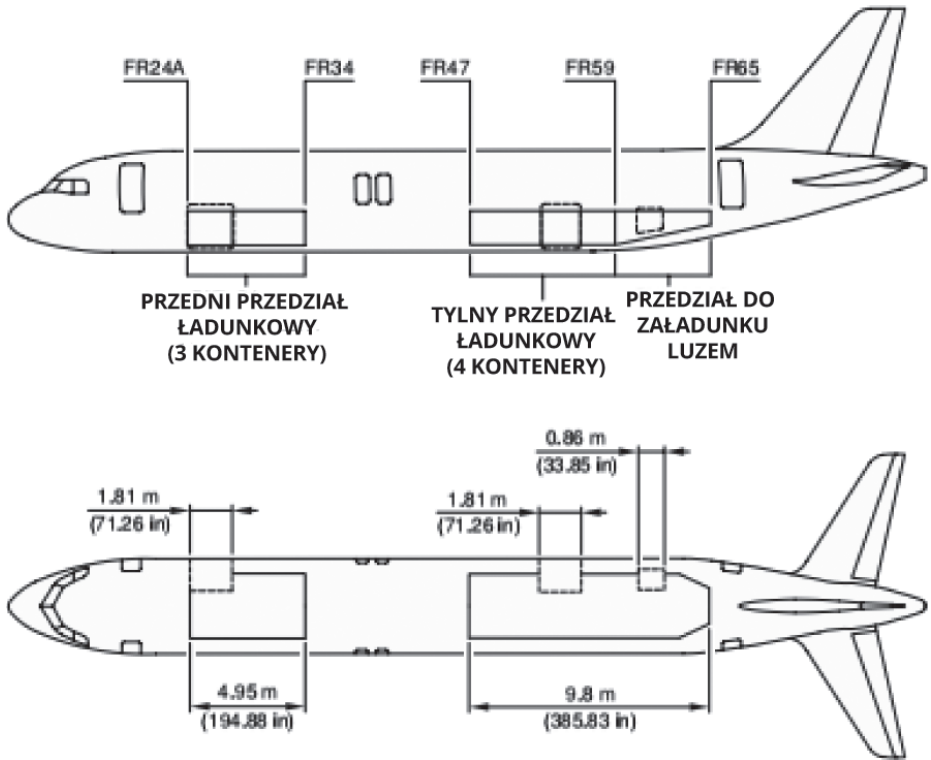
Wszystkie siedzenia pasażerskie wyposażone są w pasy bezpieczeństwa, butle z tlenem i dźwiękoszczelne zestawy słuchawkowe [43].

# UKŁAD PRZEDZIAŁÓW ŁADUNKOWYCH WE WSPÓŁCZESNYCH SAMOLOTACH I ŚMIGŁOWCACH

## 6.1. UKŁAD PRZEDZIAŁÓW ŁADUNKOWYCH W SAMOLOCIE PASAŻERSKIM AIRBUS A320

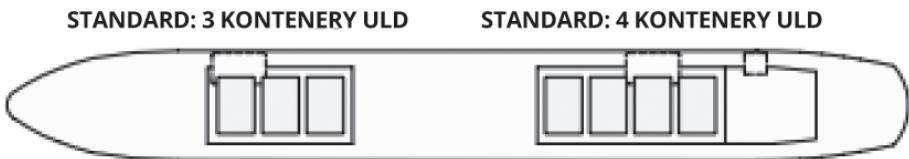
Przedziały ładunkowe samolotu Airbus A 320-214 znajdują się w dolnej części kadłuba, pod kabiną pasażerską. Jeden z tych przedziałów umieszczony jest w przedniej (przedział 1), a trzy w tylnej części samolotu (przedziały 3, 4 i 5 – do załadunku luzem). Wszystkie spełniają wymagania FAR, część 25, klasa D. Luki towarowe mają elektrycznie otwierane drzwi, obsługiwane z panelu sterowania umieszczonego bezpośrednio w ich sąsiedztwie. W przypadku awarii zasilania drzwi można otworzyć ręcznie przy pomocy korby. W luku przednim (FWD CMPT 1) oraz dwóch lukach tylnych (AFT CMPT 3/4) zainstalowano półautomatyczne systemy załadunku, obsługiwane jednoosobowo z panelu przy drzwiach, kontrolującego zarówno napęd systemu (PDU), jak i zamki [1].





Ilustracja 45. Położenie i wymiary przedziałów ładunkowych w samolocie Airbus A320

Źródło: Airbus 320 aircraft characteristics airport and maintenance planning



Ilustracja 46. Sposoby załadunku w ładowniach samolotu Airbus A320

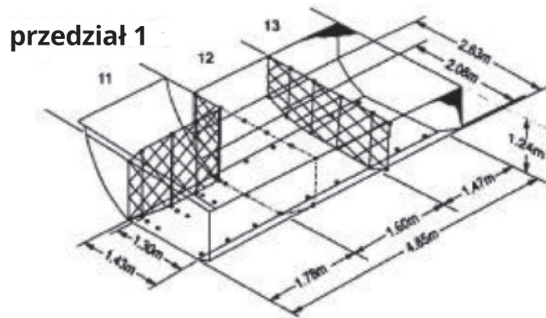
Źródło: Airbus 320 aircraft characteristics airport and maintenance planning

Tabela 8. Możliwości ładunkowe samolotu Airbus A320

ŁADOWNOŚĆ PRZEDZIAŁÓW ŁADUNKOWYCH											
	Luk 1			Luk 2		Luk 3		Luk 4			ŁĄCZNIE
OBJĘTOŚĆ [m <sup>3</sup> ]	13,2			9,7		8,5		5,88			37,28
<b>A320 (załadunek luzem)</b>											
Konstrukcyjny LIMIT WAGI [kg]	3402			2426		2110		1497			9435
Waga maksymalna w poszczególnych strefach [kg]	11 1045	12 1225	13 1132	31 1301	32 1125	41 928	42 1182	51 374	52 353	53 770	
	Nośność podłogi przedziału ładunkowego wynosi <b>732 kg/m<sup>2</sup></b> równomiernie rozłożonego ładunku, przy maksymalnej gęstości 240 kg/m <sup>3</sup>										
<b>A320-214</b>											
Waga maksymalna w poszczególnych strefach [kg]. Maksymalna nośność podłogi	3402			4536				1497			9435
	488 kg/m <sup>2</sup>						732 kg/m <sup>2</sup>				
Liczba kontenerów (objętość 3,6 m <sup>3</sup> )	3			2		2					
Maksymalna waga brutto kontenerów we wszystkich lokalizacjach	1134 kg										

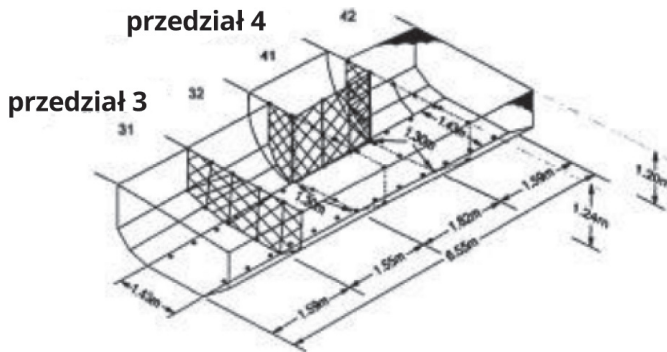
Źródło: A320 Ground Operations Manual: <http://www.fly-car.de/local/media/formulare/airbusindustries.pdf>

Przegroda i siatki oddzielające w każdym z luków muszą być zawsze zamknięte. Dodatkowe mocowanie wymagane jest dla pojedynczych ładunków, które mogą stwarzać zagrożenie ze względu na rodzaj towaru, kształt lub gęstość. Takie ładunki należy zawsze zabezpieczać, mocując do podłogi lub blokując innymi ładunkami. Przedział ładunkowy lub każdy jego segment wypełniony do  $\frac{3}{4}$  wysokości uznaje się za objętościowo pełny. Opakowania o masie przekraczającej 150 kg należy zabezpieczyć lub przymocować do podłogi. Również pojedyncze opakowania należy mocować do podłogi. Mocowanie odbywa się przy pomocy specjalnych taśm lub siatek przyczepionych do punktów mocowania umieszczonych na podłodze ładowni. Każdy z tych punktów ma wytrzymałość 906 kg, w dowolnym kierunku [1]



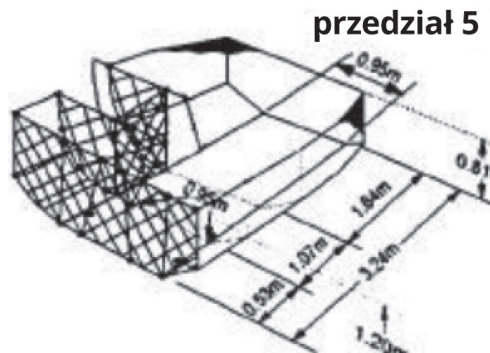
Ilustracja 47. Przedni przedział ładunkowy

Źródło: A320 Ground Operations Manual: <http://www.fly-car.de/local/media/formulare/airbusindustries.pdf>



Ilustracja 48. Tylnie przedziały ładunkowe

Źródło: A320 Ground Operations Manual: <http://www.fly-car.de/local/media/formulare/airbusindustries.pdf>



Ilustracja 49. Przedział do załadunku luzem

Źródło: A320 Ground Operations Manual: <http://www.fly-car.de/local/media/formulare/airbusindustries.pdf>





Ilustracja 51. Transport myśliwca samolotem Antonov An-124  
Źródło: <https://www.aerospace-technology.com/projects/antonov/>



Ilustracja 52. Transport ciężkiego ładunku samolotem Antonov An-124  
Źródło: <https://www.aerospace-technology.com/projects/antonov/>





Ilustracja 54. Projekt startu promu kosmicznego „Buran”: Antonov An-225 jako platforma startowa  
Źródło: <http://www.buran-energia.com/mriya-antonov/mriya-desc.php>



Ilustracja 55. Załadunek śmigłowca do samolotu AN-225  
Źródło: <http://markey.bangordailynews.com/2017/05/15/home/have-you-seen-the-m-o-a-p/>

## 6.4. UKŁAD PRZEDZIAŁÓW ŁADUNKOWYCH W ŚMIGŁOWCU MIL MI-8

Śmigłowce Mil Mi-8 mogą przenosić ładunki o masie do 4 t wewnątrz kabiny lub do 3 t w przypadku ładunku podwieszanego. Kabina pasażerska śmigłowca może zostać szybko przekształcona w luk bagażowy, a specjalny system mocowania zapewnia właściwe zabezpieczenie ładunku.



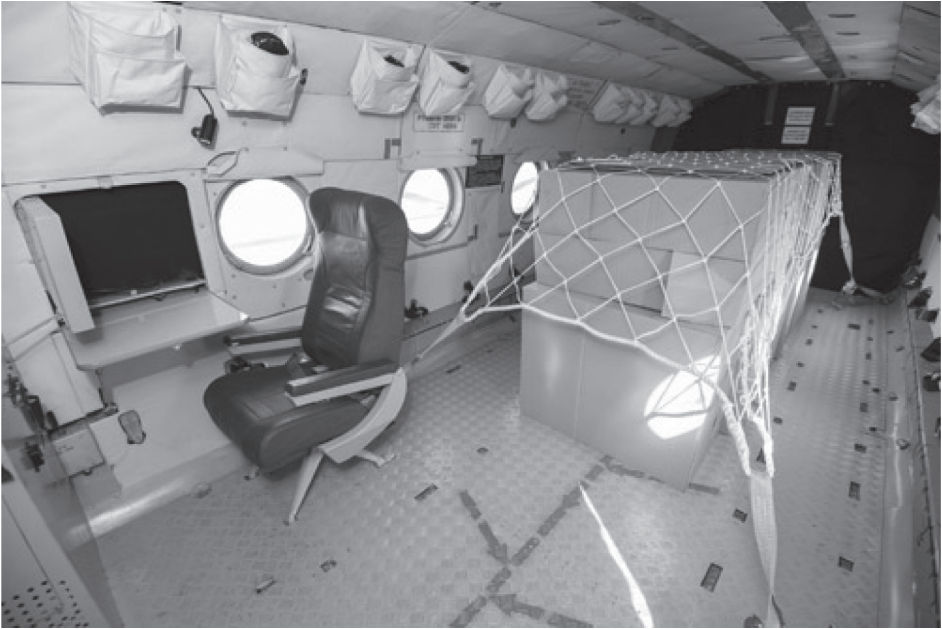
Ilustracja 56. Śmigłowiec Mil Mi-8 z podwieszonym ładunkiem

Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-cargo>

*Wagi i wymiary przedziału bagażowego:*

- wymiary: 5,34 m × 2,32 m,
- maksymalna masa ładunków w kabinie: 4000 kg,
- maksymalna masa podwieszanych ładunków: 3000 kg [42].





Ilustracja 57. Transport ładunku w kabinie śmigłowca Mil Mi-8

Źródło: <https://ukrcopter.com/en/page-cargo>

# PRZYSZŁOŚĆ LOTNICTWA

## 7.1. ELEKTRYCZNE MASZYNY AIRBUS INDUSTRY

Zeroemisyjne lotnictwo jest dziś bliższe rzeczywistości niż kiedykolwiek wcześniej. Napęd elektryczny i hybrydowy stały się technologią rewolucjonizującą kolejne branże i rodzaje transportu, od motoryzacji po transport morski. Lotnictwo nie jest tu żadnym wyjątkiem. Firma Airbus podjęła wyzwanie opracowania, stworzenia i przetestowania przyszłej technologii wykorzystującej napęd elektryczny i hybrydowy, która umożliwi branży lotniczej znaczną redukcję emisji CO<sub>2</sub> w samolotach komercyjnych.

Airbus rozpoczął swoją podróż w stronę elektryczności już w 2010 r., kiedy zbudował pierwszy na świecie w pełni elektryczny czterosilnikowy samolot pokazowy, CriCri. Od tamtej pory Airbus dokonał znaczących postępów w dziedzinie elektryfikacji maszyn latających. W 2015 r. skonstruowany przez firmę elektryczny dwuśmigłowy samolot E-Fan przeleciał nad Kanałem La Manche, a od 2018 r. Airbus testuje jednoosobowy elektryczny samolot demonstracyjny pionowego startu o nazwie Vahana. Z kolei w maju 2019 r. firma zaprezentowała prototyp elektrycznego śmigłowca, przygotowanego do przewozu 4 pasażerów, CityAirbus. Oba te prototypy przechodzą obecnie rygorystyczne testy, które pozwolą zapewnić bezpieczeństwo lotu i zoptymalizować osiągi [48].

E-Fan X, następca modelu E-Fan, który ma 30 razy większą moc od poprzednika, pozwala firmie zgromadzić bezcenną wiedzę na temat seryjnego napędu hybrydowego. Celem działań Airbusa na tym polu jest skomercjalizowanie zeroemisyjnych elektrycznych miejskich maszyn latających, a następnie również dużych samolotów pasażerskich.

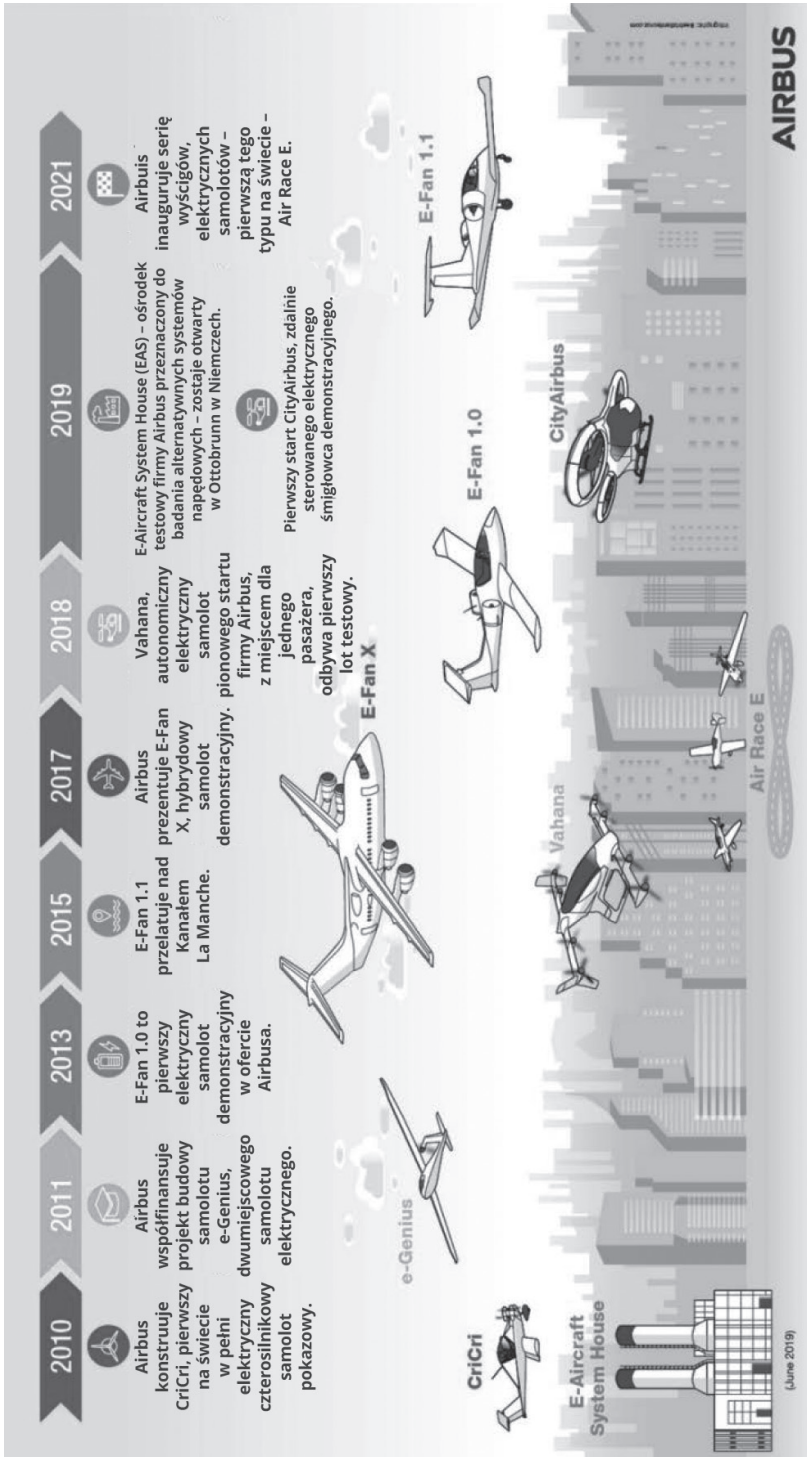


Ilustracja 58. CityAirbus

Źródło: <https://www.airbus.com/innovation/future-technology/electric-flight.html>

W 2008 r. firma Airbus zobowiązała się do realizacji wyznaczonego przez *Air Transport Action Group* (ATAG) celu redukcji emisji CO<sub>2</sub> w branży lotniczej o 50% do 2050 r. (w porównaniu z 2005 r.). Firma zobowiązała się również do współdziałania w realizacji celów klimatycznych wyznaczonych przez porozumienie paryskie. Osiągnięcie tych ambitnych założeń wymaga jednak wprowadzenia zupełnie nowych technologii. Airbus wierzy, że wykorzystanie alternatywnych rodzajów napędu – elektrycznego lub hybrydowego – to jedyne realistyczne rozwiązanie technologiczne, które pozwoli branży lotniczej wykonać zadanie [48].

E-Fan X to jeden z kamieni milowych na drodze Airbusa do dekarbonizacji. Firma niezmiennie dąży do realizacji swoich planów dekarbonizacyjnych i poszukuje alternatywnych rozwiązań technologicznych, które umożliwiłyby jej ich wykonanie już w następnej dekadzie [48].



Ilustracja 59. Osiągnięcia firmy Airbus w dziedzinie rozwoju napędu elektrycznego  
 Źródło: <https://www.airbus.com/innovation/future-technology/electric-flight.html>



Ilustracja 60. E-Fan X

Źródło: <https://www.airbus.com/innovation/future-technology/electric-flight.html>

## 7.2. NADDŹWIĘKOWE SAMOLOTY BIZNESOWE

Stowarzyszenie *General Aviation Manufacturers Association* (GAMA) wyróżnia trzy klasy odrzutowców dla biznesu, określone na podstawie parametrów samolotów i poziomów cen:

- a. lekkie, np. Cirrus SF50, tańsze modele serii Cessna Citation lub Pilatus PC-24,
- b. średniej wielkości: Bombardier Challenger, Cessna Latitude, Embraer Legacy itp.,
- c. duże: rodziny Gulfstream, Bombardier oraz Falcon.

Rynek samolotów biznesowych rozwija się przede wszystkim poza Europą. Spośród wszystkich odrzutowców dla biznesu dostarczonych do klientów w 2018 r. (703 maszyny), o ogólnej wartości 17,8 mld USD, w Europie wyprodukowano jedynie 60 szt., wartych łącznie nieco ponad 3 mld USD. Firma Dassault sprzedała zaledwie 41 samolotów Falcon (spadek z 49 w 2017 r. i 95 w 2010 r.). Być może następcą pierwszego naddźwiękowego samolotu pasażerskiego, Concorde, pojawi się właśnie wśród dużych samolotów odrzutowych dla biznesu.

Perspektywy rozwoju naddźwiękowych samolotów pasażerskich nie są jednak zbyt optymistyczne:

- Huk wywołany przekroczeniem bariery dźwięku (grom dźwiękowy) uniemożliwiałby loty nad lądem, ograniczając ruch jedynie do przelotów nadmorskich, podczas gdy ruch transatlantyki jest relatywnie niewielki, a do lotów transpacyficznych wymagany jest bardzo daleki zasięg.

- Ogólna liczba samolotów (prawdopodobnie kilkaset sztuk) z trudnością pozwalałaby pokryć koszty wyprodukowania naddźwiękowego odrzutowca i specjalnie zaprojektowanego silnika. Pojawienie się naddźwiękowego transportu pasażerskiego byłoby prawdopodobnie możliwe tylko wtedy, gdyby dało się odrzucić czynniki ekonomiczne, a wypromować takie aspekty jak prestiż i wyraźna oszczędność czasu. Ale nawet wówczas naddźwiękowe odrzutowce musiałyby sprostać tym samym wyzwaniom co Concorde. Badania nad gromem dźwiękowym doprowadziły do wydłużenia dzioba samolotu, co pozwoliło opóźnić powstawanie fali uderzeniowej i zmniejszyć skoki ciśnienia. W zależności od wielkości skoków ciśnienia dopuszczalnych na danym terenie loty naddźwiękowe z prędkością 1,5 Macha mogłyby być możliwe również nad lądem, na odpowiedniej wysokości. Do tego konieczne byłoby jednak stworzenie zupełnie nowego silnika.
- Istniejące silniki naddźwiękowe zostały skonstruowane z myślą o samolotach bojowych, wykorzystywanych przez kilkaset godzin w ciągu roku, a ich cykl życia określony jest na ok. 5000 godz.
- W przypadku samolotów cywilnych, które pozostają w locie ok. 3000 godz. w ciągu roku, wytrzymałość silników wojskowych jest w oczywisty sposób niewystarczająca.
- Przekształcenie silnika poddźwiękowego w naddźwiękowy oznaczałoby konieczność niemal całkowitego przeprojektowania, którego koszt mógłby być nieuzasadniony przy tak niszowym rynku. Spośród wszystkich producentów samolotów najlepiej przygotowana do skonstruowania naddźwiękowego odrzutowca dla biznesu wydaje się firma Dassault Aviation, ponieważ:
  - ma wiele lat doświadczenia w produkcji naddźwiękowych samolotów myśliwskich,
  - oferuje pełny asortyment wysokiej klasy odrzutowców dla biznesu,
  - przeprowadziła badania wszystkich najważniejszych elementów konstrukcji naddźwiękowych odrzutowców dla biznesu.

Jednak Dassault nigdy nie przedstawiła propozycji komercyjnego naddźwiękowego odrzutowca, być może dlatego, że nie dysponuje odpowiednią jednostką napędową. Pojawiło się za to kilka start-upów, które zaprezentowały swoje projekty i koncepcje, zarówno samolotów dla biznesu, jak i niewielkich samolotów pasażerskich. Część z nich nigdy nie pokazała nawet prototypu, a ich propozycje zostały zapomniane. Innym udało się zainteresować, a nawet przekonać do współpracy, w różnym zakresie i skali, najważniejszych graczy na rynku, takich jak Airbus, Boeing czy Lockheed [87].

### *Projekty naddźwiękowych odrzutowców biznesowych*

#### *1. Aerion-Airbus*

Konstruktorzy Aerion wrócili w zeszłym roku do swoich desek kreślarskich, by zmienić oryginalny dwusilnikowy samolot w projekt trzysilnikowego odrzutowca AS2 [51].



Ilustracja 61. Aerion-Airbus

Źródło: <https://www.flightglobal.com/m-as-in-mach-seven-supersonic-business-jet-dreams/116792.article>

## 2. Dassault

Projekt Komisji Europejskiej z pierwszej dekady XXI w., badający możliwość skonstruowania „Szybkiego i przyjaznego dla środowiska samolotu” (*Environmentally Friendly High Speed Aircraft*, HISAC), rozpatrywał propozycje firm Dassault, Alenia i Sukhoi. Przedsięwzięcia zakończyło się w 2007 r., ale jedno z jego podstawowych założeń, by latać szybko i oszczędnie, ciągle brzmi atrakcyjnie [51].

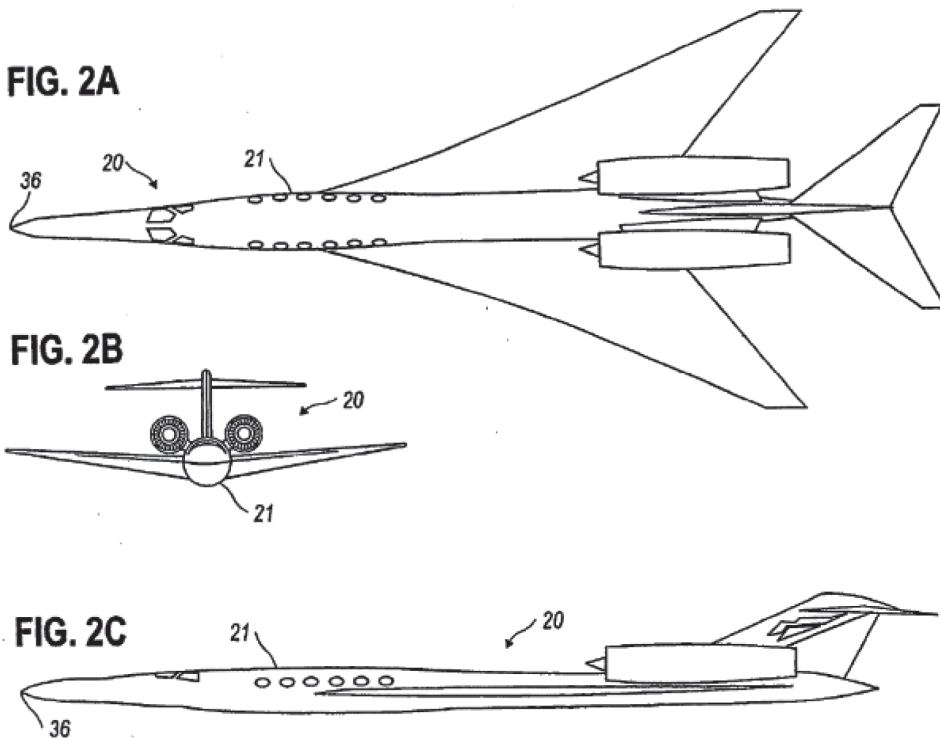


Ilustracja 62. HISAC

Źródło: <https://www.flightglobal.com/m-as-in-mach-seven-supersonic-business-jet-dreams/116792.article>

### 3. Gulfstream

Gulfstream od wielu lat pracuje nad skonstruowaniem samolotu naddźwiękowego. Jeden z projektów firmy został zarejestrowany jako „Whisper Jet” i uzyskał oznaczenie X-54 od US Air Force, choć sam samolot nigdy nie został zbudowany. Poniższy szkic patentowy może stanowić pewną wskazówkę, pokazującą, jak ma wyglądać naddźwiękowa propozycja firmy Gulfstream [51].



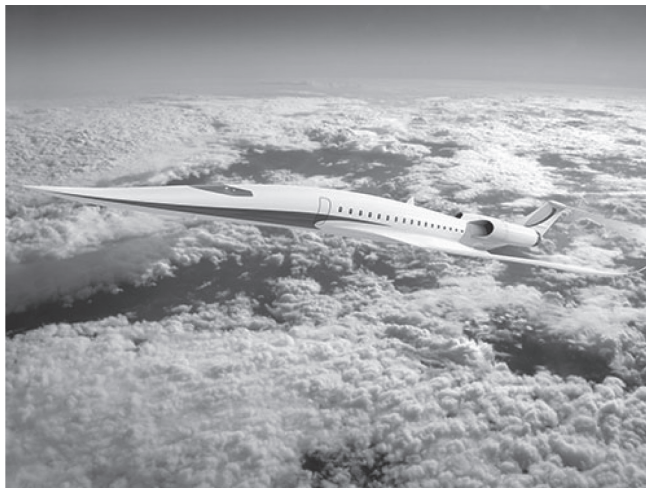
Ilustracja 63. Whisper Jet

Źródło: <https://www.flightglobal.com/m-as-in-mach-seven-supersonic-business-jet-dreams/116792.article>

### 4. JAXA

Japońska Agencja Aerokosmiczna stale poszukuje nowych sposobów na szybki i bezpieczny przelot nad Oceanem Spokojnym. Jednym z nich jest projektowanie i testowanie technologii transportu naddźwiękowego [51].





Ilustracja 64. JAXA

Źródło: <https://www.flightglobal.com/m-as-in-mach-seven-supersonic-business-jet-dreams/116792.article>

## 5. SAI

Jak nazwa wskazuje, celem koncepcji nazwanej Quiet Supersonic Transport (cichy transport naddźwiękowy), przygotowanej na początku XXI w. przez firmę Supersonic Aerospace International, jest, lub raczej było, zbudowanie samolotu naddźwiękowego niewytwarzającego gromu dźwiękowego. Do współpracy w tym projekcie udało się przekonać koncern Lockheed Martin i jego tajne laboratorium, Skunk Works [51].



Ilustracja 65. SAI

Źródło: <https://www.flightglobal.com/m-as-in-mach-seven-supersonic-business-jet-dreams/116792.article>

## 6. Sukhoi

Dwa lata temu firma Sukhoi przedstawiła swój projekt naddźwiękowego odrzutowca dla biznesu podczas pokazów lotniczych MAKS odbywających się pod Moskwą [51].

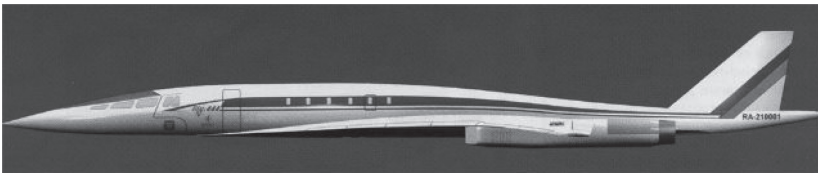


Ilustracja 66. Flightglobal

Źródło: <https://www.flightglobal.com/m-as-in-mach-seven-supersonic-business-jet-dreams/116792.article>

## 7. Tupolev

Firma Tupolev kontynuuje prace nad skonstruowaniem naddźwiękowego odrzutowca dla biznesu, jednak zrezygnowała z rozwijania swojego projektu Tu-444, który przez długi czas prezentowany był na firmowej stronie internetowej [51].



Ilustracja 67. Tu-444

Źródło: <https://www.flightglobal.com/m-as-in-mach-seven-supersonic-business-jet-dreams/116792.article>

### 7.3. TRANSPORT HIPERSONICZNY, SUBORBITALNY I ORBITALNY

Wraz ze wzrostem prędkości coraz bardziej widoczne stają się również inne kwestie:

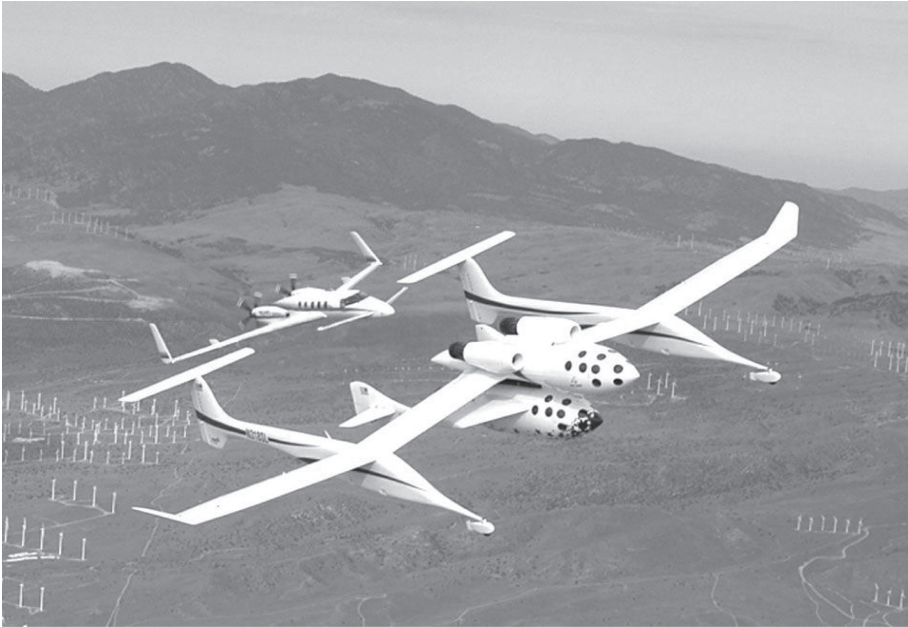
- koszty działania mogą rosnąć szybciej niż prędkość,
- oszczędności czasu w ujęciu bezwzględnym są coraz mniejsze,
- technologie i warunki operacyjne stają się coraz bardziej wymagające.

Kilka słów wyjaśnienia w kwestii skrócenia czasu lotu:

- samoloty śmigłowe we wczesnych latach powojennych potrzebowały ponad 10 godz., by pokonać Atlantyk, czasami wymagając również przerwy na tankowanie,
- pasażerskie odrzutowce, latające bezpośrednio, z dwukrotnie większą prędkością, pozwoliły skrócić czas podróży z 12 do 6 godz., co oznaczało znaczącą oszczędność czasu w ujęciu bezwzględnym (6 godz.),
- latający z prędkością dwa razy większą od prędkości dźwięku Concorde również umożliwił skrócenie podróży przez Atlantyk o połowę, do 3 godz., jednak w ujęciu bezwzględnym była to oszczędność znacznie mniejsza, za to uzyskana znacznym kosztem i wysiłkiem. Znacząca oszczędność czasu, możliwa dzięki osiągnięciu prędkości większej, niż uzyskują współczesne odrzutowce, mogłaby mieć istotne znaczenie w przypadku lotów do bardzo odległych części świata, np. z Europy do Australii, które dziś trwają ok. 20 godz. i wymagają 2 lub 3 przystanków. Następca Concorde'a, latający z dwukrotną prędkością dźwięku mógłby pokonywać tę trasę w ciągu 10 godz. Hipersoniczny samolot, napędzany naddźwiękowym silnikiem strumieniowym pozwalającym osiągnąć prędkość 6 Machów, potrzebowałby na to tylko 3 godz., a w przypadku rakiety wynoszącej na orbitę kapsułę pasażerską taka podróż trwałaby niecałą godzinę. Jednak zapewne nie dałoby się wykonać takiego startu z najbliższego lotniska, co oznaczałoby konieczność wydłużenia czasu dojazdu. Również koszty wzrosłyby znacząco, a dodatkowym problemem mogłyby być wyzwania technologiczne i zdrowie pasażerów. Wszystkie te kwestie będą wymagały rozwiązania, jeśli ludzkość chce kontynuować podróże w przestrzeni [87].

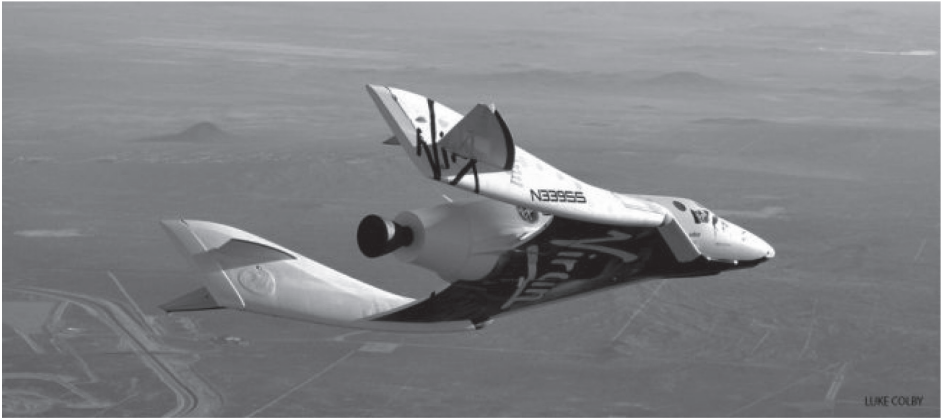
Niestety, żadnego z projektów samolotu hipersonicznego prezentowanych pod koniec XX w. nie udało się zrealizować, zarówno ze względów technicznych, jak i, zwłaszcza, finansowych. Na szczęście po jednej straconej okazji pojawiła się kolejna – zdecydowanie skromniejsza, ale za to charakteryzująca się ogromną różnorodnością pomysłów i zaangażowaniem nowych aktorów, szczególnie nowo powstałych niewielkich przedsiębiorstw i branż, które podeszły do rozwiązania problemów transportu kosmicznego w sposób prosty i elastyczny, przeciwnie do wcześniejszych prób wielkich koncernów.

W konsekwencji, z nadzieją na zyski, otworzyło to drogę do budowy małych statków powietrznych, które mogłyby wykonać opisane zadanie, przewożąc na pokładzie nie tylko pilota, ale również przynajmniej kilku pasażerów. Wielu naukowców włączyło się w rywalizację o tzw. XPrize – nagrodę wysokości 10 000 000 USD, oferowaną przez specjalnie powołaną fundację temu, kto jako pierwszy „skonstruuje statek powietrzny wielokrotnego użytku, który będzie mógł wynieść przynajmniej 3 pasażerów na wysokość 100 km i wykonać przynajmniej dwie tego rodzaju misje w ciągu dwóch tygodni”. Zwycięzcą okazał się Space Ship One, samolot kosmiczny napędzany silnikiem raketowym 2. stopnia, startujący z prędkością poddźwiękową z odrzutowca White Knight One. Autorem projektów obu maszyn był znany projektant Burt Rutan (il. 68) [17].



Ilustracja 68. Space Ship One i White Knight One w locie  
Źródło: <http://scihi.org/spaceshipone-private-spaceship/>

Niedługo później firma przedstawiła większą wersję – Space Ship Two / White Knight Two (il. 69) – przeznaczoną do komercyjnych lotów suborbitalnych. Pojawienie się kolejnych projektów turystycznych samolotów kosmicznych, takich jak XCOR „Lynx” (niewielki, jednostopniowy, napędzany dwiema raketami wydaje się jedynie kwestią czasu.



Ilustracja 69. Space Ship Two

Źródło: <https://www.space.com/19021-spaceshiptwo.html>

O ile w dziedzinie turystyki kosmicznej aktywne są głównie małe i średnie przedsiębiorstwa, o tyle duże koncerny lotnicze i centra badawcze koncentrują się głównie na konstruowaniu technologii demonstracyjnych, systemów przygotowanych do działań tylko częściowo odpowiadających misjom wykonywanym przez statki transatmosferyczne, czyli takich, które będą w stanie powrócić z orbity, na którą jednak muszą zostać wyniesione z poziomu równowagi z atmosferze. Warto w tym miejscu wspomnieć również prototypy pojazdów, które przeszły częściowe testy, takie jak Boeing X37, Dream Chaser (zabierający 7 pasażerów) czy też, zaprojektowany i skonstruowany we Włoszech CIRA USV, pokazany na ilustracji 70 [17].



Ilustracja 70. CIRA USV

Źródło: [https://www.researchgate.net/publication/260782223\\_USV\\_FTB-1\\_REUSABLE\\_VEHICLE\\_AERODATABASE\\_DEVELOPMENT/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/260782223_USV_FTB-1_REUSABLE_VEHICLE_AERODATABASE_DEVELOPMENT/figures?lo=1)

Warto również wspomnieć kilka przykładów gotowych projektów samolotów kosmicznych:

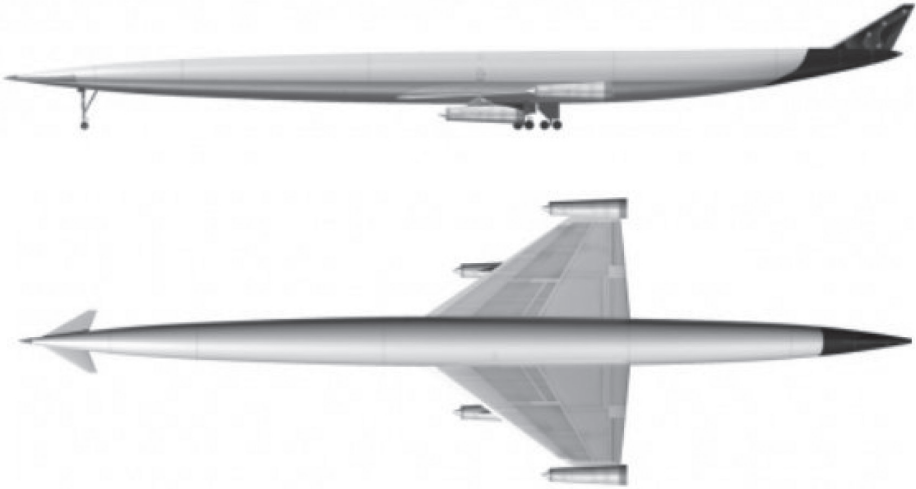
- a. Transportowiec orbitalny o nazwie SKYLON (il. 71), zaprojektowany przez Reaction Engines Ltd, zaprezentowany po zamknięciu programu HOTOL, zachowujący jego najważniejsze technologie. W szczególności firma Reaction Engines dopracowała wcześniejsze silniki RB545 i stworzyła udoskonalony silnik SABRE (o charakterystyce podobnej do RB545, lecz o znacznie mniejszym zużyciu paliwa). Jednostopniowy statek orbitalny SKYLON jest oparty na projekcie HOTOL, lecz wyposażony w silniki SABRE i z nieco inną strukturą, która stabilizuje środek ciężkości pojazdu, zmniejszając tym samym zużycie paliwa, które było bardzo istotną wadą HOTOL. Reaction Engines podchodzi do projektu z optymizmem i planuje zbudowanie prototypu pojazdu [17].



Ilustracja 71. SKYLON

Źródło: <https://www.universetoday.com/143810/skylons-sabre-engine-passes-a-big-test/>

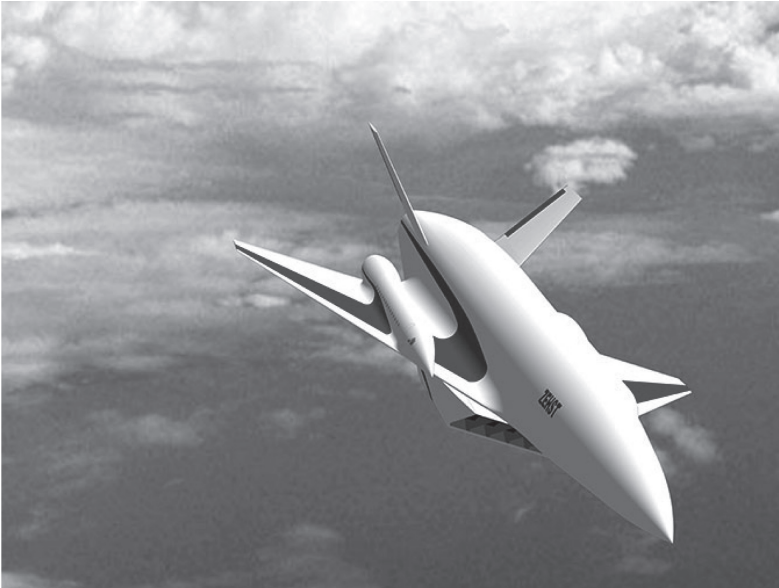
- b. Projekt LAPCAT A2 (il. 72) to samolot pasażerski (do 300 miejsc), operujący z prędkością 5 Machów, o „antypodalnym” zasięgu. Jego autorem jest również firma Reaction Engines Ltd, a jego konstrukcja przypomina SKYLON. Jest napędzany czterema silnikami SCIMITAR, opartymi na silnikach SABRE, o funkcjonalności ograniczonej do poziomu silnika przelotowego [17].



Ilustracja 72. LAPCAT A2

Źródło: [https://www.researchgate.net/publication/332275419\\_Sizing\\_of\\_Conceptual\\_Hypersonic\\_Long-Range\\_Transport\\_Aircraft\\_using\\_a\\_Multi-Disciplinary\\_Optimisation\\_Strategy/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/332275419_Sizing_of_Conceptual_Hypersonic_Long-Range_Transport_Aircraft_using_a_Multi-Disciplinary_Optimisation_Strategy/figures?lo=1)

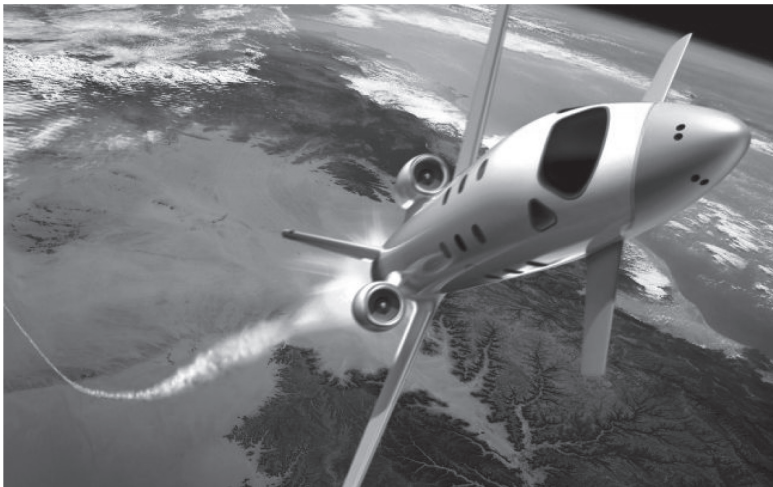
- c. Projekt ZEHST – Zero Emission Hyper Sonic Transport (zeroemisyjny transporter hipersoniczny) (il. 73) to projekt koncernu EADS. Pojazd przystosowany ma być do transportu pasażerów (do 60 osób) z wykorzystaniem, kolejno, trzech rodzajów silników – turbowentylatorowych napędzanych biopaliwem w poddźwiękowej fazie lotu na wysokościach poniżej 10 km, raketowych, napędzanych paliwem LOX i LH2 do zwiększenia prędkości i uruchomienia trzeciego typu silników – strumieniowych (napędzanych paliwem LH2), wykorzystywanych w naddźwiękowej fazie lotu [17].



Ilustracja 73. ZEHST – Zero Emissions Hyper Sonic Transport

Źródło: [https://ec.europa.eu/research/innovation-union/ic2014/index\\_en.cfm?pg=showcase10](https://ec.europa.eu/research/innovation-union/ic2014/index_en.cfm?pg=showcase10)

- d. Grupa EADS przedstawiła również projekt suborbitalnego pojazdu turystycznego (il. 74), którego realizacja jest znacznie bardziej prawdopodobna [17].



Ilustracja 74. Artystyczna wizja „kosmicznego odrzutowca” firmy EADS startującego w przestrzeń okołozemską

Źródło: <https://www.space.com/24901-europe-space-plane-drop-test.html>





MODUŁ 2

# SYSTEM ŻEGLUGI POWIETRZNEJ



## PODSTAWY SYSTEMU ŻEGLUGI POWIETRZNEJ

Działanie systemu transportu lotniczego jest w ogromnej mierze uzależnione od wykorzystania odpowiednich metod nawigacji i pozycjonowania w przestrzeni. System transportowy obejmuje przemieszczanie lub przekazywanie materialnych i niematerialnych (np. informacji) obiektów i elementów w przestrzeni. Przestrzeń tę zazwyczaj definiuje się na podstawie pewnych charakterystycznych parametrów. Niektóre z cech przestrzeni możemy wykorzystać również do określenia lokalizacji danego obiektu. Na przykład ciśnienie statyczne służy do wyznaczenia bezwzględnej wysokości danego obiektu. W tym przypadku gęstość powietrza to parametr przestrzeni, który pozwala określić pozycję w odniesieniu do poziomu morza.

Nawigacja to bardzo ważny element ruchu obiektów. Definiujemy ją jako przemieszczanie się pomiędzy dwoma punktami w przestrzeni. W zależności od typu środowiska i cech samego obiektu wyróżniamy kilka typów nawigacji: powietrzną, kosmiczną, morską, podwodną, naziemną, podziemną, informacyjną, biologiczną i inne. Ponadto w zależności od wykorzystywanych metod i zasad możemy również mówić o nawigacji astronomicznej, inercyjnej, radiowej czy satelitarnej.

Ogólnie mówiąc, nawigacja powietrzna (lub lotnicza), nazywana również żeglugą powietrzną, to proces przemieszczania statku powietrznego z jednego punktu przestrzeni do innego. W przeszłości wszystkie działania nawigacyjne wykonywane były przez człowieka (pilota), lecz współcześnie nawigacja lotnicza opiera się na wielu regułach i pracy licznych służb. Z dzisiejszej perspektywy nawigacja lotnicza to skomplikowany system planowania, kontroli i kierowania ruchem, którego celem jest zapewnienie bezpieczeństwa transportu lotniczego.

System nawigacji powietrznej tworzą rozmaite służby lotnicze, których zadaniem jest zapewnienie bezpieczeństwa, ciągłości oraz efektywności zarówno urządzeń nawigacyjnych na pokładzie samolotu, jak i naziemnej infrastruktury. Dlatego

obejmuje on cały szereg elementów – organizacje, personel, infrastrukturę, procedury, urządzenia, reguły oraz dane – które wspierają użytkowników przestrzeni powietrznej, gwarantując wymagany poziom bezpieczeństwa, ciągłości oraz efektywności wszystkich działań lotniczych.

Najważniejsze zadania systemu nawigacji lotniczej to:

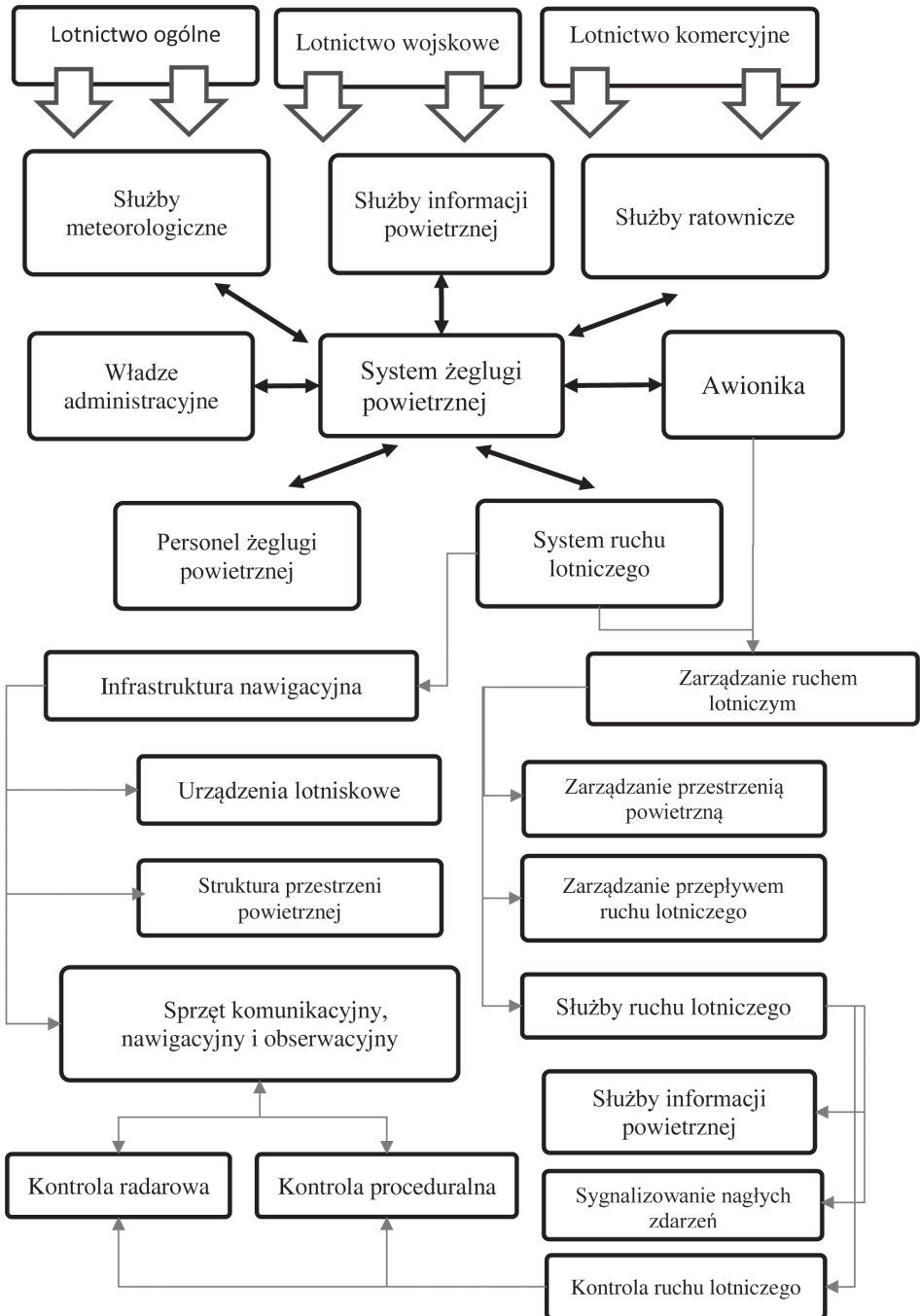
- wyznaczanie trajektorii lotów (krajowych i międzynarodowych korytarzy lotniczych, a także wzorców zachowań statków powietrznych w przestrzeni wokół lotnisk) oraz wymagań związanych z przebiegiem lotu (takich jak bezpieczna wysokość, minimum separacji, wymagania nawigacyjne),
- opracowanie reguł nawigacji, czyli sporządzanie szczegółowych list zachowań pilotów w określonych sytuacjach w czasie lotu (np. zasady ustawiania wysokościomierza barometrycznego czy działania na wypadek utraty łączności lub awarii silnika),
- gromadzenie, przetwarzanie, archiwizacja, usuwanie oraz udostępnianie danych nawigacyjnych,
- wspieranie wstępnych obliczeń nawigacyjnych (kąty i odległości, prędkość względem ziemi, czas lotu, ilość paliwa, bezpieczne wysokości),
- wspieranie pilotów i odpowiednich służb w procesie wymiany koniecznej wiedzy i danych nawigacyjnych,
- obsługa danych w systemach zarządzania lotem i nawigacji, a także w innych automatycznych systemach wykorzystywanych przez służby żeglugi powietrznej.

Działania związane z nawigacją lotniczą wykonywane są przez rozmaite służby. Na przykład projektowanie przestrzeni powietrznej dla standardowego startu i lądowania według przyrządów to zadanie instytucji i organów zapewniających służby żeglugi powietrznej; obsługa cyfrowych danych nawigacyjnych jest rolą specjalistów IT; kontrolerzy ruchu lotniczego mogą pełnić funkcje bezpośrednio związane z kontrolą (np. wydając instrukcje dla pilotów), ale również wspierać działanie służb informacyjnych (przekazując pilotom dane NOTAM).

Strukturalny schemat typowego systemu żeglugi powietrznej został przedstawiony na ilustracji 75.

Jednym z ważnych zadań metrologii jest wyznaczanie pozycji obiektów w przestrzeni. Pozycjonowanie to proces określania położenia danego obiektu. Dla celów pozycjonowania w przestrzeni wprowadza się określony parametr, który jest stały w pewnym punkcie. W takim przypadku pozycjonowanie oznacza wyznaczenie wartości określonych parametrów, najczęściej odległości, względem stałego punktu odniesienia.

Pozycjonowanie w przestrzeni odbywa się poprzez pomiar określonych cech lub elementów, które pojawiają się w wyniku rozmaitych błędów. Uzyskany wynik pomiaru różni się od rzeczywistości o wielkość składowej losowej. Zakres błędów w pozycjonowaniu ustala się zazwyczaj przy pomocy tzw. granic ufności (ang. *confidence bands*), wyznaczających z określonym prawdopodobieństwem konkretny obszar przestrzeni, w którym znajduje się obiekt. Następnie, wykorzystując metody statystyki matematycznej, ustala się zakres stref ufności (*confidence zones*) lub bada się zależności analityczne, co zazwyczaj pozwala ustalić wpływ błędów sprzętu dokonującego pomiarów cech przestrzeni na ogólny błąd w pozycjonowaniu.



Ilustracja 75. System żeglugi powietrznej

Źródło: Opracowanie własne

## URZĄDZENIA DOZOROWANIA W SYSTEMIE ŻEGLUGI POWIETRZNEJ

Bezpieczne zarządzanie ruchem lotniczym zależy od zachowania bezpiecznych minimów separacji i ścisłego przestrzegania zasad przez wszystkich użytkowników przestrzeni powietrznej. W nawigacji lotniczej sprzęt dozorowania (nadzoru) wykorzystywany jest jako wsparcie działań kontroli lotów (ATC). Urządzenia dozorowania dostarczają służbom ATC informacji na temat bieżących lokalizacji użytkowników przestrzeni powietrznej.

Dynamiczny rozwój systemów dozorowania rozpoczął się w okresie II wojny światowej. Ogólnie urządzenia dozorowania dzielimy na zależne i niezależne. Niezależne urządzenia dozorowania wykorzystują czujniki znajdujące się na powierzchni Ziemi, by określić położenie użytkownika przestrzeni powietrznej bezpośrednio w systemie (lub wyznaczyć położenie użytkownika przestrzeni powietrznej z urządzeń naziemnych). Dozorowanie zależne oznacza pomiar lokalizacji użytkownika przestrzeni powietrznej dokonywany z pokładu statku powietrznego, a następnie udostępnienie tej informacji do urządzeń naziemnych służby kontroli lotów. W tym drugim przypadku określenie położenia użytkownika przestrzeni powietrznej zależy od działania pokładowego systemu pozycjonowania.

Dozorowanie niezależne oparte jest na wykorzystaniu różnego rodzaju radarów [60]: pierwotnych radarów dozorowania (PSR), wtórnych radarów dozorowania (SSR) oraz radarów pasywnych. Termin „radar” został wprowadzony po raz pierwszy w 1940 r. przez amerykańską marynarkę wojenną jako skrót od angielskiego określenia *Radio Detection And Ranging* (radiowe wykrywanie i namierzanie).



Służby kontroli ruchu lotniczego wykorzystują radary do:

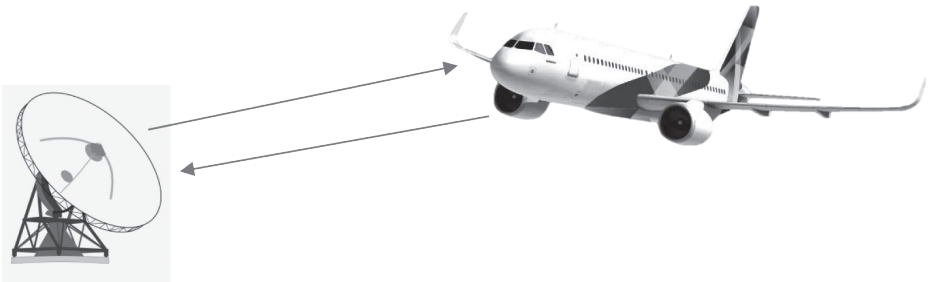
- monitorowania ruchu i pozycji statków powietrznych podczas przelotu w korytarzach, w strefach kontrolnych oraz w pobliżu lotnisk i zmiany kierunku ich lotu (wektorowania) w razie potrzeby,
- prowadzenia komunikacji radarowej na danej drodze startowej (w przypadku podejścia z użyciem radarów, np. *Surveillance Radar Approach* (SRA) lub wojskowego *Precision Approach Radar*),
- kontrolowania i monitorowania samolotów w przypadku awarii systemu ILS lub podczas podejścia na przyrządach,
- dostarczania informacji meteorologicznych, np. o chmurach burzowych.

## 9.1. PIERWOTNE RADARY DOZOROWANIA

Działanie pierwotnych radarów dozorowania (*Primary Surveillance Radars*, PSR) opiera się na wykorzystaniu fal radiowych do pomiarów odległości. Antena systemu PSR transmituje sygnały radiowe i odbiera fale odbite przez cele znajdujące się w monitorowanym obszarze (il. 76). Obiekty metalowe, takie jak samolot, odbijają część fal elektromagnetycznych w przeciwnym kierunku. Natężenie fali odbitej jest opisywane przez współczynnik przekroju, który zależy od kąta ustawienia badającego obiektu [89, 91]. Radar mierzy czas pomiędzy wysłaniem sygnału i odbiorem odpowiedzi i oblicza odległość do obiektu na podstawie znanej prędkości rozchodzenia się fal radiowych ( $c = 3 \times 10^8$  m/s):

$$d_{PSR} = 0,5 tc,$$

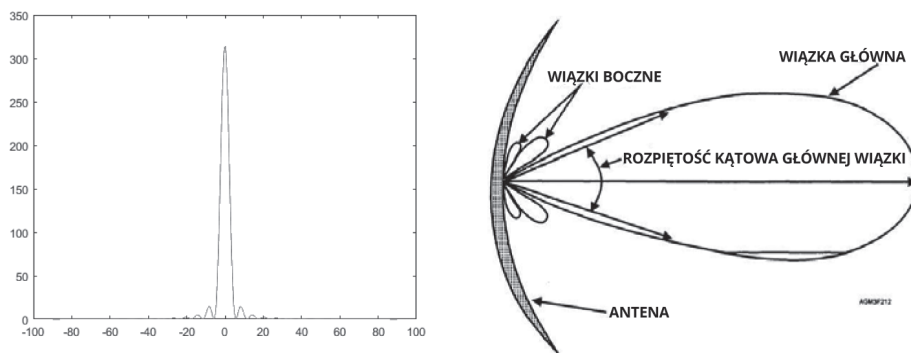
gdzie  $d$  oznacza odległość do obiektu,  $t$  to czas rozchodzenia się fal radiowych, a  $c$  to prędkość rozchodzenia się tych fal.



Ilustracja 76. Pierwotny radar dozorowania

Źródło: Opracowanie własne

Pierwotne radary dozorowania pozwalają również określić azymut danego użytkownika przestrzeni powietrznej. Azymut to kąt pomiędzy kierunkiem północnym a kierunkiem lotu użytkownika. Kąt ten można zmierzyć dzięki charakterystyce kierunkowej anteny radaru. Antena ma bardzo wąski zakres funkcji wzmocnienia (il. 77). Funkcja wzmocnienia oznacza ilość wzmacnianego sygnału odbieranego lub wysyłanego w określonym kierunku. Ze względu na wąski zakres tej funkcji w antenie systemu również zakres transmisji fal radiowych jest bardzo ograniczony i zazwyczaj nie przekracza  $1^\circ$ . Tym samym azymut wykrytego użytkownika przestrzeni powietrznej pokrywa się z kierunkiem anteny.



Ilustracja 77. Funkcja wzmocnienia anteny PSR

Źródło: Opracowanie własne

Azymut i odległość obiektu określają jego położenie w układzie współrzędnych biegunowych. Dane te można następnie z łatwością przełożyć do dowolnego lokalnego lub globalnego systemu współrzędnych na podstawie lokalizacji określonej precyzyjnie przez antenę radaru. Niestety, pierwotne radary dozorowania nie mierzą wysokości obiektu, zatem pozwalają one ustalić współrzędne obiektu tylko na płaszczyźnie poziomej.

Kontrola ruchu lotniczego (ATC) wykorzystuje różnego rodzaju PSR, m.in.:

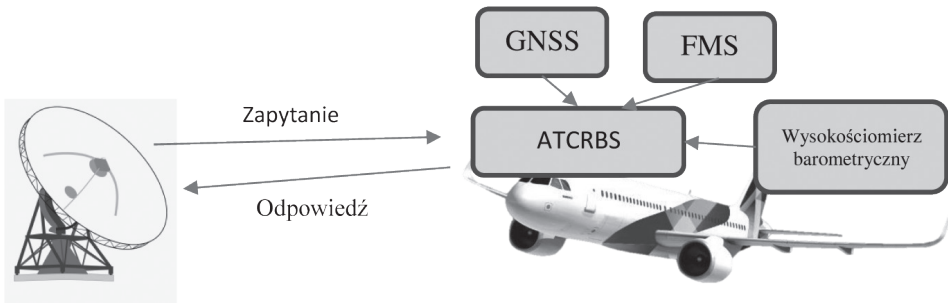
- radar dozorowania obszaru (ASR),
- radar dozorowania obszaru terminala (TAR),
- radar dozorowania lotniska,
- radar precyzyjnego podejścia (PAR),
- radar kontroli ruchu naziemnego na płycie lotniska (ASMR).

## 9.2. WTÓRNE RADARY DOZOROWANIA

System wtórnych radarów dozorowania (*Secondary Surveillance Radars, SSR*) oparty jest na wykorzystaniu połączenia radiowego między radarem a użytkownikiem przestrzeni powietrznej. W tym przypadku radar transmituje sygnał z zapytaniem, który jest odbierany przez pokładowe urządzenia systemu radiolatarni kontroli ruchu powietrznego (*Air Traffic Control Radar Beacon System, ATCRBS*) (il. 78). Transponder ATCRBS generuje odpowiedź i transmituje ją przy pomocy anteny dookólnej z określonym stałym opóźnieniem. Odpowiedź ta odbierana jest przez antenę radaru. Azymut użytkownika wyznaczany jest analogicznie jak w przypadku PSR, ale odległość użytkownika oblicza się według poniższego wzoru:

$$d_{SSR} = 0,5 (t - \tau) c,$$

gdzie  $\tau$  oznacza czas odpowiedzi transpondera ATCRBS.

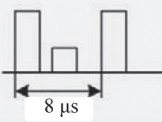
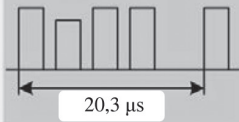

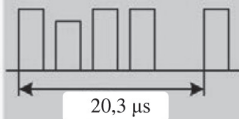


Ilustracja 78. Wtórny radar dozorowania

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z obowiązującymi przepisami wszyscy użytkownicy przestrzeni powietrznej muszą być wyposażeni w transpondery. Główną funkcją ATCRBS jest odbiór sygnałów od naziemnych radarów, układanie odpowiedzi i wysyłanie jej z powrotem do urządzeń radarowych. Pod względem przesyłanych danych możemy wyróżnić trzy tryby ATCRBS: „A”, „C” i „S”.

Statki powietrzne odbierają zapytania od systemu SSR, wysyłane w formie serii impulsów na częstotliwości 1030 MHz. Po otrzymaniu takiego zapytania transponder pokładowy transmituje zaszyfowaną odpowiedź na częstotliwości 1090 MHz. Odpowiedź w trybie „A” zawiera jedynie informację o numerze rejestracyjnym samolotu (il. 79). Odpowiedź w trybie „C” zawiera informację o wysokości barometrycznej maszyny (il. 79).

	Sygnal zapytania (1030 MHz)	Sygnal odpowiedzi (1090 MHz)	Dane
<b>Tryb A</b>			Kod identyfikacyjny samolotu <b>2751</b>
<b>Tryb C</b>			Wysokość barometryczna

Ilustracja 79. Tryby „A” i „C” [65]

Źródło: Opracowanie własne

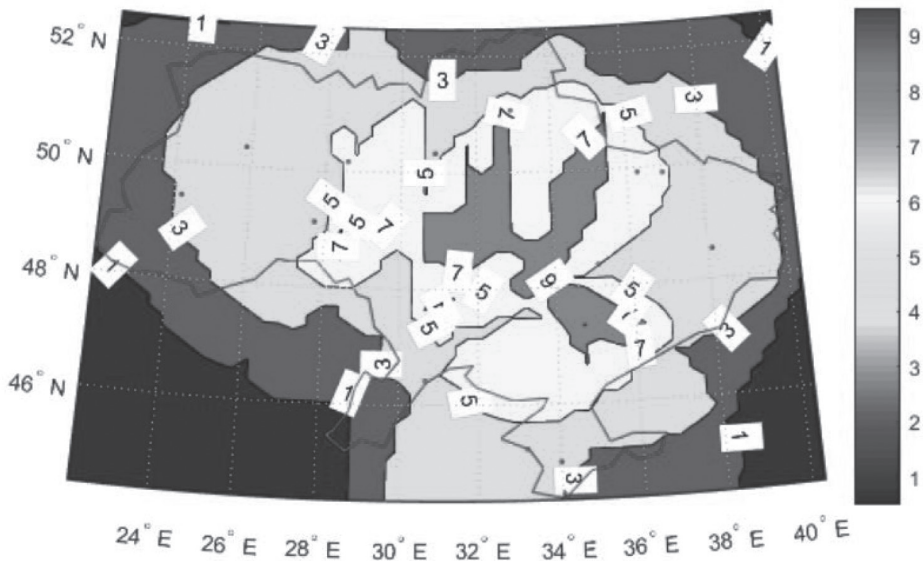
Tryb odpowiedzi ATCRBS „S” pozwala przekazać dowolne informacje nawigacyjne i przesłać je do wybranego statku powietrznego, na jego zakodowany adres. Co więcej, tryb „S” używany jest w systemie ACAS, zapewniającym łączność ze służbami kontroli lotów. System ten wykorzystuje tryb „S” jako kanał komunikacyjny do monitorowania i koordynacji manewrów w przypadku konieczności rozwiązania sytuacji konfliktowej.

Oprócz współrzędnych użytkowników przestrzeni powietrznej system SSR umożliwia również identyfikację obiektów oraz dostarcza informacji na temat ich wysokości barometrycznej, wykorzystywanych przez służby ATC. Zarówno PSR, jak i SSR pozwalają śledzić ruch statku powietrznego. Pierwotne radary dozoru dostarczają lepszych informacji na temat współrzędnych i odległości, ale ich największą wadą jest niemożność zidentyfikowania samolotu, niezbędnego z punktu widzenia bezpieczeństwa i kontroli lotów, szczególnie w zatłoczonej przestrzeni. Wymagają również większej mocy wyjściowej, ponieważ wysyłany impuls odbywa drogę w obie strony.

Najważniejsze zalety systemu SSR to:

- wymaga mniejszej mocy nadawania, wystarczającej dla zasięgu do 300 km,
- nie jest uzależniony od wartości współczynnika przekroju samolotu,
- zapewnia odpowiedzi bez zakłóceń, obecnych w przypadku odbitych impulsów,
- oprócz odbioru odpowiedzi identyfikuje również statek powietrzny, wyświetlając jego kod i sygnał rozpoznawczy,
- pokazuje historię lotu statku powietrznego, jego prędkość, wysokość i miejsce docelowe,
- może być wykorzystywany do informowania o awariach i nagłych sytuacjach.

Każdy z radarów prowadzi dozоровanie tylko w ramach swojego obszaru operacyjnego, ograniczonego przez zasięg minimalny i maksymalny. Dlatego w sieci ANSP wykorzystuje się liczne urządzenia PSR i SSR. Ich zadaniem jest lokalizowanie poszczególnych użytkowników przestrzeni powietrznej i wsparcie systemów zarządzania ruchem. Na przykład w ukraińskiej przestrzeni powietrznej dozоровaniem zajmuje się 36 urządzeń PSR i SSR. Wyniki dostępności radarów ATC przedstawione zostały na ilustracji 80 [83]. Dane z poszczególnych radarów przetwarzane są w systemie obsługi danych dozоровania (*Surveillance Data Processing System, SDPS*).



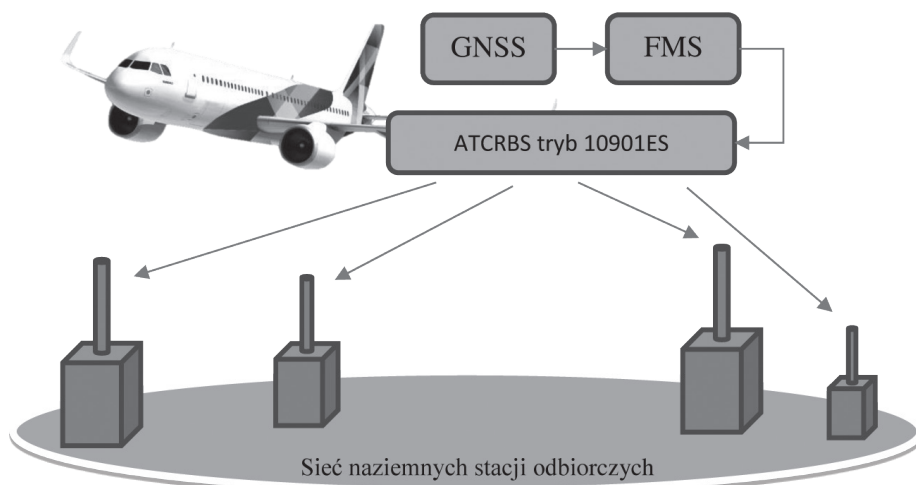
Ilustracja 80. Liczba radarów prowadzących dozоровanie ukraińskiej przestrzeni powietrznej [83]

Źródło: Opracowanie własne

Stale rosnące natężenie ruchu lotniczego na całym świecie sprawia, że tryby „A” i „C” systemu SSR osiągnęły już kres swoich technicznych możliwości, z powodu nakładających się odpowiedzi i zakłóceń w urządzeniach pytających, wywołanych przez impulsy transponderów komunikujących się z innymi radarami w sieci. Dlatego dziś minimalnym wyposażeniem każdego użytkownika przestrzeni powietrznej stał się transponder działający w trybie „S”. Równocześnie wady i zakłócenia w pracy radarów stały się impulsem do rozwoju technologii dozоровania zależnego.

### 9.3. DOZOROWANIE ZALEŻNE

Obecnie dozоровanie zależne odbywa się przede wszystkim za pomocą systemu automatycznego dozоровania zależnego (*Automatic Dependent Surveillance-Broadcast*, ADS-B), wdrożonego w 2005 r. w przestrzeni powietrznej nadzorowanej przez FAA i Eurocontrol [90, 79]. W systemie tym lokalizację użytkowników przestrzeni powietrznej określają urządzenia pokładowe, które następnie przekazują informacje do służb kontroli lotów oraz innych użytkowników za pośrednictwem połączeń cyfrowych. By umożliwić pełne wykorzystanie możliwości systemu, instytucje zapewniające służby żeglugi powietrznej powinny zbudować naziemną sieć odbiorników ADS-B, które mogłyby odbierać, odkodowywać, przetwarzać i udostępniać dane transmitowane ze statków powietrznych (il. 81).



Ilustracja 81. Dozоровanie zależne w systemie ADS-B

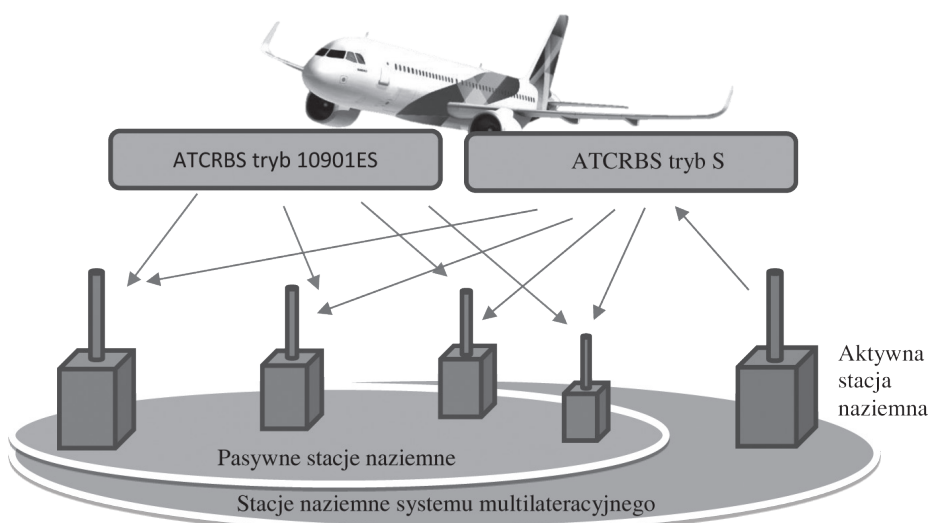
Źródło: Opracowanie własne

### 9.4. MULTILATERACJA

Multilateracja to kolejna metoda wyznaczania lokalizacji często wykorzystywana w obszarze dozоровania. Multilateracja opiera się na pomiarze różnicy czasowej nadejścia sygnału (*Time-Difference of Arrival*, TDOA) oraz na zasadzie nawigacji hiperbolicznej [36]. System obejmuje wiele zsynchronizowanych stacji naziemnych odbierających sygnały transmitowane przez transponderzy ATCRBS i określających położenie tych transponderzy dzięki zastosowaniu zasady nawigacji hiperbolicznej oraz ustaleniu różnicy czasowej między sygnałami przycho-dzącymi do poszczególnych stacji [95, 73]. Wyróżniamy dwa podstawowe typy

multilateracji – pasywną i aktywną (il. 82). Multilateracja pasywna wykorzystuje sygnały transmitowane przez nadajniki ATCRBS w trybie 1090ES (ADS-B). Aktywna multilateracja z kolei obejmuje wysłanie zapytania z naziemnego nadajnika działającego w trybie „S” i wykorzystanie odpowiedzi do wyznaczenia położenia użytkownika. Zazwyczaj system ten stosowany jest w pobliżu terminali, gdzie wspiera dozоровanie przestrzeni wokół lotniska.

Niektóre instytucje zapewniające służby żeglugi powietrznej opracowały i wdrożyły systemy tzw. rozległej multilateracji (*Wide Area Multilateration, WAM*). Opiera się ona na wykorzystaniu danych z systemu ADS-B, zebranych przez sieć naziemnych odbiorników zlokalizowanych na dużych obszarach, w połączeniu z dokładnym pomiarem czasu otrzymania wiadomości nawigacyjnych przez te odbiorniki, dokonywanym przez zsynchronizowane zegary satelitarne [64, 30]. Podczas przetwarzania danych system wykorzystuje różnice w czasie otrzymania tej samej wiadomości przez różne odbiorniki do określenia położenia użytkownika przestrzeni powietrznej (metodą TDOA).



Ilustracja 82. Zasady działania aktywnej i pasywnej multilateracji

Źródło: Opracowanie własne

Kolejnym ważnym działaniem w dziedzinie dozоровania jest przetwarzanie danych pochodzących z różnych czujników. Gromadzenie, przetwarzanie i filtrowanie danych z dozоровania odbywają się w centrach przetwarzania danych dozоровania (*Surveillance Data Processing Centers, SDPC*). Wyniki pomiarów dokonywanych w ramach operacji dozоровania mogą być prezentowane w różnym

czasie i w różnych układach odniesienia. Dlatego SDPC przenoszą wszystkie przychodzące dane do jednolitego układu odniesienia i zapewniają synchronizację czasu, wykorzystując w tym celu algorytmy interpolacyjne. Centra te umożliwiają fuzję danych przy pomocy jednej z metod ważonych [70] i pozwalają na umieszczenie ich w jednym z globalnych układów współrzędnych. W tym przypadku można wykorzystać układ *Earth-Centered, Earth-Fixed* (ECEF) lub *Latitude and Longitude* (LLA) do wizualizacji danych na mapach służb kontroli lotów.





## URZĄDZENIA NAWIGACJI LOTNICZEJ

Nawigacja lotnicza to kluczowy element efektywnego funkcjonowania systemów transportowych, który ma ogromny wpływ na bezpieczeństwo lotnictwa. Zapewnienie tego bezpieczeństwa jest możliwe, jeśli loty statków powietrznych odbywają się w kontrolowanej przestrzeni. Ryzyko wystąpienia niebezpiecznych zdarzeń uznaje się za bardzo istotne kryterium bezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym [18]. Najważniejszą funkcją i rolą nawigacji jest umożliwienie bezpiecznego przelotu samolotu z jednego punktu przestrzeni do drugiego, po najbardziej efektywnej trójwymiarowej trajektorii. Dlatego wyznaczenie położenia samolotu w przestrzeni, w ramach wstępnie zdefiniowanego układu odniesienia, to niezwykle istotny element bezpieczeństwa lotnictwa.

Zachowanie planowanej trajektorii lotu przez wszystkich użytkowników przestrzeni powietrznej ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo całego ruchu lotniczego. Według zasad nawigacji opartej na charakterystykach (ang. *Performance-based Navigation*, PBN) najważniejsze cechy charakterystyczne systemu pozycjonowania to dokładność, integralność, ciągłość i dostępność [21].

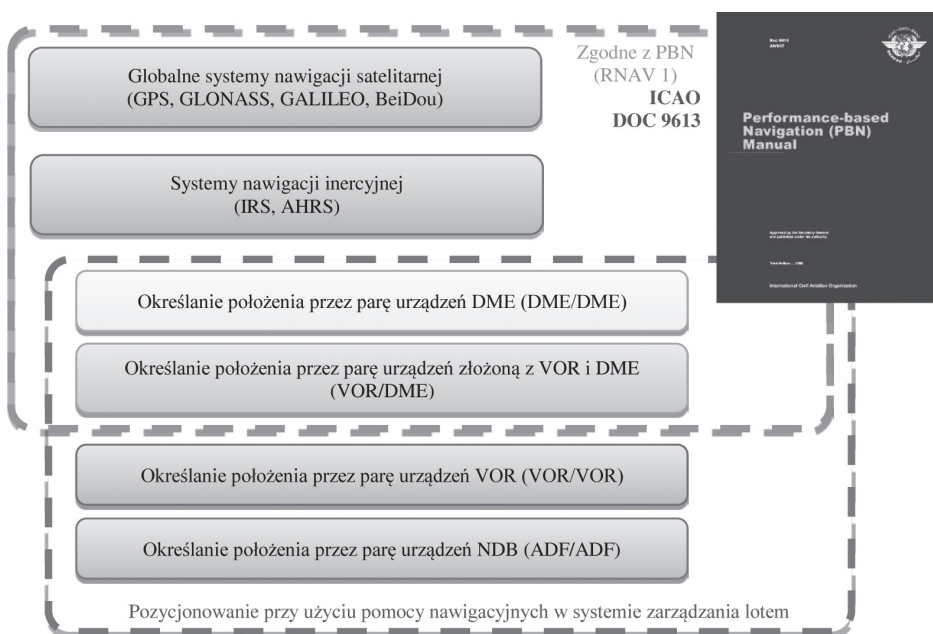
Dokładność systemu definiujemy jako różnicę pomiędzy szacowanym a rzeczywistym położeniem statku powietrznego. Integralność to poziom zaufania do całego systemu, jego wskazań i dostarczanych informacji.

Ciągłość oznacza zdolność systemu do wypełniania swojej funkcji bez nieplanowanych przerw i zakłóceń.

Dostępność z kolei rozumiemy jako czas, w którym system działa, zachowując wymagany poziom dokładności, integralności i ciągłości [13].

Wartości tych czterech elementów zostały zdefiniowane w specyfikacji PBN dla poszczególnych obszarów przestrzeni powietrznej, która w dodatku określa, na ile dokładnie statki powietrzne powinny utrzymywać planowane trajektorie lotów. Należy zwrócić uwagę, że integralność, ciągłość oraz dostępność to parametry probabilistyczne, które określają zdolność systemu do pełnienia swoich funkcji w planowanym zakresie, odpowiednio, w zależności od wartości każdego z tych elementów.

Obecnie użytkownicy przestrzeni powietrznej mają do dyspozycji zróżnicowane metody i narzędzia określania położenia statków powietrznych. Ilustracja 83 przedstawia najważniejsze pokładowe urządzenia pozycjonujące. Najpowszechniej używanymi systemami pozycjonowania są dziś globalne systemy nawigacji satelitarnej (*Global Navigation Satellite System, GNSS*), ponieważ, w porównaniu z innymi systemami, oferują one wysoki poziom dokładności i dostępności, niezależnie od położenia statku powietrznego w przestrzeni [22]. Jednakże wpływ takich czynników, jak opóźnienie jonosferyczne [33], błędy troposferyczne [66], zakłócenia fal radiowych czy nieumyślne zakłócenia sygnałów zmniejsza skuteczność pozycjonowania, a nawet może spowodować blokadę systemu [85, 72].

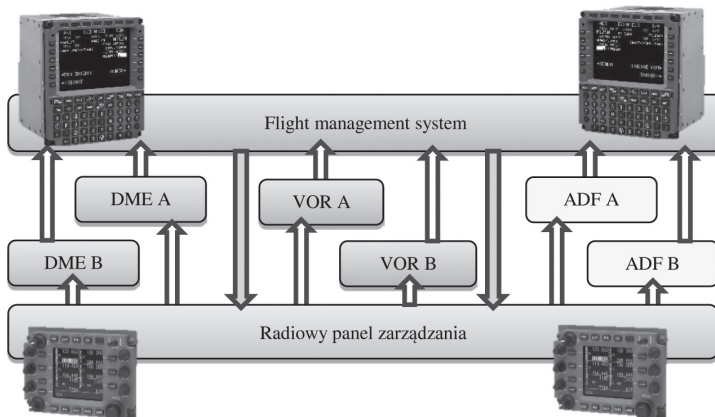


Ilustracja 83. Pokładowe urządzenia pozycjonujące

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku blokady systemu rozwiązaniem awaryjnym, które umożliwi kontynuację pozycjonowania, może być układ informujący o położeniu i kursie (*Attitude Heading and Reference System*, AHRS). Niestety, okres działania inercyjnych systemów nawigacyjnych jest ograniczony ze względu na błędy w pozycjonowaniu, których zakres zwiększa się wraz z upływem czasu. Dlatego AHRS może być uznawany jedynie jako rozwiązanie tymczasowe. Kiedy wielkość błędów przekroczy dopuszczalny poziom, można rozpocząć pozycjonowanie z użyciem pokładowych pomocy nawigacyjnych [67, 69].

Algorytmy pozycjonowania pomocy nawigacyjnych, działających w ramach systemu zarządzania lotem (*Flight Management System*, FMS), wykorzystują dane z naziemnych urządzeń mierzących kąt odbicia i/lub urządzeń DME (*Distance Measuring Equipment*), by określić położenie statku powietrznego (il. 84). FMS wybiera optymalną parę pomocy nawigacyjnych z listy typowego wyposażenia pokładowego samolotów cywilnych [86] i automatycznie dostraja pokładowe urządzenia DME, VOR (*VHF Omnidirectional Range*) lub ADF (*Automatic Direction Finder* – automatyczny radionamiernik) do prowadzenia pomiarów przez odpowiednie ustawienia radiowego panelu zarządzania (il. 84). W pozycjonowaniu przy użyciu pomocy nawigacyjnych wykorzystuje się takie metody pozycjonowania, jak TOA (*time of arrival* – czas nadejścia sygnału), AOA (*angle of arrival* – kąt nadejścia sygnału) lub AOA/TOA [69]. W przypadku zastosowania metody TOA odległości mierzone są przez urządzenia DME. Z kolei w metodzie AOA urządzenia VOR lub ADF mogą służyć jako czujniki danych kątowych. Najczęściej wykorzystywane pary urządzeń to DME/DME i VOR/DME, zaś pary VOR/VOR oraz ADF/ADF wykorzystywane są bardzo rzadko, ze względu na duży zakres błędów w pomiarze kątów przez urządzenia VOR i ADF [69].



Ilustracja 84. Wymiana danych NAVAIDS przez urządzenia pokładowe

Źródło: Opracowanie własne

Pokładowy system pozycjonowania musi spełniać liczne wymagania związane z charakterystyką działania, zdefiniowane w specyfikacjach procedur nawigacyjnych RNP/RNAV [21]. Dzięki licznym zaletom procedury RNP/RNAV są niezwykle przydatne w obecnej strukturze przestrzeni powietrznej. Każda z metod pozycjonowania jest odpowiednia dla pewnych rejonów przestrzeni, w których spełnia wymagania procedur nawigacyjnych ustanowionych przez kontrolującą ten rejon instytucję zapewniającą służby żeglugi powietrznej. Analiza służb żeglugi powietrznej zwraca szczególną uwagę na program SESAR, którego celem jest zniwelowanie segmentacji naziemnych pomocy nawigacyjnych w przestrzeni europejskiej, wynikającej z wdrażania projektów krajowych i charakteryzującej się zróżnicowanym poziomem efektywności. Ocena zgodności rejonu przestrzeni powietrznej z wymaganiami nawigacyjnymi to ważny etap w procesie oceny i poprawy bezpieczeństwa lotów [24, 81].

## 10.1. WYMAGANIA DOTYCZĄCE CHARAKTERYSTYKI NAWIGACYJNEJ

Realizację wymagań dotyczących dokładności, integralności i dostępności ocenia się na podstawie danych o położeniu, uzyskanych od pokładowego systemu pozycjonowania. Dokładność pomiarów nawigacyjnych ustala się na podstawie łącznej liczby błędów systemu (*Total System Error*, TSE), która nie może przekroczyć dozwolonego poziomu, zależnego od typu specyfikacji nawigacyjnej (tab. 9), przez 95% całkowitego czasu lotu z odchyleniami wzdłużnymi i bocznymi [21].

Tabela 9. Wymagania dotyczące charakterystyki specyfikacji nawigacyjnej [82]

Specyfikacja nawigacyjna	TSE, NM	Integralność
RNAV 10	10	10 <sup>-5</sup>
RNAV 5	5	
RNP 4	4	
RNAV 2, RNP 2	2	
RNAV 1, RNP 1	1	

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z [21] głównymi elementami składającymi się na łączną liczbę błędów systemu (TSE) są błędy systemu nawigacyjnego (*Navigation System Error*, NSE), błędy techniczne podczas lotu (*Flight Technical Error*, FTE) oraz błędy definicji ścieżki (*Path Definition Error*, PDE):

$$TSE^2 = NSE^2 + FTE^2 + PDE^2$$

Wartość NSE wyznacza się na podstawie maksymalnej wartości średniej kwadratowej błędu w ocenie położenia statku powietrznego w 95% przedziału ufności. Wartość NSE zależy od typu systemu nawigacyjnego oraz od rozlokowania naziemnych stacji odbiorczych.

FTE charakteryzuje zdolność pilota lub automatycznego pilota do utrzymania ustalonej trajektorii lotu. W przypadku sterowania ręcznego FTE obejmuje również błędy odczytów i błędy w interpretacji danych. Wartości FTE dla różnych faz lotu przedstawione zostały w tabeli 10 [21, 82].

Tabela 10. Wartości FTE w poszczególnych fazach lotu [82]

Faza lotu	Tryb sterowania		
	Ręczne	Układ nakazu lotu	Autopilot
Odcinek oceaniczny	2 NM	0,5 NM	0,25 NM
Odcinek krajowy	1 NM	0,5 NM	0,25 NM
Terminal	1 NM	0,5 NM	0,25 NM
Podejście	0,5 NM	0,25 NM	0,125 NM

Źródło: Opracowanie własne

PDE obejmuje błędy ustawień trajektorii lotu statku powietrznego zawarte w systemie zarządzania lotem oraz inne związane z nim typy błędów (błędy w bazie danych, błędy w mapach nawigacyjnych itp.). Jednakże ze względu na powszechne wykorzystanie cyfrowych baz danych w systemach zarządzania lotem wartość PDE jest stosunkowo niewielka w porównaniu z innymi elementami i można ją pominąć.

Integralność informacji nawigacyjnych definiujemy przez wielkość prawdopodobieństwa poważnego błędu urządzeń pozycjonujących, które według [21] nie może przekroczyć wartości  $10^{-5}$  na każdą godzinę lotu w każdej jego fazie. Wymagania dotyczące infrastruktury naziemnych pomocy nawigacyjnych lub urządzeń GNSS również określane są w formie prawdopodobieństwa poważnego błędu, którego wielkość według [21] nie może przekroczyć wartości  $10^7$ .

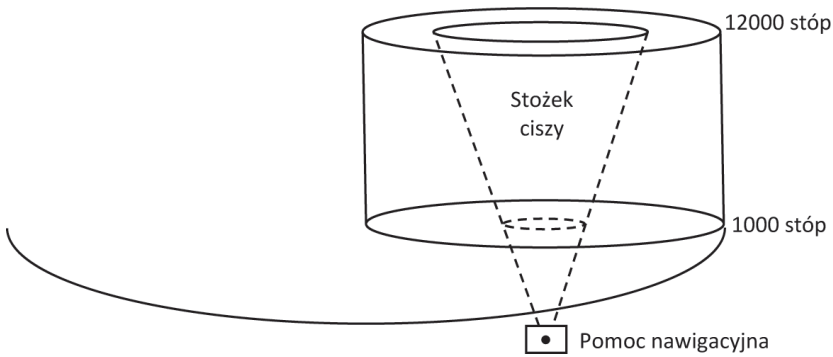
Ogólnie do urządzeń nawigacyjnych zaliczamy urządzenia GNSS, pomoce nawigacyjne (DME/TACAN, VOR, bezkierunkowe radiolatarnie) oraz systemy lądowania według wskazań przyrządów (*Instrumental Landing System, ILS*). Wszystkie te systemy składają się z dwóch komponentów – urządzeń pokładowych oraz

infrastruktury naziemnej. W większości przypadków urządzenia infrastruktury generują sygnały wykorzystywane do nawigacji i pozycjonowania przez sprzęt pokładowy. Organy zapewniające służby żeglugi powietrznej są odpowiedzialne za utrzymanie infrastruktury, a użytkownicy przestrzeni powietrznej odpowiadają za sprawne funkcjonowanie urządzeń pokładowych. Prawidłowe pozycjonowanie zależy od działania obu elementów systemu. Dlatego by zagwarantować pełną efektywność operacji, organy zapewniające służby żeglugi powietrznej muszą prowadzić stałe monitorowanie naziemnych sieci pomocy nawigacyjnych i urządzeń ILS.

Wszystkie naziemne pomoce nawigacyjne działają w określonej przestrzeni. Wielkość i kształt tej przestrzeni zależą od charakterystyki technicznej urządzeń nadawczych i rodzaju anteny, w jaką wyposażona jest pomoc nawigacyjna. Według międzynarodowych przepisów wyróżniamy kilka typów pomocy nawigacyjnych, w zależności od wielkości ich cylindrycznej przestrzeni działania [26, 27]:

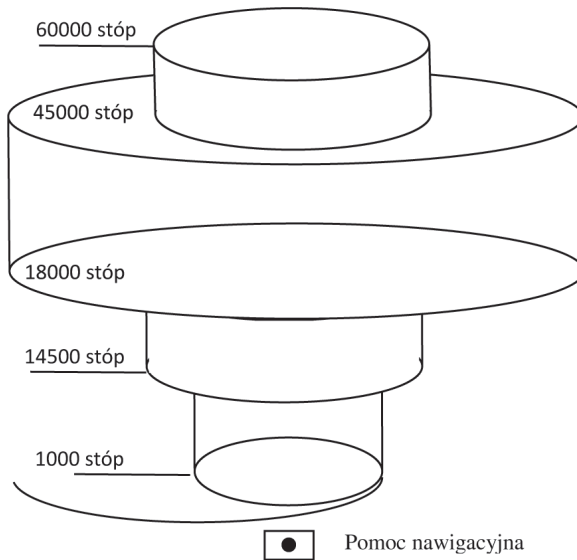
- urządzenia terminala (T) – maksymalny zasięg poziomy wynosi 25 NM (mil morskich), dla wysokości między 1000 a 12 000 stóp (il. 85),
- urządzenia małej wysokości (L) – maksymalny zasięg poziomy wynosi 40 NM, dla wysokości między 1000 a 18 000 stóp,
- urządzenia dużej wysokości (H) – dla wysokości między 1000 a 14 500 stóp maksymalny zasięg wynosi 40 NM; dla wysokości między 14 500 a 60 000 stóp zasięg maksymalny wynosi 100 NM; dla wysokości między 18 000 a 45 000 stóp zasięg maksymalny wynosi 130 NM (il. 86).

Właśnie te cylindry wyznaczają zakres przestrzeni działania pomocy nawigacyjnych. Tylko w ramach tej przestrzeni siła wysyłanych przez nie sygnałów jest wystarczająca, by zagwarantować prawidłowy odbiór przez urządzenia pokładowe. Do określenia zasięgu działania pomocy nawigacyjnych w jego dolnej części, sięgającej od miejsca położenia anteny do dolnej płaszczyzny cylindra, wykorzystuje się funkcję wykładniczą. W każdej przestrzeni działania pomocy nawigacyjnej nad anteną znajduje się stożek ciszy, wyznaczony przez kąt nachylenia (il. 85). Normalne działanie urządzeń pokładowych możliwe jest przy kącie nachylenia  $60^\circ$  w przypadku urządzeń VOR oraz  $40^\circ$  w przypadku urządzeń DME. Kąt ten zależy od wzoru promieniowania anteny pomocy nawigacyjnej w płaszczyźnie pionowej.



Ilustracja 85. Standardowa przestrzeń działania pomocy nawigacyjnej terminala

Źródło: Opracowanie własne



Ilustracja 86. Standardowy zasięg działania pomocy nawigacyjnej dużej wysokości

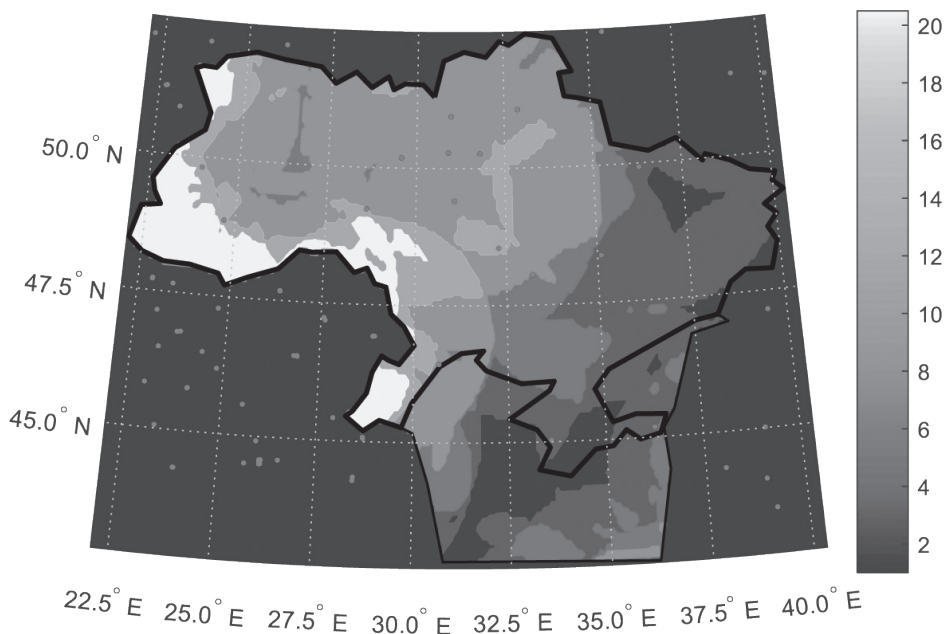
Źródło: Opracowanie własne

Niektóre pomoce nawigacyjne wykorzystują systemy anten sektorowych, o różnych parametrach w różnych kierunkach. Celem tego rozwiązania może być redukcja zakłóceń spowodowanych przez inne urządzenia nawigacyjne lub zapewnienie pełnego pokrycia przestrzeni działania pomocy nawigacyjnej w przypadku bardziej urozmaiconej rzeźby terenu. W efekcie w różnych sektorach przestrzeni działania możemy mieć do czynienia z różną charakterystyką nadawanych fal radiowych.



Najbardziej zaawansowana metoda określenia zakresu przestrzeni działania pomocy nawigacyjnych obejmuje wykorzystanie modeli rozchodzenia się fal radiowych. Może ona uwzględniać modele rozchodzenia się fal w wolnej przestrzeni, odbicia od ziemi, dyfrakcji w atmosferze lub tłumienia. Metoda ta oferuje możliwość dokładniejszego wyznaczenia przestrzeni działania, a uzyskane wyniki są bardziej zbliżone do danych otrzymanych podczas inspekcji w locie. Rozwiązanie to wymaga jednak znajomości takich parametrów technicznych pomocy nawigacyjnej, jak zysk energetyczny anteny, siła nadawanego sygnału, lokalizacja anteny i jej kierunek.

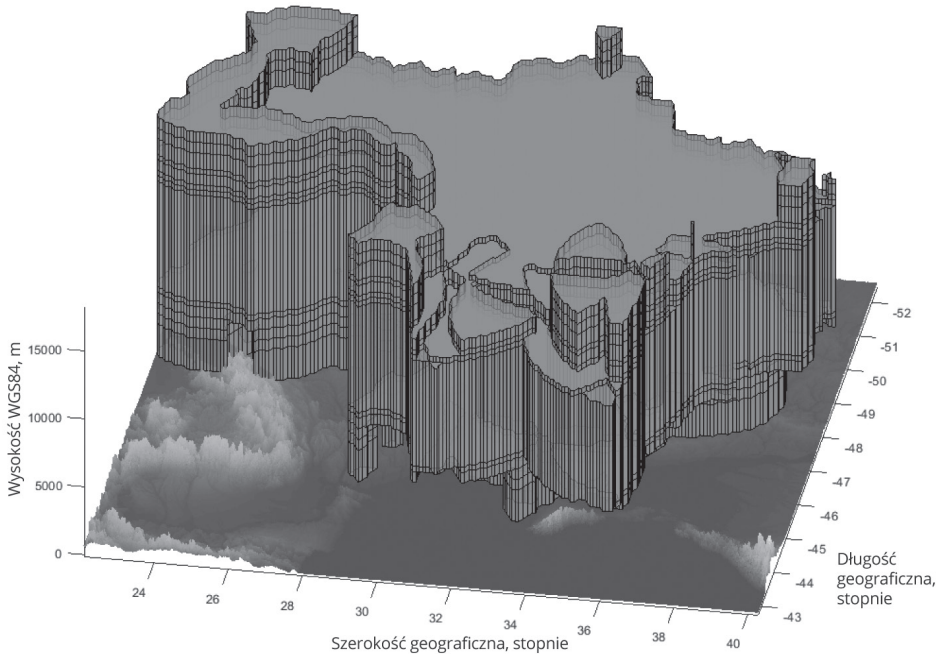
Dla przykładu w naziemnej sieci pomocy nawigacyjnych na Ukrainie znajduje się 12 stacji DME (BAH, IHA, IHR, IKI, IKV, KSN, KVR, ILO, ILV, STB, VIN, YHT) oraz 8 stacji VOR/DME (BRP, DNP, IVF, KHR, KVH, LIV, ODS, SLV) [4], obsługujących zarówno przestrzeń wokół terminali, jak i duże wysokości. Każda z tych pomocy nawigacyjnych zapewnia wsparcie tylko w określonej przestrzeni. Wyniki oceny dostępności tych urządzeń na poziomie lotu FL195 w ukraińskiej przestrzeni powietrznej, uwzględniające również sieci pomocy nawigacyjnych krajów ościennych – Polski, Słowacji, Węgier, Rumunii, Mołdawii, Rosji, Białorusi oraz Turcji – przedstawiono na ilustracji 87 [82].



Ilustracja 87. Naziemne pomoce nawigacyjne dostępne w ukraińskiej przestrzeni powietrznej [82]

Źródło: Opracowanie własne

Wyniki analizy charakterystyki ukraińskiej przestrzeni powietrznej do poziomu lotu FL610 (il. 88) wskazują, że jest ona w 74,6% [67] zgodna z wymaganiami metody RNAV 1 dotyczącymi pozycjonowania przez DME/DME, co jest efektem odpowiedniej geometrii ukraińskiej sieci naziemnej DME. Szanse poprawy tego wyniku są jednak stosunkowo niewielkie, ze względu na brak możliwości rozwoju sieci pomocy nawigacyjnych na obszarach morskich.



Ilustracja 88. Przestrzeń powietrzna spełniająca wymagania RNAV 1 dotyczące pozycjonowania przez DME/DME [67]

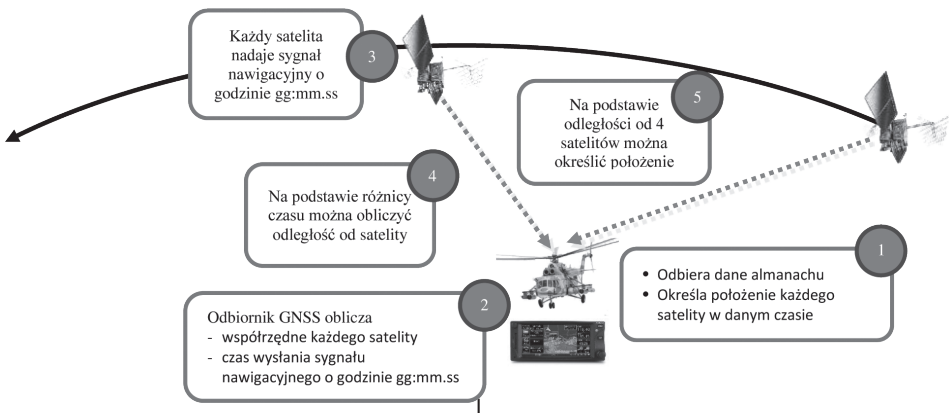
Źródło: Opracowanie własne

## 10.2. GLOBALNE SYSTEMY Nawigacji SATELITARNEJ

Globalne systemy nawigacji satelitarnej (*Global Navigation Satellite System, GNSS*) to najczęściej obecnie wykorzystywane systemy pozycjonowania. Globalny zasięg i stała dostępność sprawiają, że systemy GNSS mają bardzo szerokie zastosowanie. Systemami typu GNSS są GPS, GLONASS, GALILEO oraz Beidou, wraz z systemami uzupełniającymi.

Ogólnie GNSS składa się z trzech segmentów: segmentu kosmicznego, segmentu kontroli i zarządzania oraz segmentu użytkowników. Segment kosmiczny to

konstelacja sztucznych satelitów znajdujących się na orbicie okołoziemskiej. Każdy z satelitów nadaje sygnały nawigacyjne, wykorzystywane do pozycjonowania, oraz dane almanachu. Almanach zawiera dane na temat dokładnej lokalizacji satelity w określonym czasie. Segment kontroli naziemnej i zarządzania prowadzi dokładne pomiary lokalizacji każdego z satelitów i wspomaga aktualizację almanachu. System naziemny kontroluje również działanie całej konstelacji satelitów. Segment użytkowników obejmuje odbiorniki sygnałów. Współrzędne odbiornika określane są przy pomocy metody pozycjonowania TOA. Podstawowy cykl pozycjonowania przy pomocy GNSS przedstawia ilustracja 89.



Ilustracja 89. Pozycjonowanie przy pomocy GNSS

Źródło: Opracowanie własne

W początkowej fazie pozycjonowania odbiornik GNSS otrzymuje wiadomość z almanachu i odcodowuje dane konstelacji satelitów. Dane almanachu wykorzystane zostaną do obliczenia położenia satelity w momencie nadania sygnału, przy użyciu precyzyjnego modelu ruchu orbitalnego. Następnie odbiornik użytkownika otrzymuje sygnał nawigacyjny i mierzy czas przeływu fal radiowych od znanego momentu nadania do momentu odbioru przez antenę użytkownika. Na podstawie zmierzonego czasu przeływu sygnału oraz stałej prędkości rozchodzenia się fal radiowych w przestrzeni ( $c = 3 \times 10^8$  m/s) odbiornik oblicza odległość do każdego widocznego satelity. Odległości te wykorzystywane są w równaniu nawigacyjnym, wraz z danymi o współrzędnych satelitów w momencie nadania sygnału nawigacyjnego, i na tej podstawie określa się położenie użytkownika.

GNSS wykorzystuje sieć zsynchronizowanych nadajników znajdujących się na orbicie okołoziemskiej. Każdy z satelitów nadaje sygnały nawigacyjne przez określony kanał komunikacyjny. Długość linii komunikacyjnej między nadajnikiem

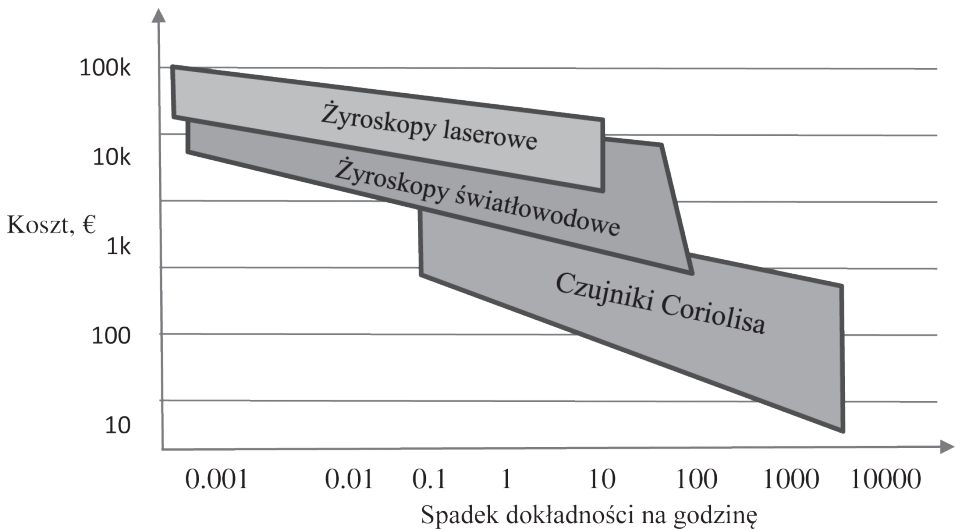
i odbiornikiem ma istotne znaczenie dla siły odbieranego sygnału. W przypadku systemu GPS, segment kosmiczny znajduje się w odległości 20 180 km od odbiorników użytkowników. Nadajnik znajdujący się w punkcie L1 nadaje z mocą 21,9 W (13,4 dBW), wzmocnienie anteny dla najgorszej lokalizacji użytkownika wynosi 13,4 dBW. Zatem sygnał nawigacyjny nadawany jest przez satelitę z mocą ponad 26,8 dBW. Sygnał rozchodzący się w wolnej przestrzeni traci 184,4 dBW. Straty w wyniku niedopasowania atmosferycznego i polaryzacyjnego wynoszą kolejne 3,9 dBW. W rezultacie do segmentu użytkowników docierają sygnały o mocy ok. -158 dBW. Poziom ten jest zbyt niski i sygnał może ulec zniekształceniu z powodu intensywnych szumów lub zakłóceń w kanale komunikacyjnym. Innymi czynnikami wpływającymi na spadek mocy w kanale komunikacyjnym są duże zróżnicowania przestrzenne opóźnień w jonosferze czy oscylacja mocy w troposferze [66], co prowadzi w konsekwencji do drastycznego pogorszenia efektywności pozycjonowania przy pomocy GNSS [85].

Kolejnym problemem systemów GNSS są zakłócenia fal radiowych. Wadliwie funkcjonujące urządzenia mogą być źródłem szumów, które mogą wywoływać zakłócenia i oddziaływać negatywnie na linie komunikacyjne w systemie nawigacyjnym. W wielu raportach i artykułach [77, 14] można znaleźć opisy przykładów wadliwego działania błędnie ustawionych nadajników, które miało wpływ na skuteczność pozycjonowania systemu GPS na całym świecie.

### 10.3. SYSTEMY NAWIGACJI INERCYJNEJ

Nawigacja inercyjna (bezwładnościowa) to kolejna metoda pozycjonowania wykorzystywana przez urządzenia pokładowe statku powietrznego. Opiera się ona na pomiarach bezwładnościowych, których wyniki przekładają się na zmiany położenia statku powietrznego. Systemy nawigacji inercyjnej (*Inertial Navigation Systems*, INS) są elementem układu informującego o położeniu i kursie (AHRS) na pokładzie samolotu i mogą być wykorzystywane również w odbiorniku GNSS do zwiększenia skuteczności pozycjonowania [35, 15]. System nawigacji inercyjnej regularnie mierzy przyspieszenie i analizuje pozycję samolotu w przestrzeni i na tej podstawie określa zmiany współrzędnych pomiędzy kolejnymi pomiarami. Wyróżniamy dwa zasadnicze typy systemów nawigacji inercyjnej: kardanowe (*gimballed*) i bezkardanowe (*strap-down*). Możliwe są również zróżnicowane zastosowania układów inercyjnych, o różnym stopniu zintegrowania z podstawowym systemem lokalizacyjnym. Największą zaletą nawigacji bezwładnościowej jest jej całkowita autonomia i niezależność od urządzeń i systemów zlokalizowanych poza statkiem powietrznym. Jako jej wadę można wymienić błędy addytywne. Z upływem czasu niedokładności pomiarów prędkości i obrotów zmniejszają skuteczność procesu pozycjonowania. Dlatego każdy z układów INS ma ograniczony czas działania

na wymaganym poziomie dokładności. Inny aspekt tego problemu wiąże się z zastosowaniem różnych typów czujników. Niektóre z nich mogą bazować na tanich technologiach pomiaru, jak np. czujniki wykorzystujące efekt Coriolisa, co często znacząco zwiększa poziom błędów (il. 90). Inne czujniki mogą działać z wykorzystaniem efektu Sagnaca (czujniki laserowe i światłowodowe), co umożliwia dokładne pomiary, lecz jest znacznie droższe, zatem cena takich technologii sprawia, że są one dostępne tylko dla wybranych zastosowań komercyjnych.

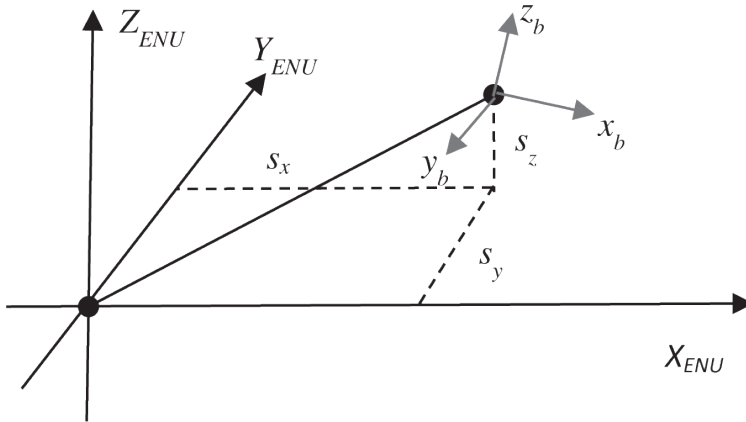


Ilustracja 90. Efektywność współczesnych żyroskopów

Źródło: Opracowanie własne

Określanie położenia przy pomocy nawigacji inercyjnej opiera się na pomiarach siły oddziałującej na bezwładną masę znajdującą się wewnątrz czujnika. Działanie tej siły może być wynikiem zmiany przyspieszenia. Ustalenie położenia statku powietrznego odbywa się na podstawie odległości pokonanej wzdłuż jednej lub obu osi w określonym układzie współrzędnych, obliczanej jako całka prędkości lub podwójna całka przyspieszenia w okresie pomiędzy kolejnymi pomiarami.

Przyjrzyjmy się lokalnemu układowi współrzędnych północny wschód – góra (*East-North-Up*, ENU). Oś X wskazuje geograficzny wschód, oś Y wskazuje północ, a oś Z skierowana jest ku górze. Początkowy punkt układu współrzędnych jest jednocześnie punktem początkowym pomiaru (il. 91).



Ilustracja 91. Ruch obiektu w układzie współrzędnych ENU

Źródło: Opracowanie własne

Po dokonaniu pomiaru przyspieszenia wzdłuż każdej osi otrzymujemy następujące składniki odległości [88]:

$$S(t_i) = \Delta t V_{ENU}(t_i) + \frac{\Delta t^2}{2} A_{ENU}(t_i), \quad (1)$$

gdzie:

$A_{ENU} = [a_x, a_y, a_z]$  oznacza macierz przyspieszeń wzdłuż osi układu współrzędnych,

$V_{ENU} = [v_x, v_y, v_z]$  oznacza macierz prędkości,

$\Delta t = t_i - t_{i-1}$  to czas dyskretyzacji, to czas dyskretyzacji.

Położenie obiektu można określić, dodając do poprzedniej lokalizacji składniki odległości dla każdego kierunku:

$$X_{ENU}(t_i) = X_{ENU}(t_{i-1}) + \Delta t V_{ENU}(t_i) + \frac{\Delta t^2}{2} A_{ENU}(t_i), \quad (2)$$

gdzie  $X_{ENU}(t_{i-1})$  i  $X_{ENU}(t_i)$  oznaczają współrzędne położenia obiektu odpowiednio podczas poprzedniego i obecnego pomiaru.

## 10.4. URZĄDZENIA POMIARU ODLEGŁOŚCI

Systemy urządzeń pomiaru odległości (radiodalmierzy – *Distance Measuring Equipment*, DME/TACAN) wykorzystują metodę zapytań i odpowiedzi, by zmierzyć odległość między samolotem i naziemną stacją nawigacyjną. Systemy DME/TACAN działają w paśmie UHF, na częstotliwościach między 960 MHz a 1215 MHz, co przy separacji międzykanałowej 1 MHz daje możliwość wykorzystania

252 kanałów [13]. W metodzie DME urządzenie pokładowe wysyła zapytanie do stacji naziemnej na częstotliwości określonego kanału (il. 92). Następnie stacja naziemna odpowiada, wysyłając kopię tego sygnału z określonym stałym opóźnieniem. Urządzenie pytające odbiera odpowiedź i oblicza czas przesłania sygnału w obie strony. Mierząc okres pomiędzy wysłaniem zapytania i otrzymaniem odpowiedzi, pokładowe urządzenie DME ustala fizyczną (mierzoną po skosie) odległość statku powietrznego od stacji naziemnej, wykorzystując w tym celu stałą prędkość rozchodzenia się fal radiowych:

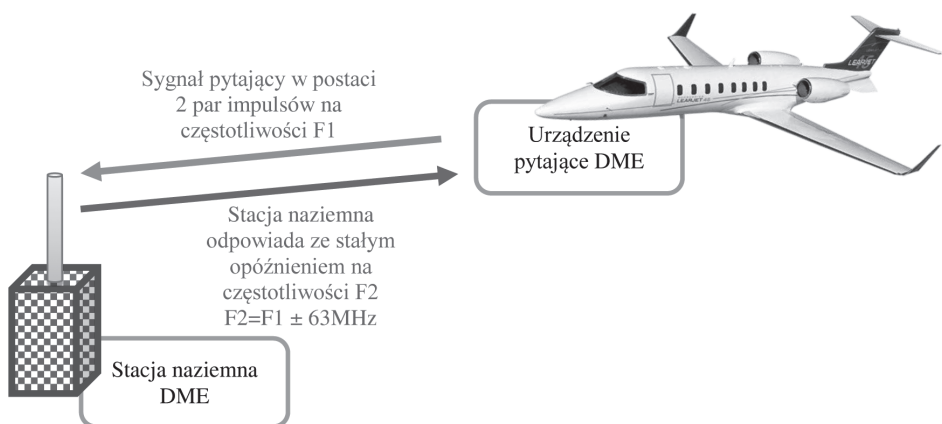
$$R = 0,5c (t - \tau), \quad (3)$$

gdzie:

$t$  to czas rozchodzenia się sygnału radiowego,

$\tau$  to opóźnienie w stacji naziemnej DME,

$c = 3 \times 10^8$  m/s to prędkość rozchodzenia się fal radiowych.

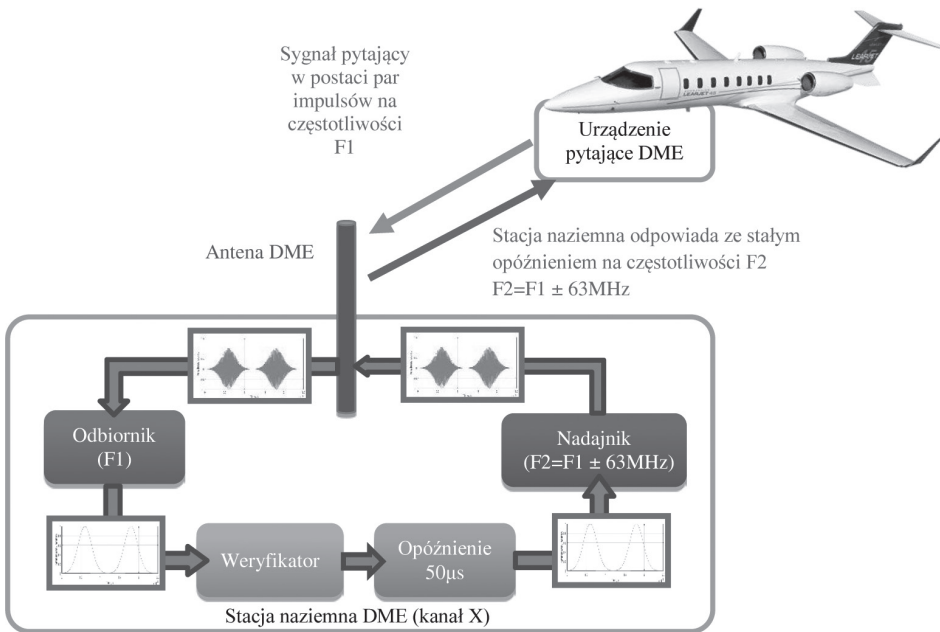


Ilustracja 92. Pomiar odległości przy użyciu DME

Źródło: Opracowanie własne

Sygnał pytający DME składa się z dwóch par impulsów o amplitudzie modulowanej obwiednią Gaussa (il. 93). Odległość czasowa pomiędzy impulsami w parze jest różna na różnych kanałach – 12  $\mu$ s (kanał X) i 36  $\mu$ s (kanał Y) [13]. Z kolei okres pomiędzy parami impulsów jest inny w przypadku każdego zapytania, co ułatwia systemowi identyfikację odpowiedzi ze stacji DME. Stacja naziemna odbiera i weryfikuje sygnał zapytania. Po potwierdzeniu, że impulsy są prawidłowe, stacja generuje odpowiedź ze stałym opóźnieniem 50  $\mu$ s (dla kanału X) [13]. W systemie DME sygnał odpowiedzi jest taki sam jak sygnał zapytania, ale jest on wysyłany na częstotliwości przesuniętej o 63 MHz w porównaniu z częstotliwością zapytania.

Przez trwający 50  $\mu$ s okres opóźnienia i dodatkowy margines bezpieczeństwa 10  $\mu$ s stacja naziemna DME jest zablokowana i nie odbiera innych zapytań. Podczas pomiaru urządzenie pytające nie zna dokładnego czasu otrzymania odpowiedzi i musi czekać na nią do 2,5 ms, bo tyle czasu potrzeba, by sygnał radiowy pokonał przestrzeń operacyjną o promieniu 200 NM.

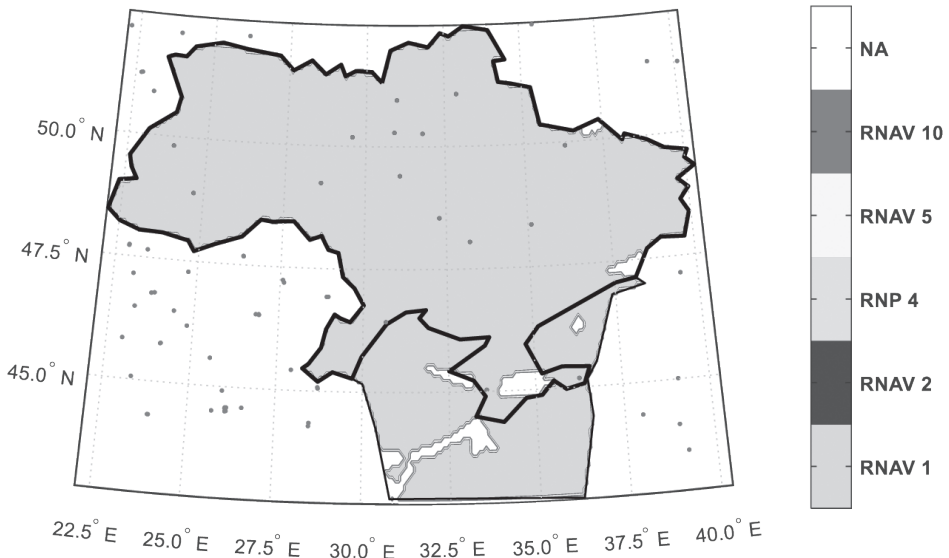


Ilustracja 93. Cykl operacji DME

Źródło: Opracowanie własne

Konfiguracja geometryczna sieci pomocy nawigacyjnych może spowodować zróżnicowanie w działaniu systemu i skuteczności pozycjonowania na obsługiwanym obszarze. Sieć naziemna DME/TACAN powinna być skonfigurowana w taki sposób, by zapewnić wymagany poziom skuteczności pozycjonowania. Jako przykład na ilustracji 94 przedstawiono wyniki oceny zgodności działania zestawów nawigacyjnych DME/DME z wymaganiami metod RNP/RNAV dla ukraińskiej przestrzeni powietrznej, na poziomie lotu FL195 [81].





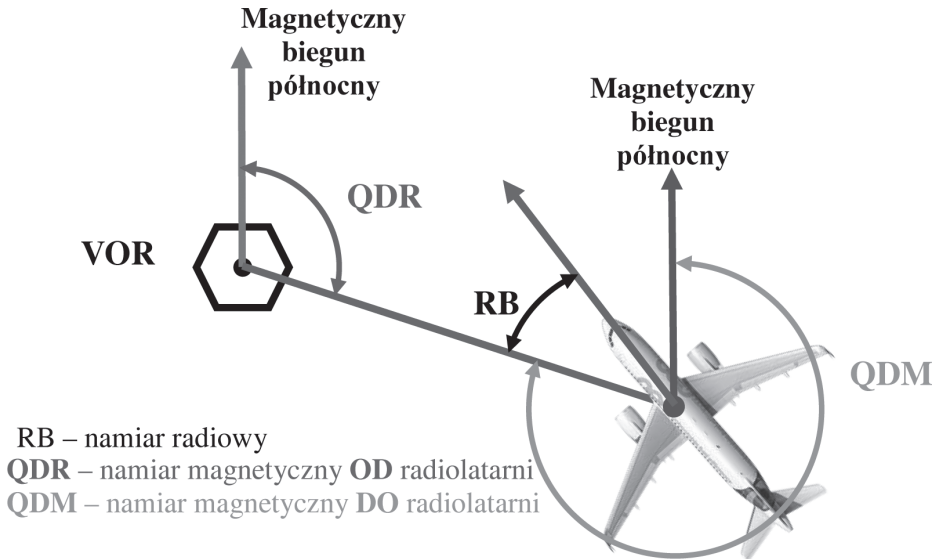
Ilustracja 94. Zgodność pozycjonowania DME/DME z wymaganiami RNP/RNAV [82]

Źródło: Opracowanie własne

## 10.5. URZĄDZENIA OGÓLNOKIERUNKOWE VHF

Naziemna radiolatarnia ogólnokierunkowa VHF (VHF *Omnidirectional Range*, VOR) wykorzystuje pasmo radiowe obejmujące częstotliwości między 108 a 117,95 MHz (co daje 40 kanałów w zakresie 108–112 MHz i 120 kanałów w zakresie 112–117,95 MHz) [13].

Radiolatarnia VOR dostarcza pilotowi informacje o namiarze magnetycznym, w odniesieniu do północnego bieguna magnetycznego wyznaczonego dla położenia latarni (il. 95). W terminologii ICAO kąt ten określa się skrótem QDR, oznaczającym namiar magnetyczny OD latarni (PROMIENIOWY). Latarnia może podać pilotowi także informację o namiarze magnetycznym DO latarni, czyli kącie QDM. Dodatkowo w nawigacji powietrznej bardzo często używany jest również kąt RB, czyli namiar radiowy. RB to kąt między osią samolotu i namiarem do stacji naziemnej.

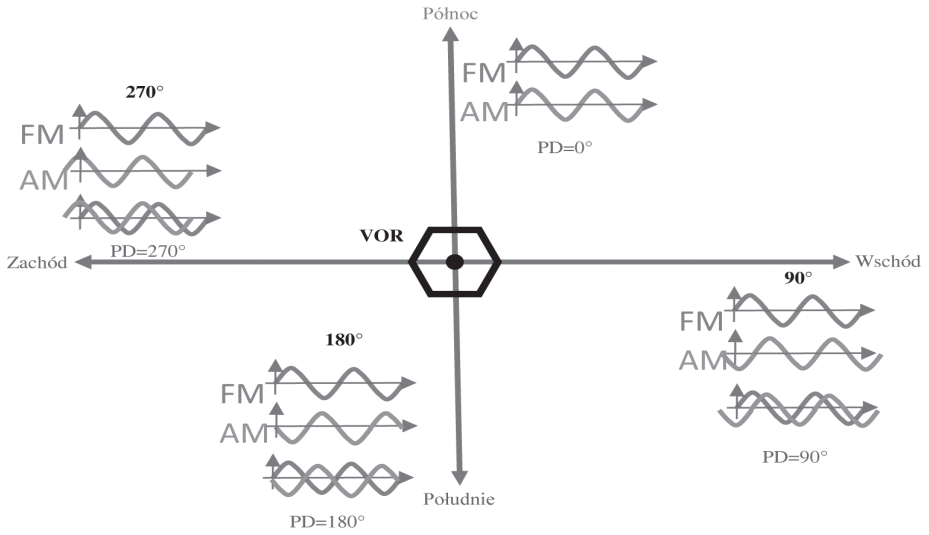


Ilustracja 95. Kąty mierzone przez VOR

Źródło: Opracowanie własne

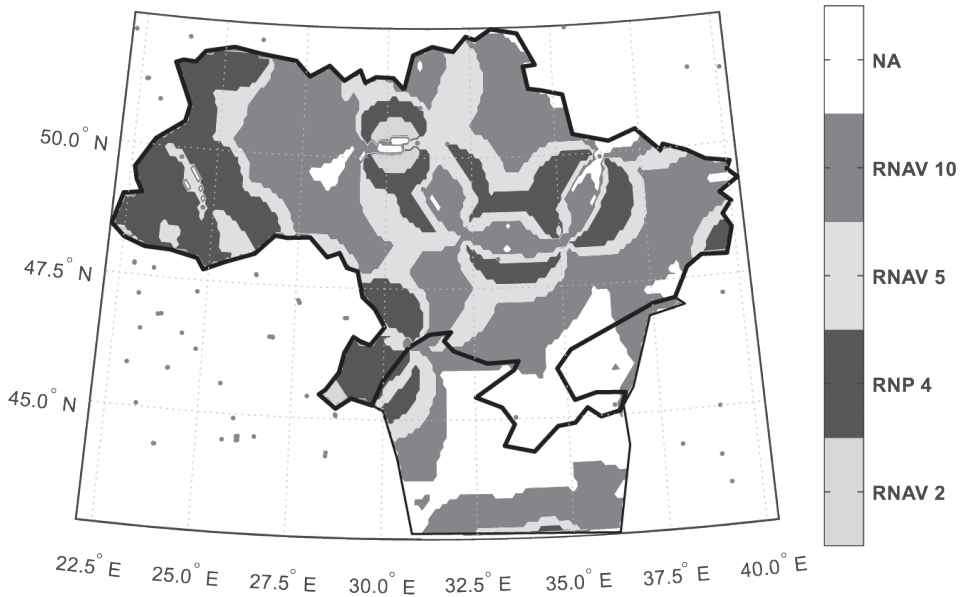
Sygnal nawigacyjny VOR składa się z dwóch elementów: sygnałów o modulowanej amplitudzie i częstotliwości (il. 96). Sygnal referencyjny o modulowanej częstotliwości (30 Hz) jest sygnałem wielokierunkowym o stałej fazie, niezależnym od niamiaru odbiorcy od radiolatarni. Z kolei sygnał o modulowanej amplitudzie (30 Hz) to sygnał kierunkowy o zmiennej fazie, generowany przez obracającą się antenę latarni [13]. Demodulatory zainstalowane w pokładowym odbiorniku VOR odczytują oba sygnały, a następnie obliczają różnicę w fazie. Różnica w fazie sygnałów VOR jest taka sama jak namiar magnetyczny od radiolatarni.

Według zasad nawigacji opartej na charakterystykach (PBN) VOR nie spełnia wymagań metody RNAV1 ze względu na niewystarczającą dokładność pomiaru kątów. Ponieważ wpływa to negatywnie na skuteczność pozycjonowania, wiele krajów ogłosiło ograniczenie wykorzystania sieci radiolatarni VOR [79]. Ilustracja 97 przedstawia poziom zgodności pozycjonowania w systemie VOR/VOR z wymaganiami RNP/RNAV dla ukraińskiej przestrzeni powietrznej [82]. Jak widać, wymagania RNAV2 spełnione są jedynie na bardzo niewielkim obszarze.



Ilustracja 96. Podstawy działania urządzeń VOR

Źródło: Opracowanie własne

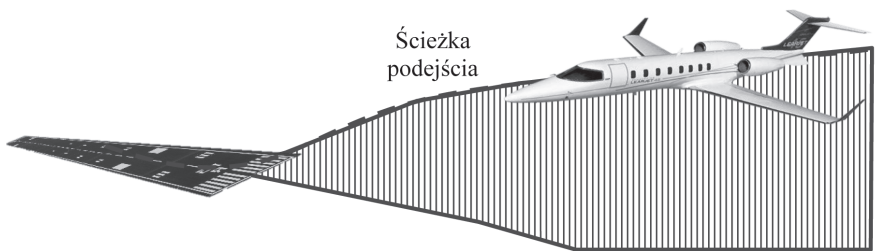


Ilustracja 97. Zgodność pozycjonowania VOR/VOR z wymaganiami RNP/RNAV w ukraińskiej przestrzeni powietrznej [82]

Źródło: Opracowanie własne

## 10.6. SYSTEM ŁĄDOWANIA WEDŁUG WSKAZAŃ PRZYRZĄDÓW

Łądowanie uważane jest powszechnie za jedną z najtrudniejszych faz lotu statku powietrznego. Operacja ta wymaga od pilota pełnego skupienia i skutecznego działania. Prowadzenie samolotu musi się odbywać ściśle wzdłuż wyznaczonego toru lotu, nazywanego ścieżką podejścia (*glide slope*) (il. 98). Ścieżka podejścia prowadzi samolot do wysokości decyzyjnej i punktu przyziemienia na pasie startowym. Podczas lotu wzdłuż ścieżki podejścia pilot musi zachować określone parametry, zgodnie z obowiązującymi zasadami bezpieczeństwa. Na przykład rzeczywista prędkość lotu i prędkość względem ziemi muszą być utrzymane odpowiednio do wysokości statku powietrznego i jego położenia względem drogi startowej, by zapewnić skuteczne i bezpieczne przyziemienie. W rzeczywistości na przebieg lądowania mogą wpływać rozmaite czynniki, np. słaba widzialność, zjawiska pogodowe, prędkość, kierunek i zmienność wiatru. W związku z tym pilot musi prowadzić statek powietrzny wzdłuż ścieżki podejścia i utrzymywać wymagane prędkości, by ograniczyć wpływ czynników zewnętrznych i dokonać przyziemienia w ustalonym punkcie pasa startowego, zachowując parametry lotu w dopuszczalnym zakresie. Wszystkie te aspekty sprawiają, że lądowanie odbywa się wyłącznie w trybie ręcznego sterowania statkiem powietrznym przez pilota.



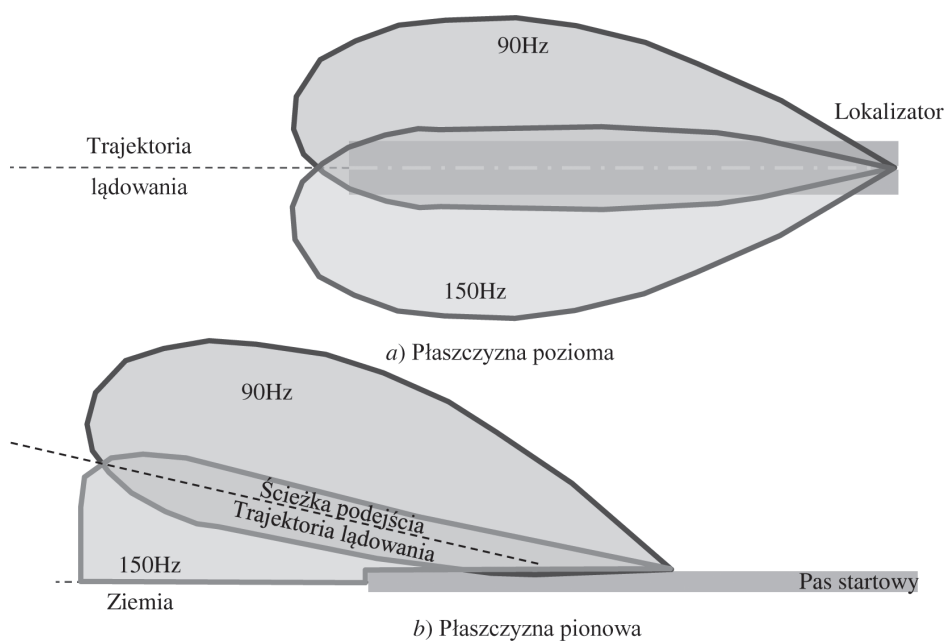
Ilustracja 98. Ścieżka podejścia

Źródło: Opracowanie własne

System lądowania według wskazań przyrządów (*Instrument Landing System, ILS*) to naziemny system wspierający podejście na przyrządach, który zapewnia precyzyjne prowadzenie samolotu podchodzącego do lądowania w płaszczyźnie poziomej i pionowej, z wykorzystaniem sygnałów radiowych wysyłanych przez naziemne radiolatarnie. W skład systemu wchodzi dwie radiolatarnie – kierunku i ścieżki podejścia, zlokalizowane na płycie lotniska.

Radiolatarnia kierunku (lokalizator) zapewnia prowadzenie poziome. Wysyła ona promieniowanie dwukierunkowe w płaszczyźnie poziomej (il. 99). Lokalizator

położony jest zazwyczaj wzdłuż osi drogi startowej, bo dzięki temu wyznacza ścieżkę przechodzącą przez tę oś. Lokalizator działa na częstotliwości między 108,10 MHz a 111,95 MHz [13]. Radiolatarnia nadaje dwa sygnały na jednym z 40 kanałów ILS. Jeden z nich jest modulowany na 90 Hz, a drugi na 150 Hz. Sygnały nadawane są przez dwie anteny, położone po obu stronach latarni. Każda z nich wysyła wąski promień, jedna z lewej, a druga z prawej strony osi pasa startowego. Odbiornik na podkładzie statku powietrznego mierzy różnicę w głębokości modulacji. Jeśli jedna z modulacji, 90 lub 150 Hz, jest dominująca, oznacza to, że samolot nie znajduje się w osi pasa. Wskazówka na monitorze ILS w kokpicie pokazuje, czy samolot powinien skrócić w prawo czy w lewo, by skorygować swoje położenie. Jeśli różnica głębokości modulacji wynosi zero, oznacza to, że statek powietrzny znajduje się na osi lokalizatora, która jest jednocześnie osią pasa startowego. Zadaniem pilota jest utrzymanie takiego położenia samolotu, by wskazówka ILS znajdowała się stale w środku ekranu. System ILS ma zasięg 50 km.

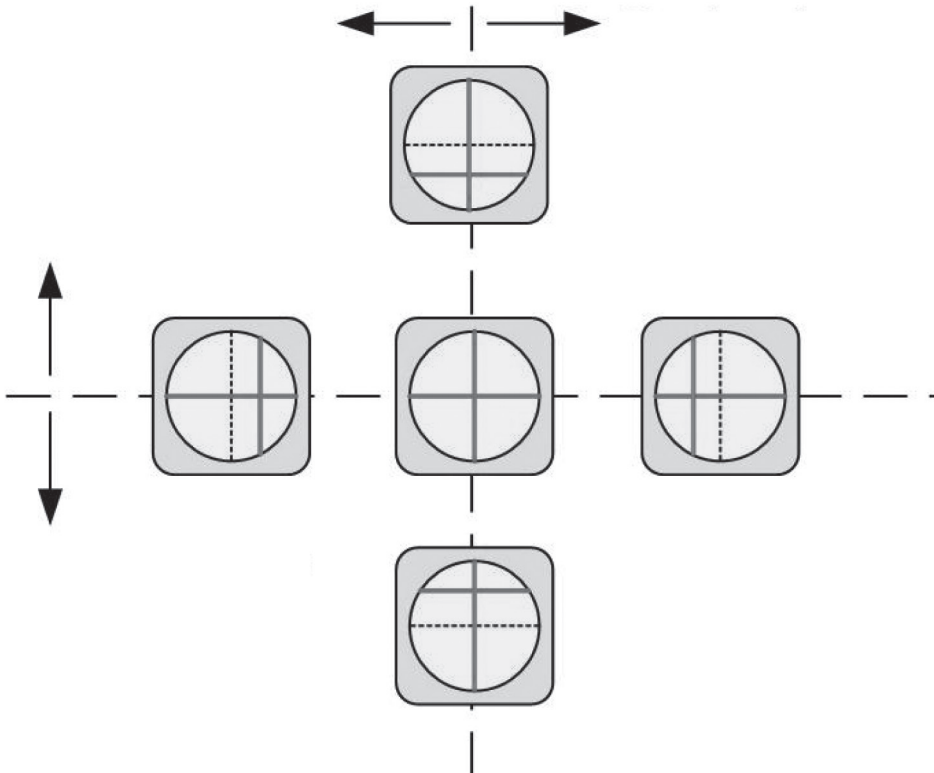


Ilustracja 99. Lokalizator i *glide slope* systemu ILS

Źródło: Opracowanie własne

Radiolatarnia ścieżki podejścia (*glide slope*) zapewnia prowadzenie pionowe. Pilot steruje statkiem powietrznym w taki sposób, aby wskazówka ścieżki podejścia znajdowała się w środku wyświetlacza, co daje pewność, że statek znajduje się na ścieżce podejścia prowadzącej ponad przeszkodami, do odpowiedniego punktu

przyziemienia na pasie startowym. Sygnały radiolatarni ścieżki podejścia transmitowane są na wyznaczonej częstotliwości nośnej, przy użyciu metody podobnej jak w przypadku lokalizatora. Dolny promień jest modulowany na 150 Hz, a górny – na 90 Hz. Jeśli statek powietrzny porusza się wzdłuż ścieżki podejścia, różnica głębokości modulacji wynosi zero. Jeśli pojawi się jakieś odchylenie od idealnego toru lotu, pojawi się także różnica głębokości modulacji, która będzie się powiększać proporcjonalnie do wzrostu tego odchylenia. Przyrządy w kokpicie pokażą kierunek odchylenia (w górę lub w dół). Zasięg radiolatarni ścieżki podejścia wynosi 18 km. Wykorzystuje ona częstotliwości między 328,6 a 335,4 MHz, w połączeniu z częstotliwością radiolatarni kierunku. Ilustracja 100 pokazuje, w jaki sposób wyświetlacz w kokpicie informuje pilota o odchyleniach od planowanej trajektorii lotu.



Ilustracja 100. Wskaźniki ILS

Źródło: [https://www.avionics.sciary.com/instrument\\_landing\\_system\\_ils](https://www.avionics.sciary.com/instrument_landing_system_ils)

Pokładowe urządzenia ILS obejmują kilka anten odbiorczych sygnałów radiolatarni. Każda z nich połączona jest osobnym wejściem odbiornika. Informacja o potencjalnym odchyleniu od ścieżki podejścia pokazywana jest na wyświetlaczu ILS (il. 100) lub na głównym monitorze EFIS (elektronicznego systemu przyrządów lotu).

## ROLA KOMUNIKACJI W SYSTEMIE ŻEGLUGI POWIETRZNEJ

Działanie wszystkich elementów systemu zarządzania ruchem lotniczym (*Air Traffic Management*, ATM), za które odpowiadają Międzynarodowe Służby Telekomunikacji Lotniczej (*International Aeronautical Telecommunication Service*, ATS), jest wspierane przez zróżnicowane urządzenia komunikacyjne. W zależności od rodzaju działań i typu wykorzystywanych urządzeń służby telekomunikacyjne dzielimy na: lotnicze służby stałe (*Aeronautical Fixed Service*, AFS), lotnicze służby ruchome (*Aeronautical Mobile Service*, AMS), służby radionawigacji lotniczej (*Aeronautical Radio Navigation Service*, ARNS) oraz lotnicze służby rozgłaszania (*Aeronautical Broadcasting Service*, ABS) [59].

Lotnicze służby stałe to służby odpowiedzialne za komunikację pomiędzy naziemnymi służbami i urządzeniami systemu żeglugi powietrznej. Wykorzystują różne systemy wsparcia i technologie: obwody i sieci bezpośrednich połączeń głosowych; meteorologiczne obwody, sieci i systemy rozgłaszania; stałą telekomunikacyjną sieć lotniczą (*Aeronautical Fixed Telecommunications Network*, AFTN); wspólną sieć wymiany danych ICAO (CIDIN); system obsługi komunikatów służb ruchu lotniczego czy komunikację między poszczególnymi ośrodkami.

Stać telekomunikacyjną sieć lotniczą wykorzystywana jest do obsługi komunikacji cyfrowej pomiędzy poszczególnymi elementami systemu żeglugi powietrznej, jako narzędzie łatwego i szybkiego dostępu do komunikatów dotyczących bezpieczeństwa lotu i regularności połączeń, wiadomości meteorologicznych (komunikaty, obserwacje, raporty oraz prognozy – dla konkretnego terminalu, obszaru lub trasy), powiadomień służby informacji lotniczej (*Aeronautical Information Services*, AIS), komunikatów administracyjnych, powiadomień o sytuacjach awaryjnych i zagrożeniach.



Lotnicze służby rozgłaszania odpowiadają za nadawanie informacji dotyczących nawigacji lotniczej poprzez sieć naziemnych stacji nadawczych.

Lotnicze służby ruchome (AMS) obsługują komunikację między stacjami naziemnymi i statkami powietrznymi lub między statkami powietrznymi lub też komunikację dotyczącą nagłych sytuacji na pokładzie statku powietrznego, na specjalnie wyznaczonych częstotliwościach awaryjnych. By zapewnić bezpieczny transfer wiadomości, działania AMS muszą być zgodne z ogólnie obowiązującymi zasadami. Na przykład w połączeniach głosowych należy stosować standardową frazeologię ICAO, we wszystkich sytuacjach, dla których ją przewidziano. Zwykły język jest dopuszczalny tylko w przypadkach, w których standardowe wyrażenia nie wystarczą do przekazania pełnej wiadomości.

Komunikacja między pilotem i służbami kontroli lotów odbywa się zazwyczaj za pośrednictwem połączeń radiowych na wysokich (HF) i bardzo wysokich (VHF) częstotliwościach. Można również wykorzystywać w tym celu komunikację satelitarną, jeśli odpowiednie urządzenia znajdują się na pokładzie statku powietrznego, a także technologię *Voice over Internet Protocol* (VoIP).

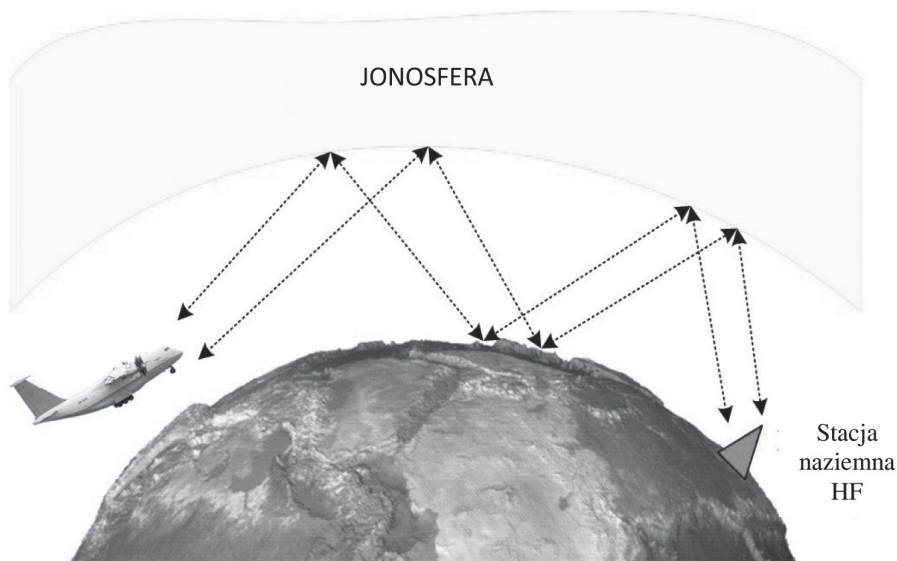
### 11.1. KOMUNIKACJA NA WYSOKICH CZĘSTOTLIWOŚCIACH

W komunikacji na wysokich częstotliwościach (HF) wykorzystuje się częstotliwości radiowe w zakresie między 3 a 29 999 MHz, z zachowaniem separacji międzykanałowej 1 kHz. Naturalne cechy fal radiowych HF sprawiają, że ich odbicie następuje w warstwie jonosfery, co znacząco wspiera komunikację na długich dystansach (Ilustracja 101).

Powietrze w jonosferze jest bardzo rozrzedzone. Pod wpływem promieniowania słonecznego z gazów atomowych w jonosferze uwalniane są duże ilości wolnych elektronów, co powoduje powstawanie pozytywnych jonów i wysoki stopień jonizacji górnej warstwy atmosfery. Zjonizowana warstwa absorbuje fale radiowe i zmienia kierunek ich rozchodzenia. W ciągu dnia, w zależności od natężenia promieniowania słonecznego, liczba wolnych elektronów w zjonizowanej warstwie może być różna, zmienia się również jej grubość i wysokość. Zjawiska te mają wpływ na właściwości elektryczne tej warstwy, sprawiając, że może ona odbijać fale radiowe.

W efekcie zasięg komunikacji radiowej na wysokich częstotliwościach może się zwiększyć do 3000 km. Urządzenia komunikacji radiowej HF to podstawowe

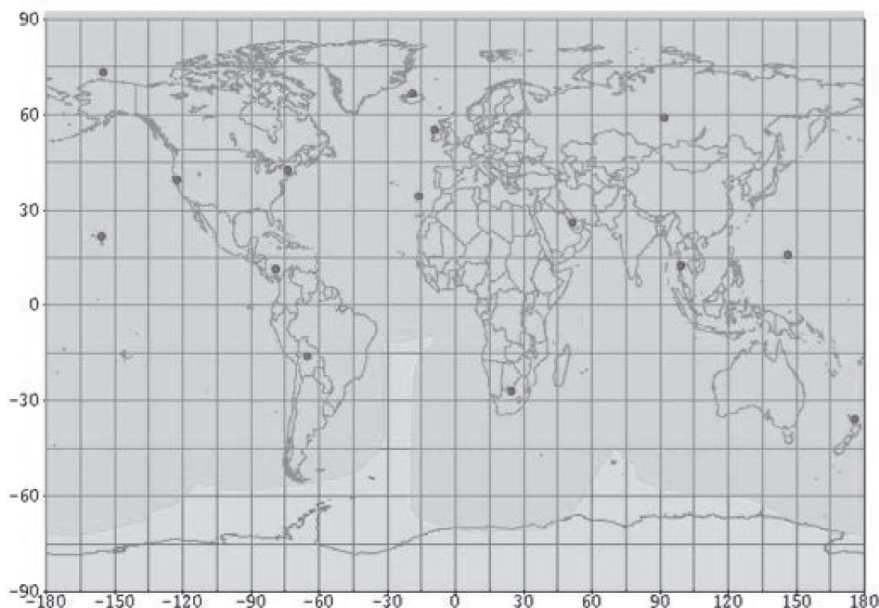
narzędzia łączności długodystansowej, która ma szczególne znaczenie w przypadku lotów międzykontynentalnych.



Ilustracja 101. Odbicie fal radiowych HF w jonosferze [65]

Źródło: Opracowanie własne

Komunikacja HF wykorzystywana jest nie tylko do połączeń radiotelefonicznych. Łącze danych o wysokiej częstotliwości (*High-Frequency Data Link*, HFDL) to ogólnoświatowy system wymiany danych cyfrowych między statkami powietrznymi i urządzeniami naziemnymi. System obsługiwany jest przez 14 stacji naziemnych odbierających i transmitujących informacje (il. 102). Umożliwia połączenie między urządzeniami pokładowymi i naziemną siecią cyfrowych pomocy nawigacyjnych. Dzięki temu podczas lotu pilot lub system zarządzania lotem może automatycznie aktualizować dane nawigacyjne lub meteorologiczne, potrzebne do sterowania statkiem powietrznym.



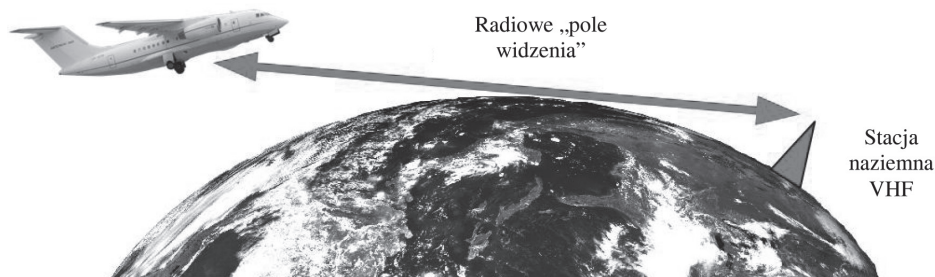
Ilustracja 102. Położenie i zasięg naziemnych stacji HF DL [65]

Źródło: Opracowanie własne

## 11.2. KOMUNIKACJA NA BARDZO WYSOKICH CZĘSTOTLIWOŚCIACH

Komunikacja na bardzo wysokich częstotliwościach (VHF) to podstawowy kanał wykorzystywany przez lotnicze służby ruchome do połączeń głosowych, szczególnie na linii pilot–kontrola lotów. Zakres częstotliwości VHF wynosi między 118 a 135,976 MHz, przy separacji międzykanałowej 25 kHz (zredukowanej do 8,33 kHz). Sposób rozchodzenia się fal radiowych na częstotliwościach VHF gwarantuje stabilne połączenie jedynie pomiędzy użytkownikami znajdującymi się w radiowym „polu widzenia” (il. 103). W praktyce komunikacja VHF obsługuje linie o długości do 350 km.

Ze względu na mały zasięg działania w porównaniu z rozwiązaniami HF komunikacja VHF wymaga rozbudowanej sieci naziemnych stacji komunikacyjnych, wyposażonych w nadajniki i odbiorniki.



Ilustracja 103. Długość linii komunikacyjnej VHF [65]

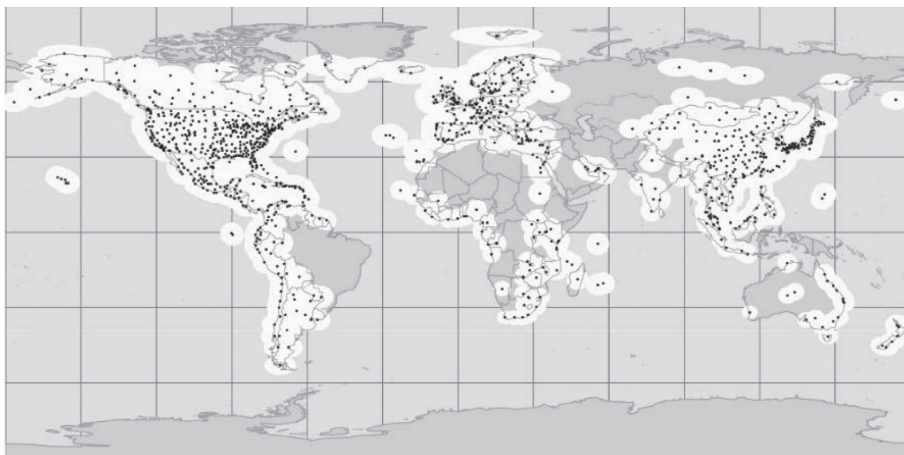
Źródło: Opracowanie własne

Wysoka niezawodność komunikacji organizacyjnej VHF umożliwia przesyłanie danych w formie cyfrowej. Transmisja danych cyfrowych na bardzo wysokich częstotliwościach odbywa się przez łącze danych VHF (*VHF Data Link*, VDL). ICAO zdefiniowała specjalne standardy dotyczące VDL, wyróżniające cztery podstawowe typy VDL:

- VDL Mode 1 opiera się na protokole wymiany danych ACARS, który umożliwia przesył danych z prędkością do 2,4 kBit/s,
- VDL Mode 2 obsługuje transfer danych z prędkością do 31,5 kBit/s; VDL 2 jest szybszy niż ACARS i służy do wymiany danych między kontrolą lotów i pilotami, z wykorzystaniem łącza danych kontroler–pilot (*Controller-to-Pilot Data Link Communication*, CPDLC),
- VDL Mode 3 opiera się na protokołach wielodostępu z podziałem czasowym (*Time Division Multiple Access*, TDMA), wykorzystującym kanały podzielone na szczeliny czasowe,
- VDL Mode 4 to samoorganizujący się protokół transmisji danych, który umożliwia nawiązanie cyfrowego połączenia między statkiem powietrznym i stacją naziemną lub innym statkiem powietrznym.

Ilustracja 104 prezentuje sieć stacji naziemnych VDL, zapewniającą stały dostęp do służb naziemnych, bez zakłóceń linii komunikacyjnych. Zwiększona gęstość sieci wynika z ograniczonego zasięgu komunikacji VHF.

Lotniczy system przekazywania i adresowania wiadomości (*Aircraft Communications Addressing and Reporting System*, ACARS) to system transmisji cyfrowej pozwalający wymieniać wiadomości i dane pomiędzy statkami powietrznymi i stacjami naziemnymi. Został opracowany w 1978 r. przez firmę ARINC. Transmisja danych w tym systemie odbywa się z prędkością nieprzekraczającą 2400 Bd, ale zapewnia wysoką niezawodność i bezpieczeństwo przekazu.



Ilustracja 104. Sieć naziemna i zasięg stacji VDL (GLOBALink) [34]

Źródło: Opracowanie własne

Jest to system wykorzystujący łącze cyfrowe do nadawania krótkich i stosunkowo prostych wiadomości pomiędzy statkami powietrznymi i stacjami naziemnymi za pomocą łączności radiowej lub satelitarnej. Człowiek lub urządzenie na pokładzie samolotu przygotowuje wiadomość i wysyła ją systemem ACARS do urządzenia lub użytkownika na ziemi i na odwrót. Wiadomości mogą być wysyłane automatycznie lub ręcznie. Sieć naziemnych stacji radiowych VHF sprawia, że statki powietrzne mogą się komunikować z odbiorcami na ziemi w czasie rzeczywistym, w każdym miejscu na świecie.

Typowa wiadomość ACARS zawiera: tryb operacyjny, numer identyfikacyjny statku powietrznego, potwierdzenie transferu danych, numer planu lotu oraz wysyłaną informację (np. „position report N49.04338E-122.75700 FL35000 ft./11482 m.”). Większość wiadomości ACARS ma długość od 100 do 200 znaków. Wiadomości takie wysyłane są z (do) statku powietrznego jako pojedyncze bloki informacji. Długość jednego bloku nie może przekroczyć 220 znaków.

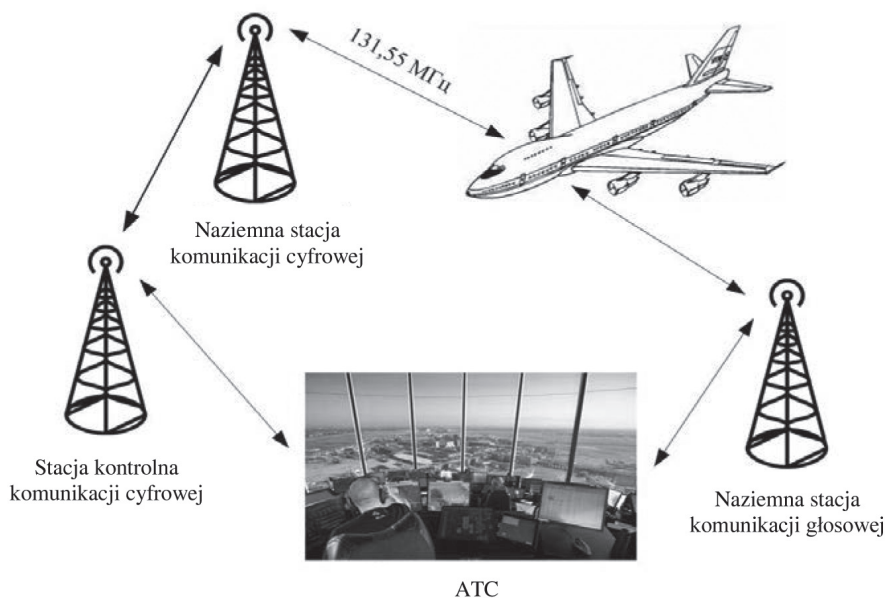
Pokładowe urządzenia ACARS to panel kontrolny i interaktywny wyświetlacz. Pilot wprowadza informacje lub automatycznie odbiera je od innego statku powietrznego, a następnie przekazuje do odbiornika naziemnego. Dodatkowo system ten umożliwia monitorowanie sprawności systemów pokładowych, wysyłając automatyczne sygnały w przypadku wykrycia nieprawidłowości.

Główne cele systemu ACARS to:

- dwustronna wymiana wiadomości i danych między statkami powietrznymi i stacjami naziemnymi; wiadomości wysyłane są automatycznie lub przez pilota,

- nawiązanie połączenia głosowego (przy pomocy funkcji selektywnego wywoływania – *selective calling*, SELCAL); kontrola lotów wysyła wiadomość do załogi statku powietrznego z wezwaniem do przygotowania do połączenia głosowego.

Ze względu na ograniczony zasięg działania fal VHF naziemna sieć ACARS musi składać się z wielu odbiorników na wszystkich kontynentach (il. 105).



Ilustracja 105. Działanie samolotu w sieci komunikacyjnej systemu ACARS [65]

Źródło: Opracowanie własne

Kiedy urządzenia pokładowe ACARS nie wysyłają żadnych wiadomości, system monitoruje komunikaty cyfrowe wysyłane ze stacji naziemnych. Każdy z nich zawiera unikatowy zakodowany adres określonego statku powietrznego. Dzięki temu urządzenia pokładowe odbierają tylko wiadomości adresowane do tego konkretnego statku powietrznego.

Główną funkcją ACARS jest dostarczanie informacji na temat danej fazy lotu i stanu technicznego urządzeń oraz systemów na pokładzie samolotu. Oprócz tego zapewnia on pilotom dostęp do bardzo wielu informacji związanych z obsługą lotu, oferowanych przez stacje naziemne, np. do danych pogodowych TAF i METAR na całym świecie.

Dostęp do wiadomości ACARS zapisanych w bazie danych jest możliwy poprzez naziemną cyfrową sieć wymiany danych oraz przez internet.

Bezpieczeństwo informacji jest zapewnione dzięki ograniczeniu dostępu. W zależności od ustawień prywatności urządzeń dostęp do danych może być nieograniczony lub uzależniony od uprawnień użytkownika.

### 11.3. SATELITARNE SYSTEMY KOMUNIKACYJNE

Urządzenia komunikacji satelitarnej to najbardziej uniwersalne i dostępne narzędzia komunikacyjne na pokładzie statku powietrznego.

Zasadę działania komunikacji satelitarnej obrazuje ilustracja 106. System komunikacji satelitarnej składa się z terminali użytkowników, satelitów komunikacyjnych, znajdujących się na orbicie geostacjonarnej lub polarnej, naziemnych stacji kontrolnych oraz terminali komunikacyjnych, umożliwiających przełączanie kanałów w systemie naziemnym.

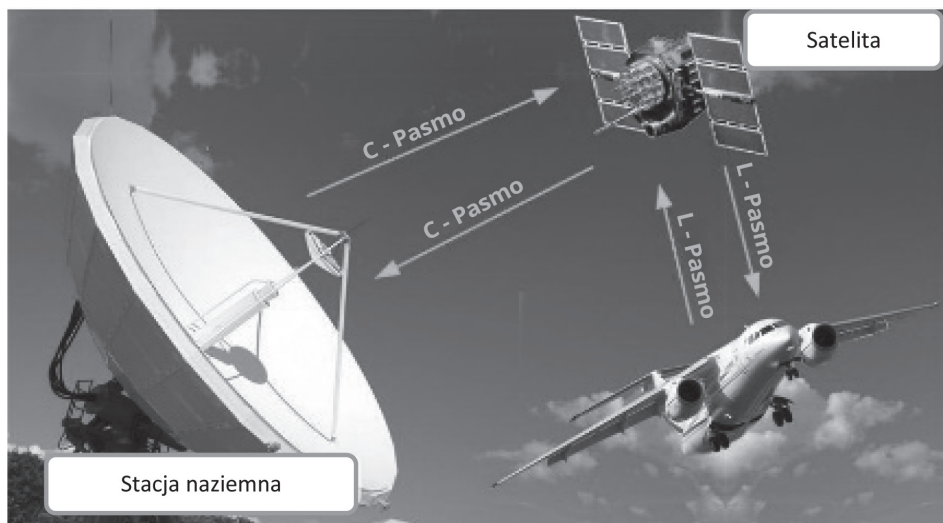
Najbardziej znani operatorzy świadczący usługi komunikacji satelitarnej to: Inmarsat, Iridium i Globalstar.

Najpopularniejszym dostawcą rozwiązań, które najlepiej spełniają potrzeby branży lotniczej, jest Inmarsat.

W skład modułu kosmicznego firmy Inmarsat wchodzi satelity geostacjonarne, umieszczone na wysokości 25 600 km. Satelity geostacjonarne krążą po orbicie z tą samą prędkością kątową co Ziemia, co sprawia, że widziane z jej powierzchni wydają się nieruchome.

Łączność za pośrednictwem satelitów geostacjonarnych jest znacznie stabilniejsza niż w przypadku satelitów umieszczonych na innych orbitach, ponieważ:

- podczas całej sesji komunikacyjnej z satelitą geostacjonarnym (o nieograniczonej długości) terminal pozostaje połączony z jednym satelitą, bez konieczności przełączania się do innego,
- satelity geostacjonarne nigdy nie znikają za górami ani za horyzontem, zatem nie ma ryzyka przerwania przesyłu danych.



Ilustracja 106. Połączenia w satelitarnym systemie komunikacyjnym [65]

Źródło: Opracowanie własne

Moduł kosmiczny Inmarsat składa się z czterech głównych i jednego zapasowego satelity trzeciej generacji. Główne satelity zostały nazwane zgodnie ze swoją lokalizacją:

- satelita Oceanu Indyjskiego (IOR) –  $64,5^\circ$  długości geograficznej wschodniej,
- satelita Oceanu Spokojnego (POR) –  $178^\circ$  długości geograficznej wschodniej,
- satelita wschodniego Atlantyku (AORE) –  $15,5^\circ$  długości geograficznej zachodniej,
- satelita zachodniego Atlantyku (AORW) –  $54^\circ$  długości geograficznej zachodniej.

Trzy spośród satelitów geostacjonarnych umieszczone zostały nad równikiem, co zapewnia pokrycie Ziemi na poziomie 98%, z wyjątkiem obszarów okołobiegunowych. Ponieważ cały system składa się z czterech satelitów, ich obszary zasięgu nachodzą na siebie i w niektórych regionach można dostrzec dwa lub trzy satelity Inmarsat.

Satelitarny system komunikacyjny Inmarsat obejmuje kilka podsystemów:

- Inmarsat-A – analogowy poprzednik systemu,
- Inmarsat-B – funkcjonalność Inmarsat A, cyfrowy standard,
- Inmarsat-C – dwustronna transmisja danych o niskiej prędkości przez proste terminale przenośne,
- Inmarsat-M – pierwszy przenośny telefon satelitarny na świecie,
- Inmarsat Mini-M – najpowszechniej wykorzystywany standard Inmarsat,



- Inmarsat Fleet – ogólnoświatowa komunikacja biznesowa, natychmiastowy dostęp do bieżących informacji gospodarczych,
- Inmarsat-M4 (GAN) – ogólnoświatowa sieć komunikacyjna (GAN),
- Inmarsat R-BGAN – szybki dostęp do internetu i sieci korporacyjnych,
- Inmarsat BGAN – szerokopasmowa komunikacja w każdym, nawet najbardziej odległym zakątku świata.

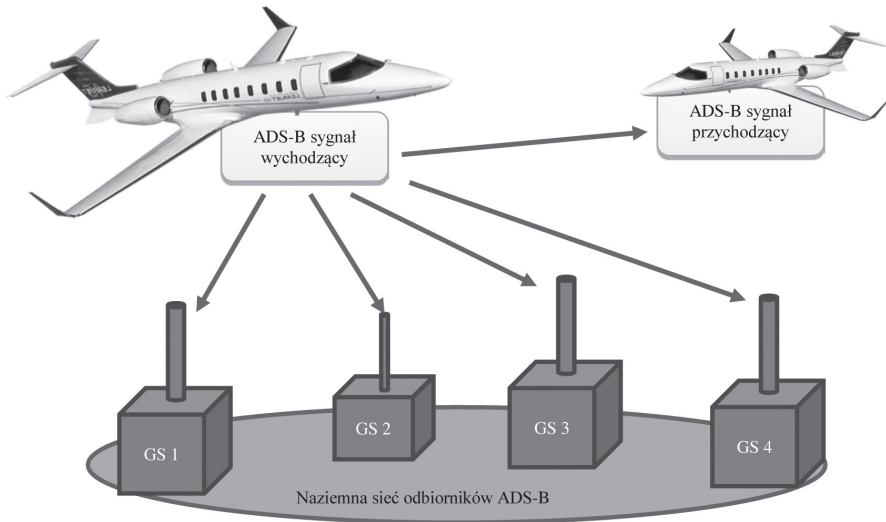
## AUTOMATYCZNE SYSTEMY DOZOROWANIA ZALEŻNEGO

Automatyczne zależne dozоровanie (*Automatic Dependent Surveillance, ADS*) to metoda nadzoru ruchu lotniczego oparta na bezpośrednich pomiarach dokonywanych na pokładzie statku powietrznego. Wykorzystuje dwuetapowy proces: pozycjonowanie na pokładzie statku powietrznego i udostępnianie wyników pomiaru innym użytkownikom przestrzeni powietrznej oraz kontroli lotów (il. 107). Dlatego dokładność pomiarów współrzędnych zależy od efektywności wykorzystywanego systemu pozycjonowania.

Najbardziej użyteczną technologią stosowaną w systemie ADS jest ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance-Broadcast* – automatyczne zależne dozоровanie-rozglaszanie). Główne cechy ADS-B to:

- *automatyczne* – okresowe nadawanie informacji bez ingerencji pilota,
- *zależne* – położenie i wektor prędkości samolotu określane są przy pomocy sieci GNSS i systemów wspomagających (np. EGNOS lub WAAS), które zwiększają dokładność pozycjonowania,
- *dozоровanie* – dostarcza informacji o położeniu każdego użytkownika, jego wysokości, prędkości, kursie oraz innych danych dotyczących lotu,
- *rozglaszanie* – informacja ze statku powietrznego jest nadawana we wszystkich kierunkach i powszechnie dostępna.

ADS-B wykorzystuje się obecnie w kontrolowanej przestrzeni powietrznej na całym świecie. Każdy użytkownik musi być obowiązkowo wyposażony w nadajniki ADS-B, by móc poruszać się w tej przestrzeni. Najpopularniejszym urządzeniem ADS-B na światowym rynku jest modyfikowany transponder samolotowy, działający w trybie 1090ES (tzw. *extended squitter*). Zgodnie z ustawieniami transponder w trybie 1090ES okresowo wysyła komunikaty cyfrowe zawierające kod identyfikacyjny statku powietrznego oraz jego współrzędne w formacie danych WGS-84. Minimalny odstęp pomiędzy kolejnymi komunikatami to 1 s.



Ilustracja 107. Działanie systemu automatycznego zależnego dozoru-rozglaszania (ADS-B)

Źródło: Opracowanie własne

Typowy komunikat ADS-B powinien zawierać następujące informacje [3]:

- numer ICAO statku powietrznego,
- typ (kategoria) statku powietrznego,
- znak wywoławczy statku powietrznego,
- położenie statku powietrznego (długość i szerokość geograficzna, w systemie WGS-84),
- wysokość geometryczna (długość i szerokość geograficzna, w systemie WGS-84),
- wysokość barometryczna (25-stopowa skala kodowania),
- prędkość (m/s),
- dostępność systemu TCAS na pokładzie ('tak' lub 'nie').

Oprócz transpondera 1090 ES, wykorzystywanego najczęściej w systemie ADS-B, alternatywnym rozwiązaniem umożliwiającym transmisję danych cyfrowych mogą być uniwersalne nadajniki-odbiorniki (*Universal Access Transceiver, UAT*) działające na częstotliwości 978 MHz lub urządzenia VDL Mode 4, pracujące na wielu częstotliwościach operacyjnych w zakresie VHF.

Budowa i utrzymanie naziemnych sieci stacji ADS-B umożliwiających odbiór cyfrowych komunikatów na dużych obszarach to zadanie instytucji zapewniających służby żeglugi powietrznej. Stacje przesyłają odkodowane informacje o położeniu statków powietrznych do systemu obsługi danych dozoru (*Surveillance Data Processing System, SDPS*). Ośrodki SDPS gromadzą dane o położeniu

statków powietrznych uzyskane z różnych czujników. Przetwarzanie danych przez SDPS obejmuje: ujednoczenie czasu pomiaru, lokalizację w określonym układzie odniesienia i fuzję danych metodą ważoną, z uwzględnieniem błędów pomiarowych. Następnie połączone dane wykorzystywane są w działaniach służb kontroli lotów. Dokładność danych w systemie ADS-B zależy przede wszystkim od efektywności systemów nawigacji satelitarnej (GNSS), zatem by poprawić skuteczność systemu ADS-B, obok odbiorników naziemnych działających w tym systemie często umieszcza się również stacje wspomagające GNSS (*Ground-Based Augmentation Stations*, GBAS). W takich przypadkach stacje wspomagające zwiększają skuteczność pozycjonowania w swoim zasięgu, a odbiorniki ADS-B otrzymują dokładniejsze raporty od użytkowników przestrzeni powietrznej. Stacje GNSS zapewniają również dokładny pomiar czasu zarejestrowania komunikatów ADS-B w systemie. Czas odbioru wiadomości ADS-B od jednego użytkownika przez różne stacje naziemne, zsynchronizowany przez GNSS, może być wykorzystany do pozycjonowania w systemach rozległej multilateracji (WAM). Podobnie jak multilateracja WAM wykorzystuje metodę pozycjonowania TDOA (różnicy czasowej nadejścia sygnału) do pomiaru współrzędnych transponderów 1090ES.

Obecnie, dzięki swoim licznym zaletom, ADS uważane jest za jedną z najbardziej perspektywicznych technologii dozoru. Najważniejsze z tych zalet to:

- niskie koszty utrzymania w porównaniu z systemami radarowymi,
- duża dokładność pozycjonowania statków powietrznych,
- niezawodność, możliwa dzięki cyfrowej formie danych,
- możliwości poprawy i zwiększenia funkcjonalności.

Naziemna sieć ADS-B może być rozwiązaniem alternatywnym wobec sieci radarów, bardziej efektywnym ze względu na niższe koszty utrzymania i większy zasięg działania. Komunikaty ADS-B mogą również służyć jako podstawowe sygnały w systemach multilateracji WAM i ACAS.

Dodatkowo system ADS-B daje pilotowi dokładny obraz ruchu lotniczego w pobliżu statku powietrznego. Zainstalowane na pokładzie odbiorniki ADS-B odbierają i odekodowują dane transmitowane przez nadajniki ADS-B innych użytkowników. Uzyskane w ten sposób informacje wyświetlane są na specjalnym monitorze w kokpicie, prezentując te same dane co ekrany radarów. Dzięki temu piloci znają dokładnie sytuację wokół swojego statku powietrznego, co pozwala im zachować bezpieczne odległości od innych użytkowników i zmniejsza obciążenie służb kontroli lotów.



# SYSTEMY WYKRYWANIA I ZAPOBIEGANIA KOLIZJOM W LOTNICTWIE

Wykrywanie zagrożeń i zapobieganie kolizjom to dwa spośród najważniejszych zadań autonomicznych systemów pokładowych, ponieważ wiążą się one bezpośrednio z bezpieczeństwem w lotnictwie. Bezpieczne wykorzystanie przestrzeni powietrznej jest możliwe jedynie przy zapewnieniu w pełni bezkonfliktowego środowiska. Dlatego wykrywanie potencjalnych konfliktów odbywa się w różnych fazach lotu. Większości konfliktów można zapobiec już na etapie planowania ruchu powietrznego. Na przykład podczas weryfikacji i zatwierdzania planów lotu można rozwiązać potencjalne konflikty pomiędzy różnymi użytkownikami przestrzeni w prosty sposób – zmieniając nieznacznie czasy odlotów. Pozwala to zrównoważyć natężenie ruchu lotniczego, zminimalizować ryzyko konfliktów i zmniejszyć obciążenie służb kontroli lotów.

Wykrywanie ryzyka kolizji jest również jednym z najbardziej skomplikowanych zadań w obszarze kontroli lotów. Wymaga ono uwzględnienia zróżnicowanych parametrów każdego z użytkowników przestrzeni powietrznej i wykorzystania cyfrowego modelu wysokościowego otaczającej przestrzeni. Dlatego by zapewnić wymagany poziom bezpieczeństwa lotu, w lotnictwie wprowadzono specjalne systemy umożliwiające w pełni automatyczne wykrywanie ryzyka kolizji. Podczas lotu funkcję tę pełnią specjalistyczne urządzenia pokładowe oraz algorytmy w automatycznym systemie kontroli lotów. Oba te rozwiązania funkcjonują równolegle i niezależnie, dostarczając pilotom i służbom kontroli lotów danych umożliwiających zapobieganie potencjalnym kolizjom.

Zadania związane z wykrywaniem i zapobieganiem kolizjom obejmują dwa typy zagrożeń – kolizji w powietrzu i zderzenia z ziemią. Zapobieganie kolizjom

w powietrzu to wykrywanie ryzyka potencjalnych konfliktów z innymi użytkownikami przestrzeni powietrznej. Z kolei zapobieganie zderzeniom z ziemią to wykrywanie sytuacji nadmiernego zbliżania się statku powietrznego do powierzchni ziemi lub sztucznych przeszkód.

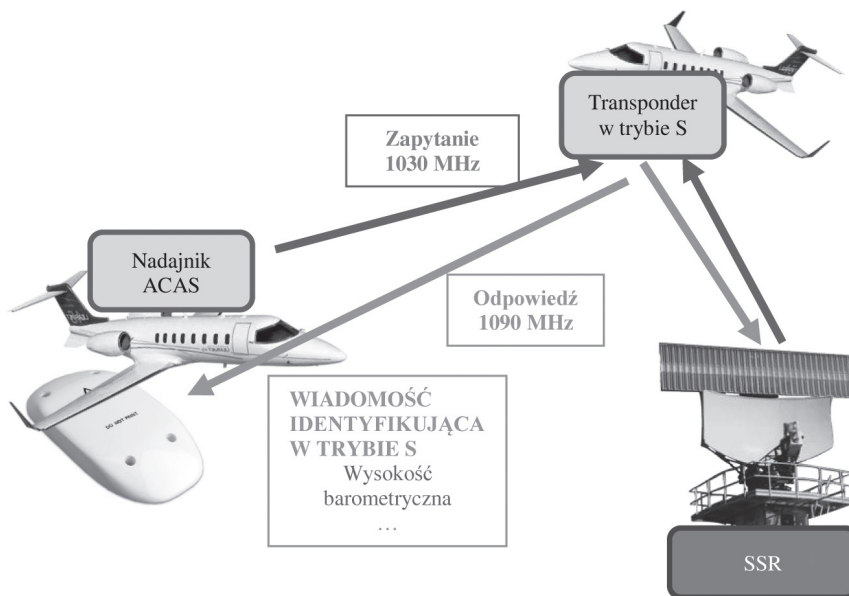
### 13.1. POKŁADOWY SYSTEM ZAPOBIEGANIA KOLIZJOM

Pokładowy system zapobiegania kolizjom (*Airborne Collision Avoidance System*, ACAS) to automatyczny system monitorowania ruchu lotniczego, którego celem jest wykrywanie potencjalnych konfliktów między użytkownikami przestrzeni powietrznej i wydawanie rekomendacji rozwiązania tych sytuacji dla pilotów [2]. Bezpieczne rozwiązywanie sytuacji konfliktowych w powietrzu to podstawowe zadanie inteligentnych systemów transportowych. Urządzenia dozoru systemu ACAS działają podobnie do wtórnych radarów dozoru, prowadząc dokładne pomiary odległości od innych użytkowników przestrzeni. W ten sposób ACAS można uznać za pokładowy czujnik mierzący odległości w otaczającym statek powietrzny ruchu lotniczym.

System ACAS został zatwierdzony przez liczne międzynarodowe dokumenty normatywne [2, 5].

- ACAS I informuje pilota o otaczającym ruchu lotniczym (*Traffic Advisory*, TA); pilot może obserwować natężenie ruchu i poruszające się w pobliżu statki powietrzne na monitorze TA w kokpicie,
- ACAS II wykrywa zagrożenie kolizji w powietrzu i generuje rekomendacje skoordynowanych manewrów w płaszczyźnie pionowej (*Resolution Advisory*, RA), które pilot powinien wykonać, by utrzymać minimum separacji od innych statków powietrznych,
- ACAS III będzie w przyszłości umożliwiał wykrywanie ryzyka kolizji w powietrzu i proponował rozwiązania konfliktów w płaszczyźnie pionowej i poziomej.

ACAS I to w pełni autonomiczny pokładowy system dozoru. Nadajnik ACAS I okresowo wysyła zapytania w trybie S do transponderów statków powietrznych znajdujących się w jego zasięgu (il. 108). Transponder ATCRBS odbiera to zapytanie i generuje sygnał odpowiedzi. Odpowiedź w trybie S to cyfrowa wiadomość, zawierająca dane dotyczące wysyłającego ją statku powietrznego. System ACAS wykorzystuje wysokość barometryczną do obliczenia wysokości względnej i wizualizacji na ekranach w kabinie pilota. W skrócie – urządzenia dozoru ACAS wykrywają względne współrzędne wszystkich użytkowników w otoczeniu statku powietrznego i oznaczają ich w specjalny sposób na monitorze w kokpicie.



Ilustracja 108. Dozоровanie ACAS

Źródło: Opracowanie własne

W przyszłości system ACAS I będzie dążył do szerszego wykorzystania danych ADS-B, by zredukować liczbę zapytań na częstotliwości 1030 MHz. W związku z tym ACAS zostanie uzupełniony o urządzenia ADS-B, odbierające i odkodowujące komunikaty ADS-B, wysyłane automatycznie przez innych użytkowników przestrzeni powietrznej. Dane ADS-B przedstawiane są w formacie WGS84, dlatego ACAS będzie musiał przekształcić je z globalnego układu współrzędnych WGS84 na lokalny układ odniesienia względem statku powietrznego, by właściwie zwizualizować je na monitorach w kokpicie. Tego typu transformacja danych wymaga precyzyjnego określenia bieżącej pozycji statku powietrznego i wykorzystuje liczne algorytmy, by dokonać jednostkowego pomiaru czasu.

Obecnie ACAS I jest powszechnie stosowany w systemach awioniki w lotnictwie ogólnym, szczególnie w Stanach Zjednoczonych, gdzie jest on uznawany za obowiązkowe wyposażenie lekkich samolotów (przewożących od 11 do 30 pasażerów).

ACAS II to obowiązkowe wyposażenie ciężkich samolotów (International Civil Aviation Organization, 2006), podczas gdy ACAS I znajduje się na liście minimalnego wyposażenia samolotów lotnictwa ogólnego w wielu rejonach.

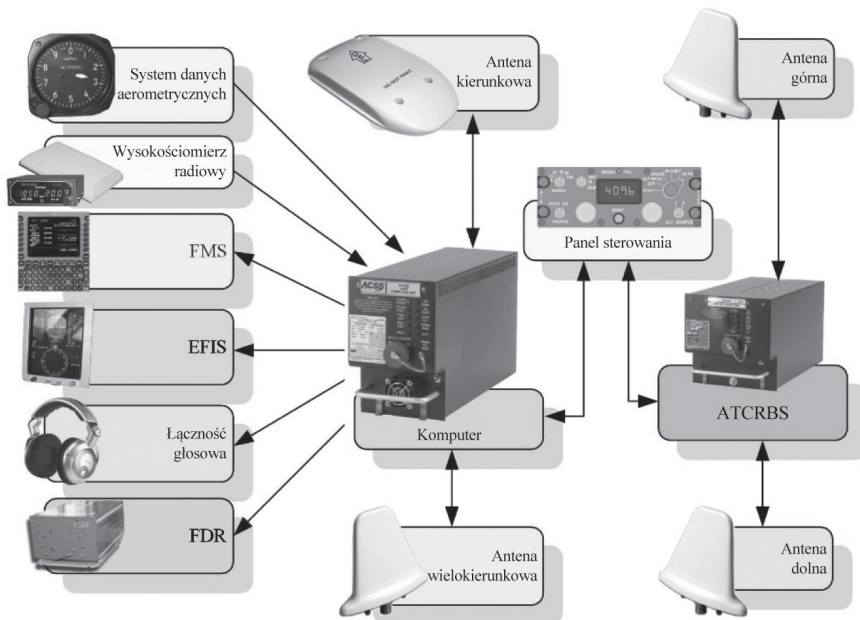
ACAS II opiera się na niezależnym dozоровaniu w celu wykrycia ruchu lotniczego, z wykorzystaniem radionamierników [61]. Jednostka komputerowa ACAS (il. 109)



generuje zapytania na częstotliwości 1030 MHz, podobne do sygnałów pytających wysyłanych przez radary dozorowania, i transmituje je przez system anten. Transponder w samolocie odbiera zapytanie i automatycznie generuje odpowiedź na częstotliwości 1090 MHz, ACAS otrzymuje tę odpowiedź i oblicza odległość do samolotu, który ją wysłał, na podstawie czasu nadejścia sygnału.

Antena kierunkowa ACAS może prowadzić namiar radiowy użytkowników przestrzeni powietrznej, ale jej dokładność w tym zakresie jest niewielka i w dużym stopniu zależy od geometrii lokalizacji otaczających samolotów. Zazwyczaj odchylenie w przypadku namiaru wynosi  $3^\circ$ , ale w niektórych przypadkach błąd może sięgać nawet  $30^\circ$ . Duży zakres błędów danych kątowych uniemożliwia wykorzystanie metody pozycjonowania na podstawie kąta nadejścia sygnału. Niemożność dokładnego ustalenia wzajemnego położenia samolotów powoduje, że rozwiązywanie konfliktów przy pomocy skoordynowanych manewrów w płaszczyźnie poziomej również staje się niemożliwe, co stanowi główne zagrożenie dla rozwoju ACAS III [2].

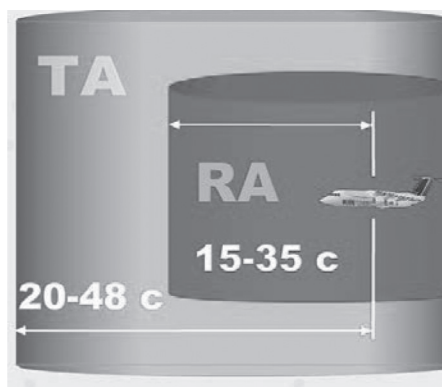
Sygnał odpowiedzi z transpondera w samolocie zawiera informacje o numerze lotu, znaku wywołania oraz wysokości barometrycznej. Dane te wykorzystywane są przez algorytm operacyjny ACAS do oceny ryzyka potencjalnej kolizji w powietrzu.



Ilustracja 109. Wymiana danych między TCAS a innymi elementami awioniki [65]

Źródło: Opracowanie własne

Algorytmy śledzące ACAS II monitorują ruchy sąsiadujących statków powietrznych, by przewidzieć ich trajektorie lotu. Na podstawie tych trajektorii system ocenia potencjalne ryzyko kolizji, wyznaczając punkt największego zbliżenia mijających się statków powietrznych. Następnie algorytmy ACAS II weryfikują, czy zbliżenie to nie przekracza minimum separacji w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Naruszenie przynajmniej jednego z tych minimów rodzi, według systemu, potencjalne ryzyko konfliktu między użytkownikami przestrzeni powietrznej. Po wykryciu takiego ryzyka ACAS II szacuje czas przelotu do punktu największego zbliżenia (punktu konfliktowego). Na podstawie tego czasu ACAS II wyznacza umowne strefy w przestrzeni wokół statku powietrzego, nazywane strefami ostrzegawczą i zagrożenia (il. 110). Wielkość tych stref zmienia się w zależności od wysokości lotu.



Ilustracja 110. Strefa ostrzegawcza i zagrożenia w systemie ACAS [65]

Źródło: Opracowanie własne

Ze względu na różnice w strukturze przestrzeni powietrznej i w wielkości minimów separacji wyróżniamy dwie podstawowe wersje algorytmów ACAS II:

- w Europie (ACAS II v.7.1) – od 1 stycznia 2005 r. dla samolotów przewożących więcej niż 11 pasażerów lub o maksymalnej masie startowej powyżej 5700 kg,
- w Stanach Zjednoczonych (ACAS II v.6.04) – od 1994 r. dla samolotów przewożących więcej niż 30 pasażerów.

Zgodnie z rekomendacją ICAO od 1 stycznia 2003 r. system ACAS II powinien być używany w skali ogólnoswiatowej.

Algorytmy wykrywające ryzyko kolizji w systemie ACAS II działają na podstawie kryterium czasowego, co oznacza, że kiedy wykryją potencjalny konflikt, system, w zależności od szacowanego czasu do zdarzenia, wysyła ostrzeżenie dotyczące

bieżącej sytuacji w powietrzu (TA) lub rekomendację działań pozwalających uniknąć konfliktu (RA). Bierze przy tym również pod uwagę czas potrzebny na wykonanie manewru zapobiegającego sytuacji konfliktowej. Zakres strefy ostrzegawczej to odległość między 20 a 48 s lotu od miejsca potencjalnego konfliktu, a strefy zagrożenia – między 15 a 35 s od miejsca konfliktu. Jeśli system wykryje statek powietrzny w strefie ostrzegawczej, uznaje go za obiekt stwarzający potencjalne zagrożenie i wysyła ostrzeżenie dotyczące bieżącej sytuacji (*Traffic Advisory*, TA). Ostrzeżenie to składa się z sygnałów wizualnych i dźwiękowych, które pomagają pilotowi dostrzec i zidentyfikować potencjalnie niebezpieczny statek powietrzny.

Jeśli stwarzający zagrożenie statek powietrzny znajdzie się w strefie zagrożenia, TCAS wydaje rekomendację (*Resolution Advisory*, RA), w jaki sposób rozwiązać konfliktową sytuację. Rekomendacje RA mogą mieć charakter prewencyjny lub korekcyjny. Każda RA odnosi się do określonej prędkości pionowej lub zakresu prędkości pionowej, w zależności od sposobu rozwiązania sytuacji (patrz: tab. 11).

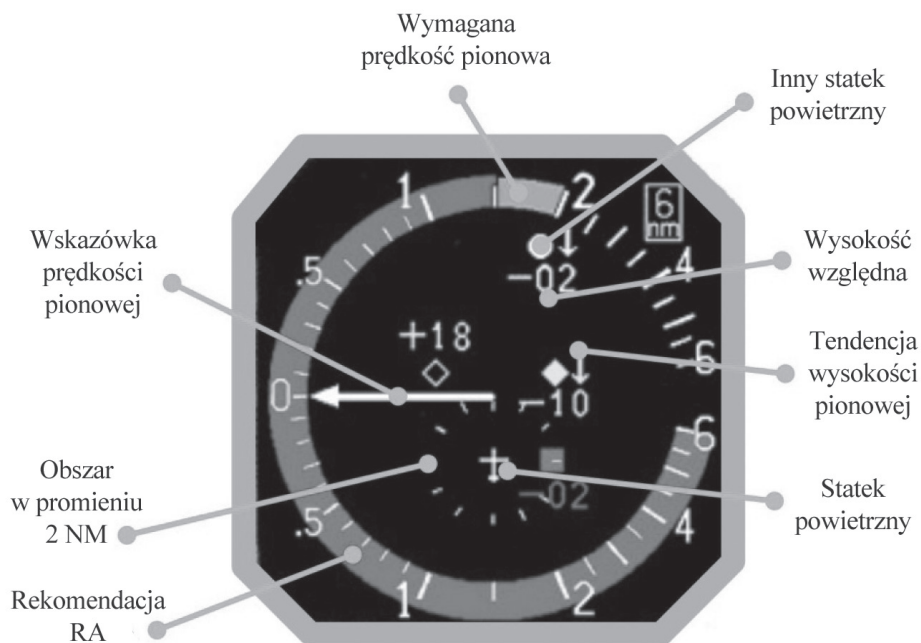
Tabela 11. Polecenia ACAS II dla pilota i wymagane prędkości pionowe

Manewry w górę		Manewry w dół	
RA	Wymagana zmiana prędkości pionowej (stopy na minutę)	RA	Wymagana zmiana prędkości pionowej (stopy na minutę)
Monitor vertical speed Monitoruj prędkość pionową	–	Monitor vertical speed Monitoruj prędkość pionową	–
Climb – Wznoś się	+1500	Descend – Schodź	–1500
Climb, crossing, climb – Wznoś się, samolot na twojej wysokości	+1500	Descend, crossing descend – Schodź, samolot na twojej wysokości	–1500
Increase climb – Zwiększ wznoszenie	+2500	Increase descent – Zwiększ schodzenie	–2500
Climb, climb now! – Wznoś się, natychmiast!	+1500	Descent, descent now! – Schodź, natychmiast!	–1500
Maintain vertical speed, maintain Utrzymaj prędkość pionową	od +1500 do + 4400	Maintain vertical speed, maintain Utrzymaj prędkość pionową	od –1500 do –4400

Maintain vertical speed, crossing maintain Utrzymaj prędkość pionową, samolot na twojej wysokości	od +1500 do + 4400	Maintain vertical speed, crossing maintain Utrzymaj prędkość pionową, samolot na twojej wysokości	od -1500 do -4400
Level off Wyrównaj	0	Level off Wyrównaj	0

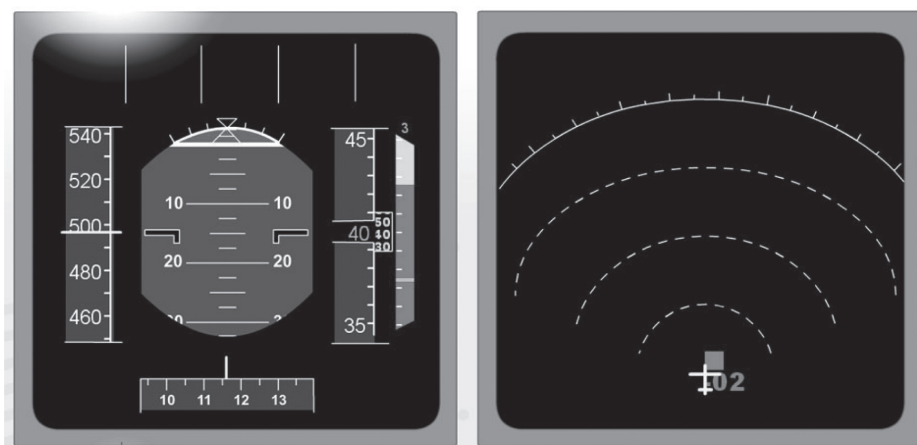
Źródło: Opracowanie własne

Dane dotyczące ruchu wokół statku powietrznego i rekomendacje RA widoczne są dla obu pilotów, na specjalnych monitorach w kokpicie. Do prezentacji danych ACAS wykorzystuje się wyświetlacz ze wskaźnikiem prędkości pionowej (wariometrem) i obrazem ruchu lotniczego wokół statku powietrznego (WSI/TDI) (il. 111), ulepszony wyświetlacz radaru pogodowego, lub wyświetlacz elektronicznego systemu przyrządów lotu (EFIS) (il. 112).



Ilustracja 111. Dane ACAS na wyświetlaczu VSI/TDI [65]

Źródło: Zbiory autora



Ilustracja 112. Dane ACAS na monitorze EFIS [9]

Źródło: Zbiory autora

W zależności od wpływu na bezpieczeństwo ruchu lotniczego użytkownicy przestrzeni powietrznej oznaczani są na monitorze ACAS różnymi symbolami. Jeśli trajektorie statków powietrznych nie przecinają się, są one przedstawione w formie niebieskich rombów. Jednak statki powietrzne przelatujące w odległości pionowej przekraczającej 1200 stóp są puste w środku, zaś te, których odległość pionowa jest mniejsza niż 1200 stóp, a odległość fizyczna mniejsza niż 6 mil, są jednolicie niebieskie.

Jeśli ACAS wykryje potencjalny konflikt w promieniu 20–48 s, samolot-intruz oznaczony jest żółtym kółkiem. W takich sytuacjach pilot powinien zlokalizować ten samolot wzrokowo i zapobiec kolizji, wykonując manewry ręcznie, zgodnie z zasadami lotów z widocznością.

W przypadku wysłania rekomendacji RA samolot-intruz oznaczony jest jako czerwony kwadrat. Równocześnie algorytm ACAS II szacuje, jaka prędkość pionowa będzie konieczna do wykonania odpowiedniego manewru w płaszczyźnie pionowej i pokazuje jej wartość w postaci zielonej linii na skali wariometru. Ta bezpieczna prędkość pozwala na rozdzielenie statków powietrznych na odpowiednią odległość, określoną w wymaganiach definiujących minimum separacji. Czerwona linia na wariometrze pokazuje zakres zabronionych prędkości pionowych. Wiadomość głosowa „Clear of conflict” (konflikt zażegnany) oznacza udane rozwiązanie problemowej sytuacji. Po zakończeniu konfliktu statki powietrzne wracają na swoje pierwotnie zaplanowane trajektorie.

Piloci mają obowiązek zareagować na pierwszą rekomendację RA w ciągu 5 s od wysłania wiadomości głosowej. Reakcja na każdą kolejną RA powinna nastąpić w ciągu 2,5 s od wydania rekomendacji, bo taki czas reakcji gwarantuje bezpieczne rozwiązanie konfliktu.

Stale rosnące natężenie ruchu lotniczego i problem związany z pojawieniem się w kontrolowanej przestrzeni bezzałogowych statków powietrznych [25] wywołały potrzebę udoskonalenia standardu ACAS. Nowe proponowane rozwiązanie to ACAS X, oparty na podejściu probabilistycznym wykorzystującym metodę dynamicznego programowania, umożliwiającego wybór optymalnej ścieżki manewrowania [2, 16, 62]. Również funkcja dozoru systemu ACAS X została poprawiona dzięki wykorzystaniu danych ADS-B. Według wstępnych propozycji planowany jest rozwój czterech podstawowych modeli ACAS X [2]:

- ACAS Xa – ma zastąpić ACAS II, wykorzystuje aktywne zapytania i pasywne dozowanie przy pomocy ADS-B,
- ACAS Xo – rozszerzona wersja ACAS Xa, do wykorzystania w zatłoczonej przestrzeni powietrznej,
- ACAS Xu – wersja do użytku w zdalnie sterowanych systemach lotniczych,
- ACAS Xp – wersja dla lotnictwa ogólnego, oparta na dozowaniu przy pomocy ADS-B.

Przyszły rozwój systemów ACAS będzie w całości oparty na powszechnym wykorzystaniu danych ADS-B, w tym szczegółowych informacji na temat położenia użytkowników przestrzeni powietrznej [3, 63].

### 13.2. SYSTEM OSTRZEGANIA O ZBLIŻAJĄCEJ SIĘ POWIERZCHNI ZIEMI (TAWS)

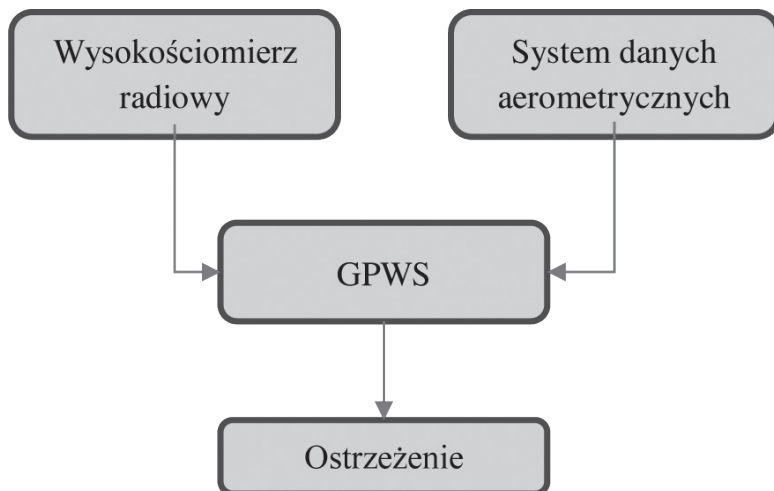
Jak pokazują statystyki i analiza wypadków, zderzenie z ziemią należy do najbardziej niebezpiecznych sytuacji w lotnictwie. Pierwszy pokładowy system ostrzegania o bliskości ziemi (*Ground Proximity Warning System*, GPWS) został opracowany i wprowadzony do użytku na początku lat 80. ub.w. GPWS wysyła wizualne i dźwiękowe ostrzeżenia dla pilotów, informujące o zagrożeniu zderzenia z ziemią z powodu gwałtownego zmniejszania wysokości samolotu. Zasadniczo system wykorzystuje pomiar wysokości nad poziomem gruntu (*Above Ground Level*, AGL), dokonywany przez wysokościomierz radiowy, oraz dane o prędkości pionowej, uzyskane od przyrządów barometrycznych, i na tej podstawie ocenia, czy schodzenie statku powietrznego nie następuje w zbyt szybkim tempie (il. 113). GPWS nie ma własnych czujników, a jest jedynie systemem analizującym i przetwarzającym dane pozyskane z innych czujników.



Ilustracja 113. Zasada działania systemu GPWS

Źródło: Opracowanie własne

System GPWS może wykorzystywać również dane z wysokościomierzy barometrycznych, czujników na klapach skrzydeł czy na podwoziu, a także informacje o zakresie odchylenia statku powietrznego od planowanej ścieżki podejścia uzyskane od ILS. Ilustracja 114 przedstawia schemat wymiany danych w systemach GPWS.



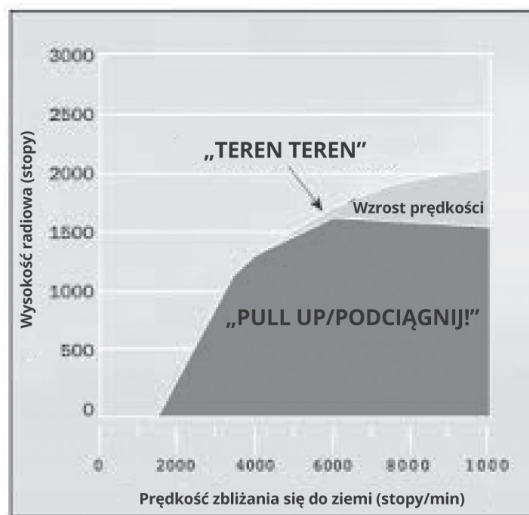
Ilustracja 114. Wymiana danych w systemie GPWS

Źródło: Opracowanie własne

System porównuje dane pochodzące z różnych czujników z posiadanymi informacjami o strefach operacyjnych danego statku powietrznego i jeśli uzna, że znajduje się on poza którąś z tych stref, wysyła ostrzeżenie do pilota w celu uniknięcia zderzenia z ziemią. Działa zazwyczaj w jednym z sześciu poniższych trybów [92]:

- Tryb 1. Przekroczenie prędkości schodzenia
- Tryb 2. Przekroczenie prędkości zbliżania się do ziemi
- Tryb 3. Utrata wysokości po starcie
- Tryb 4. Podwozie
- Tryb 5. Zejście poniżej ścieżki podejścia
- Tryb 6. Powiadomienia o wysokości

**Tryb 1. Przekroczenie prędkości schodzenia.** W tym trybie GPWS analizuje wysokość nad poziomem gruntu (AGL) w odniesieniu do prędkości pionowej statku powietrznego. Jeśli wysokość ta jest niższa niż 500 stóp i samolot nadal schodzi w dół z dużą prędkością, system wysyła ostrzeżenie „*sink rate*” (tempo opadania). Zgodnie z zasadą działania GPWS dokładny moment wysłania tego ostrzeżenia zależy od wysokości i prędkości pionowej samolotu (il. 115). Jeśli pilot zignoruje ostrzeżenie i samolot nadal zniża lot z nadmierną prędkością, GPWS wysyła kolejne ostrzeżenie – „*pull up*” (podciągnij).



Ilustracja 115. Zasada działania GPWS w trybie 1 [74]

Źródło: Opracowanie własne

**Tryb 2. Przekroczenie prędkości zbliżania się do ziemi.** GPWS porównuje radiową wysokość AGL i prędkość zbliżania się do ziemi, obliczoną na podstawie



tempa zmian wysokości. Jeśli system wykryje przekroczenie tej prędkości, wysła ostrzeżenie „*terrain, terrain*” (teren) lub ostrzeżenie głosowe „*pull up*”. W zależności od fazy lotu tryb 2 GPWS może być podzielony na dwa podtryby, identyfikowane na podstawie położenia klap skrzydeł – tryb 2A dla fazy przelotu i tryb 2B dla fazy lądowania.

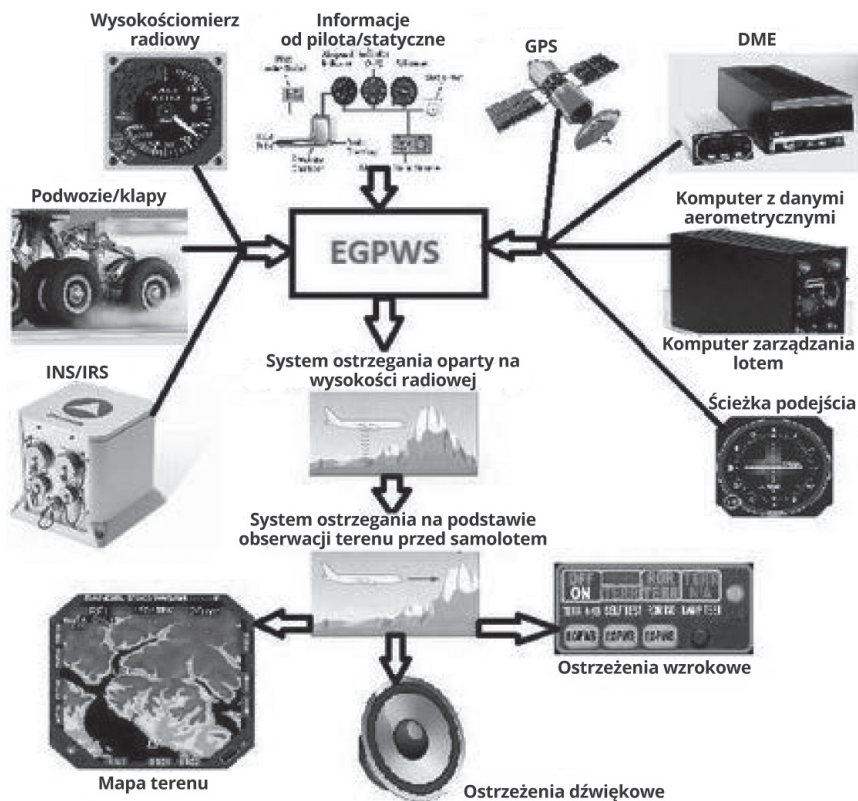
**Tryb 3. Utrata wysokości po starcie.** W tym trybie GPWS analizuje pozycję statku powietrznego po starcie i alarmuje pilota w przypadku nagłej utraty wysokości. System wysła ostrzeżenie „*don't sink*” (nie opadaj), jeśli samolot po starcie zejdzie nagle poniżej wysokości 95 stóp.

**Tryb 4. Podwozie.** W trybie 4 GPWS analizuje konfigurację podwozia podczas manewrów samolotu na małych wysokościach. System wysła ostrzeżenie „*too low gear*” (zbyt niskie podwozie), jeśli statek powietrzny zejdzie poniżej wysokości 125 stóp, a jego podwozie nie jest ustawione w pozycji do lądowania.

**Tryb 5. Zejście poniżej ścieżki podejścia.** Tryb 5 uruchamia się podczas lądowania samolotu na przyrządach (w systemie ILS). GPWS porównuje odchylenie samolotu od wyznaczonej ścieżki podejścia i wysła ostrzeżenie „*glide slope*” (ścieżka podejścia), jeśli wykryje, że maszyna znajduje się poniżej ścieżki podejścia na wysokości AGL wynoszącej 400 stóp lub mniejszej.

**Tryb 6. Powiadomienia o wysokości.** Faza lądowania uważana jest za jedną z najniebezpieczniejszych faz lotu. Piloci muszą zachować pełne skupienie podczas kontrolowania wielu parametrów decydujących o bezpieczeństwie. GPWS w trybie 6 wysła pilotom dźwiękowe powiadomienia o wysokości, dając im pełną wiedzę na temat aktualnego położenia samolotu względem ziemi. Powiadomienia generowane są dla wysokości 10, 20, 30, 40, 50, 100, 200 i 300 stóp.

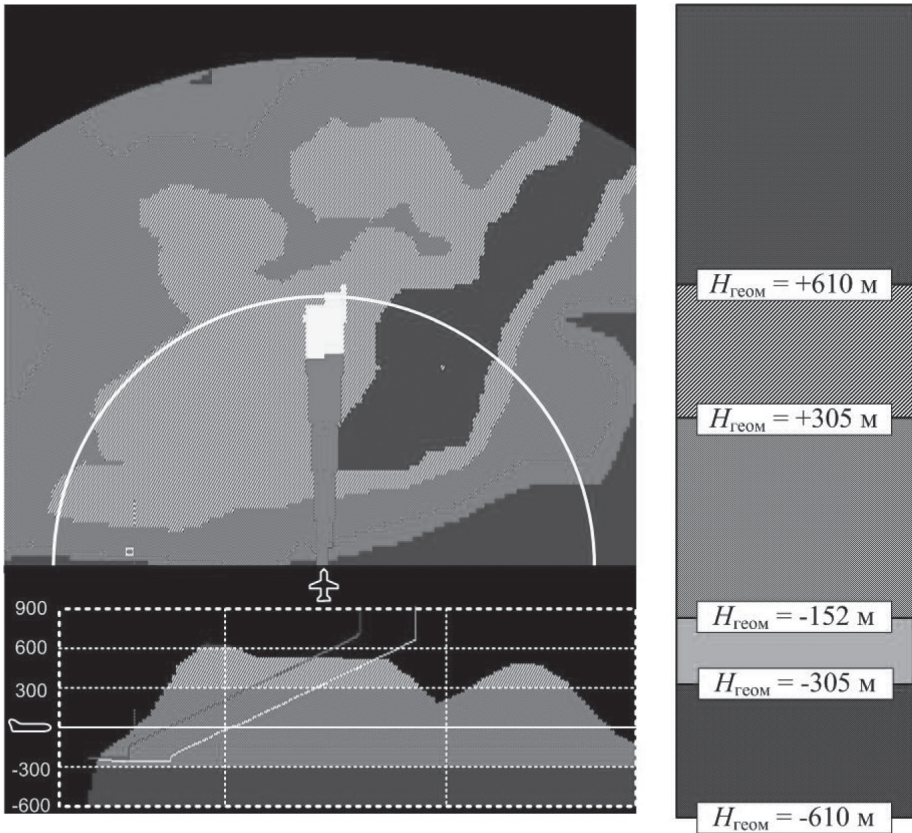
Niestety, GPWS to system, który analizuje teren tylko pod statkiem powietrznym i nie pozwala wykrywać zagrożeń związanych z rzeźbą terenu przed nim. Jednak wprowadzenie i dynamiczny rozwój cyfrowych rozwiązań dla lotnictwa umożliwiły opracowanie algorytmu ostrzegającego o zagrożeniach w terenie przed statkiem powietrznym (*Forward Looking Terrain Alerting, FLTA*). Został on dołączony do pozostałych funkcji GPWS, tworząc rozszerzone GPWS (*Enhanced GPWS, EGPWS*). FLTA opiera się na pomiarach bieżących współrzędnych samolotu i ich porównaniu z dokładnym cyfrowym modelem terenu. Algorytm analizuje wcześniejsze pozycje maszyny oraz inne dostępne dane (prędkość pionową i prędkość w relacji do ziemi) i na tej podstawie przewiduje prawdopodobieństwo zderzenia z ziemią w bliskiej przyszłości. Obieg i sposób wymiany danych w systemie EGPWS pokazuje ilustracja 116. Jak widać, EGPWS działa w tych samych trybach co GPWS, uzupełnionych o algorytm FLTA.



Ilustracja 116. Działanie system EGPWS

Źródło: [https://sl-aviation.fandom.com/wiki/Ground\\_proximity\\_warning\\_system\\_\(GPWS\)](https://sl-aviation.fandom.com/wiki/Ground_proximity_warning_system_(GPWS))

EGPWS wymaga dokładnych baz danych ukształtowania powierzchni, sztucznych konstrukcji oraz dróg startowych znajdujących się na całym świecie. Wszystkie te bazy danych muszą być na bieżąco aktualizowane, by zapewnić prawidłowe działanie algorytmu FLTA. Jedną z dodatkowych funkcji systemu EGPWS jest możliwość wizualizacji terenu i wszystkich jego niebezpiecznych elementów, w tym również sztucznych konstrukcji. Obraz jest dostępny na monitorach elektronicznego systemu przyrządów lotu (EFIS) lub na osobnym ekranie EGPWS. Przykład takiej wizualizacji, w płaszczyźnie pionowej i poziomej, z kolorami oznaczającymi różne wysokości terenu, znajduje się na ilustracji 117.



Ilustracja 117. Wizualizacja terenu w systemie EGPWS na ekranie EFIS  
(południowe wybrzeże Krymu)

Źródło: [https://www.avionics.sciary.com/proximity\\_warning\\_system](https://www.avionics.sciary.com/proximity_warning_system)

By uniknąć nieporozumień dotyczących GWPS i EGPWS, amerykańska służba nadzoru, FAA, wprowadziła nowe oznaczenie dla tego typu systemu – TAWS (*Terrain Awareness and Warning System*, system ostrzegania o zbliżającej się powierzchni ziemi) – i podzieliła go na trzy główne klasy [28].

Klasa A systemu TAWS jest zasadniczo kompatybilna z funkcjami systemu EGPWS. Klasa B ma te same funkcje co GWPS. Z kolei klasa C przeznaczona jest dla samolotów lotnictwa ogólnego, mogących przewieźć mniej niż 6 pasażerów.

## SYSTEM ZARZĄDZANIA LOTEM

Nowoczesne samoloty wyposażone są w całą rzeszę systemów kontroli i sterowania. Niemal każda z operacji wykonywanych na pokładzie kontrolowana jest przez jakieś urządzenie elektroniczne. Na różnych poziomach przetwarzania i kontroli danych stosuje się rozmaite cyfrowe systemy komputerowe. Jednak każdy z tych systemów i przyrządów wymaga dostrojenia do określonych parametrów. W wielu przypadkach są to złożone i długotrwałe operacje, dlatego piloci muszą poświęcać dużo czasu na rutynowe działania związane z obsługą systemów pokładowych.

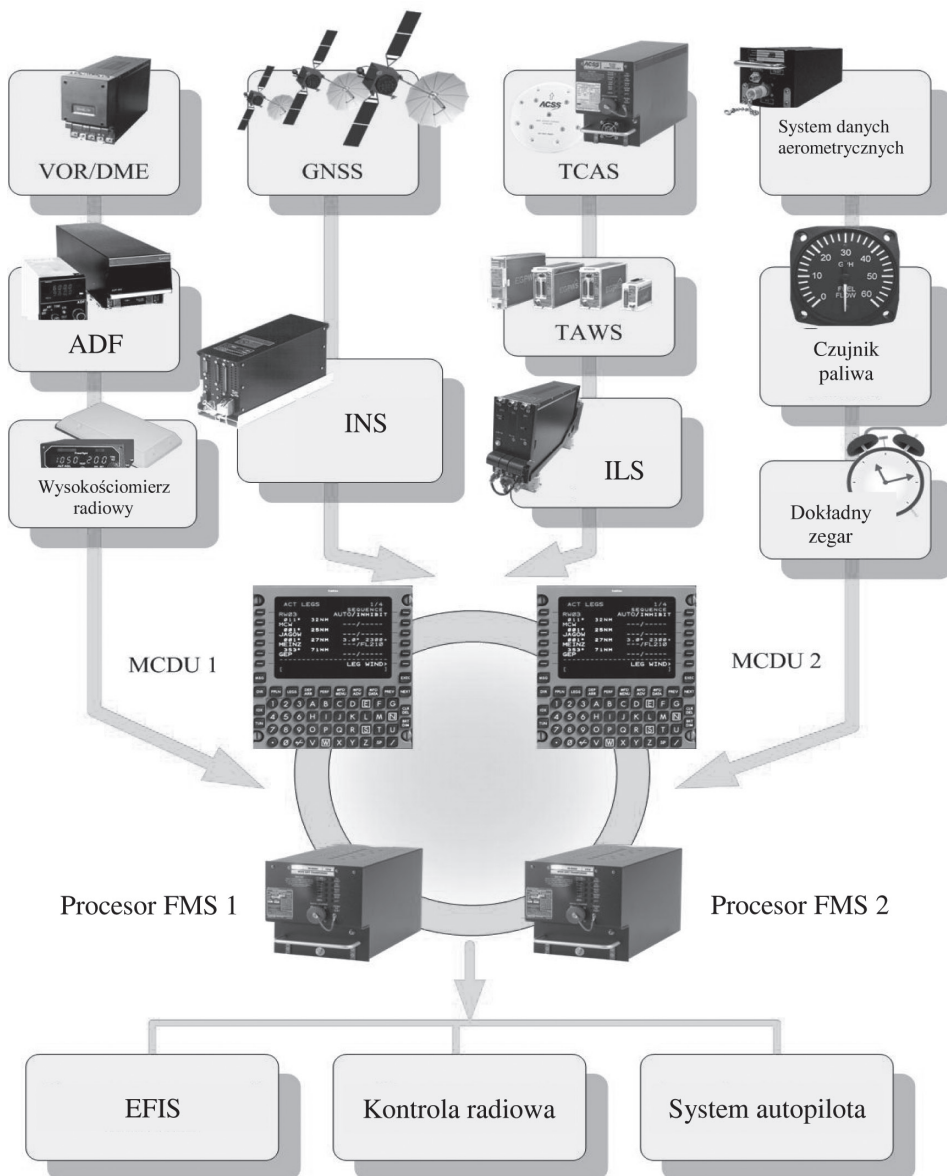
System zarządzania lotem (*Flight Management System*, FMS) to system komputerowy, który pomaga pilotowi kontrolować statek powietrzny i sterować nim podczas lotu. Przeprowadza wszystkie rutynowe operacje związane z wykorzystaniem systemów pokładowych w locie. System FMS umożliwia pilotom większe skupienie na kontroli lotu, zwalniając ich z obowiązku ustawiania systemów i urządzeń.

Funkcjonalność FMS w ciągu ostatnich 20 lat znacząco się zwiększyła. Typowy FMS zawiera dwa procesory oraz dwie wielofunkcyjne jednostki sterowania i wyświetlania (*Multifunction Control and Display Unit*, MCDU). Schemat wymiany danych w FMS przedstawia ilustracja 118.

System FMS gromadzi dane z następujących urządzeń:

- odbiorników GNSS,
- INS,
- wysokościomierzy radiowych,
- odbiorników sygnałów VOR,
- nadajników DME,
- automatycznych namierników,
- ILS,
- TCAS i TAWS,
- systemu danych aerometrycznych,

- sygnały z czujników pokładowych, związane z poziomem paliwa i pomiarem czasu.

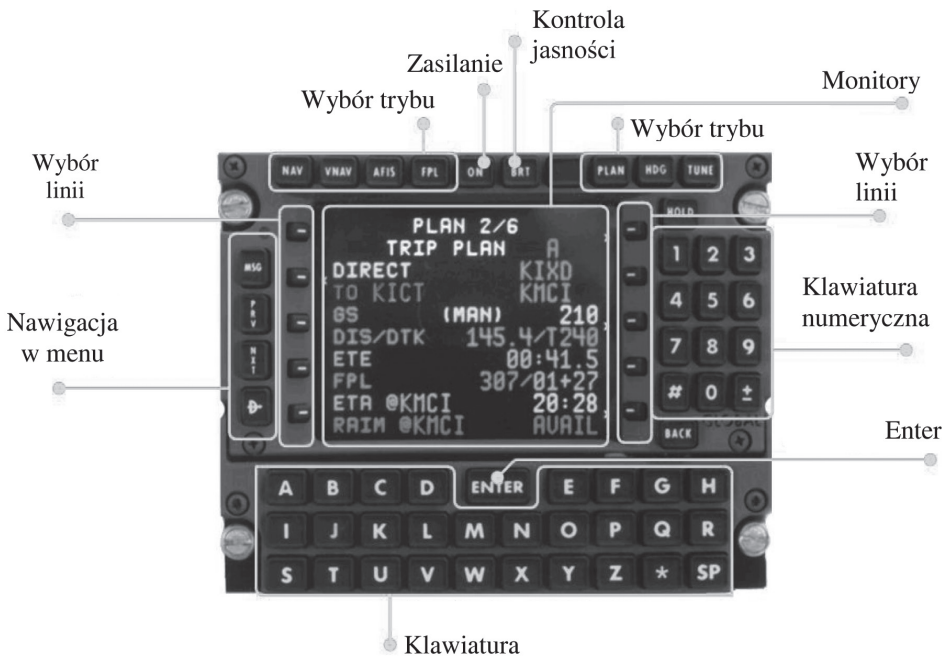


Ilustracja 118. Wymiana danych w systemie FMS

Źródło: [https://www.avionics.sciary.com/flight\\_management\\_system\\_fms](https://www.avionics.sciary.com/flight_management_system_fms)

FMS analizuje zgromadzone dane z tych wszystkich systemów, a następnie dostraja urządzenia nawigacji radiowej przy pomocy radiowej jednostki kontrolnej i utrzymuje odpowiednią trajektorię lotu przy pomocy autopilota oraz systemu automatycznych przepustnic. Generuje dane wymagane do wizualizacji wszystkich parametrów lotu na monitorach w kabinie pilotów. Podczas lotu FMS analizuje kolejne jego fazy i przedstawia dane niezbędne do prawidłowego sterowania samolotem na głównym monitorze kontroli lotu i monitorze nawigacyjnym (*primary flight display* i *navigation display*). System ten prezentuje również na monitorze nawigacyjnym mapę nawigacyjną, sporządzoną na podstawie baz danych nawigacyjnych przechowywanych w wewnętrznej pamięci systemu.

Interakcja FMS z pilotem następuje za pomocą ekranu MCDU. Jednostka ta wykorzystywana jest do programowania funkcji FMS i wyświetlania danych operacyjnych. Przykład typowego MCDU znajduje się na ilustracji 119. MCDU składa się z monitora i klawiatury służącej do wprowadzania poleceń i danych wejściowych. Wszystkie informacje wyświetlane są na ciekłokrystalicznym monitorze (LCD). Klawisze MCDU umożliwiają wybór właściwego trybu pracy i wpisanie potrzebnych informacji.



Ilustracja 119. MCDU „GNX-Xls” (Honeywell) [65]

Źródło: Zbiory autora

FMS pełni trzy główne funkcje: nawigacyjną, operacyjną i kontrolną [65, 84].

*Funkcja nawigacyjna.* FMS wykorzystuje liczne algorytmy sterowania i kontroli, które wspierają realizację wszystkich zadań nawigacyjnych, niezbędną do właściwego funkcjonowania samolotu. Jednym z podstawowych zadań FMS jest pozycjonowanie w przestrzeni. W tym celu FMS gromadzi dane z kilku źródeł – dwóch czujników GNSS i dwóch czujników INS – i przeprowadza fuzję danych metodą ważoną, by precyzyjnie określić położenie samolotu. System FMS pełni także funkcje wspierające realizację wymagań RNP. Jedną z nich jest monitorowanie danych dotyczących pozycjonowania i alarmowanie w sytuacjach, kiedy dokładność pozycjonowania nie spełnia wymagań RNP1, RNP2 lub RNP5. W przypadku błędów w pozycjonowaniu lub niewłaściwego działania GNSS system FMS koryguje położenie na podstawie danych uzyskanych z pomocy nawigacyjnych, takich jak pary urządzeń DME/DME, VOR/DME lub VOR/VOR. FMS może wykorzystywać rozmaite algorytmy filtrowania błędów, np. do filtrowania danych z czujników można użyć prostych filtrów Kalmana lub Wienera [68].

W wewnętrznej pamięci FMS przechowywane są bazy danych:

- lotnisk,
- dróg startowych,
- korytarzy lotniczych,
- pomocy nawigacyjnych,
- schematów standardowego odlotu według wskazań przyrządów (*Standard Instrument Departure, SID*) oraz standardowego dolotu według wskazań przyrządów (*Standard Instrument Arrival Route, STAR*),
- planów lotów linii lotniczych itd.

Podczas lotu FMS wykorzystuje informacje z tych baz danych, by zapewnić bezpieczne działanie samolotu i prezentuje wszystkie niezbędne dane na monitorach nawigacyjnych w kokpicie. W pamięci FMS znajdują się także plany lotów, wspierające sterowanie samolotem i automatyczną kontrolę radiowych urządzeń nawigacyjnych na pokładzie samolotu.

*Funkcja operacyjna.* W wewnętrznej pamięci FMS zapisany jest prosty model matematyczny statku powietrznego, wykorzystywany do wyboru najskuteczniejszego trybu pracy. Zasadniczo FMS bierze pod uwagę masę i obciążenie samolotu, poziom lotu, niektóre wskaźniki kosztowe oraz inne elementy, by obliczyć następujące parametry: efektywną prędkość samolotu, optymalną wysokość lotu, a także minimalne i maksymalne parametry lotu. Wyniki tych obliczeń są prezentowane na monitorze MCDU w systemie EFIS. Model statku powietrznego pozwala również oszacować przybliżony czas jego przybycia do wyznaczonych punktów pośrednich na trasie lotu, a także czas przybycia na lotnisko docelowe.

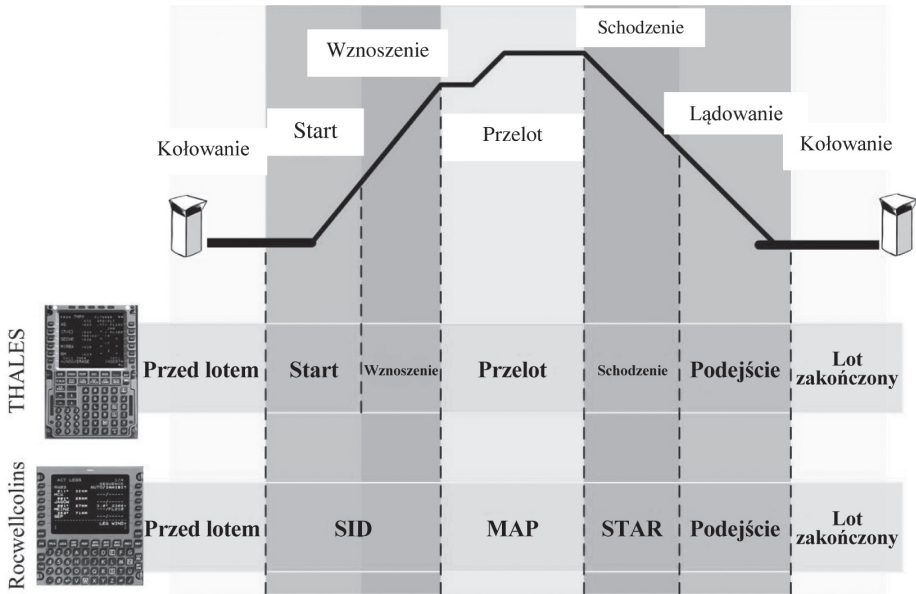
*Funkcja kontrolna.* FMS jest połączony z cyfrowym systemem kontroli lotu i autopilotem. System porównuje rzeczywiste współrzędne samolotu z planowaną trajektorią lotu, by wykryć potencjalne odchylenia. Informacje o tych odchyleniach przesyłane są do systemu automatycznego pilota, który koryguje tor lotu. FMS wykorzystuje dane o efektywnej prędkości statku powietrznego i szacowanym czasie przylotu do celu, by wspomagać system kontroli silnika w utrzymywaniu optymalnej trajektorii.

Główne funkcje systemu FMS wspomagają nawigację w płaszczyźnie poziomej i pionowej, nawigację 4D i planowanie optymalnej trajektorii i są kompatybilne z przyszłymi systemami żeglugi powietrznej. Nawigacja w poziomie wspiera sterowanie statkiem powietrznym tylko w płaszczyźnie poziomej (2D), a nawigacja pionowa – tylko w płaszczyźnie pionowej (2D). Nawigacja czterowymiarowa (4D) obejmuje pozycjonowanie statku powietrznego w obu płaszczyznach – poziomej i pionowej, z uwzględnieniem skali czasowej.

Inną ważną funkcją FMS jest prezentacja danych nawigacyjnych i operacyjnych na monitorach systemu EFIS. Podczas lotu piloci potrzebują pełnej wiedzy na temat bieżącej sytuacji, dlatego FMS grupuje dane odpowiednio do fazy lotu i przedstawia je na monitorach kontroli lotu i nawigacyjnych. W zależności od typu FMS tryby działania systemu i fazy prezentacji danych mogą się nieco różnić. Najczęściej spotykamy następujące tryby działania FMS: przed lotem, start, wznoszenie, przelot, schodzenie, podejście, lot zakończony. Podstawowe tryby działania FMS, w odniesieniu do kolejnych faz lotu, stosowane przez głównych producentów, przedstawia ilustracja 120.

Obecnie coraz częściej systemy FMS zawierają zintegrowane odbiorniki GNSS oraz czujniki bezwładnościowe, co pozwala zmieścić wszystkie narzędzia do pozycjonowania w jednym urządzeniu. Na przykład modele FMS 5000 (Rockwell Collins), GNS-XLS (Honeywell), UNS-1Ew, UNS-1Fw, UNS-1Lw (Universal Avionics System) zawierają odbiorniki GNSS ze wspomaganie WAAS/EGNOS.





Ilustracja 120. Podstawowe tryby działania FMS

Źródło: [https://www.avionics.sciary.com/flight\\_management\\_system\\_profiles](https://www.avionics.sciary.com/flight_management_system_profiles)

# WSPÓŁCZESNE TRENDY W DZIAŁANIACH SŁUŻBY ŻEGLUGI POWIETRZNEJ

## 15.1. ZARZĄDZANIE INFORMACJĄ W SYSTEMIE TRANSPORTU LOTNICZEGO

Służba informacji lotniczej (*Aeronautical Information Service, AIS*) odpowiada za gromadzenie, publikowanie i rozpowszechnianie danych lotniczych niezbędnych do zapewnienia bezpiecznych i regularnych operacji statków powietrznych. Przejście od wykorzystującej papierowe dokumenty AIS do cyfrowego zarządzania informacją lotniczą (*Aeronautical Information Management, AIM*) wymaga zapisania tych wszystkich danych w formacie elektronicznym i udoskonalenia metod zarządzania danymi pod względem dostępności, dokładności oraz integralności.

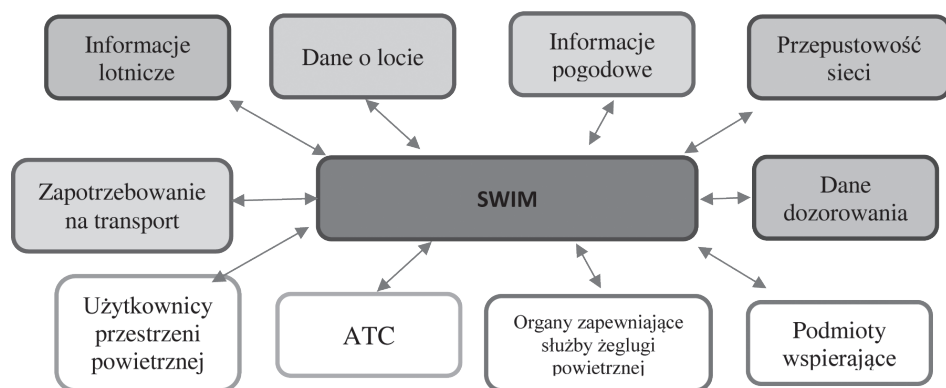
Zarządzanie informacją w systemie transportu lotniczego (*System-Wide Information Management, SWIM*) to sieciocentryczne środowisko informacyjne, reprezentowane w Europie przez EUROCONTROL. SWIM ułatwia tworzenie i uruchamianie końcowych aplikacji w systemie zarządzania ruchem lotniczym (ATM), jest narzędziem upowszechniania informacji. Stwarza możliwości obsługi zaawansowanych aplikacji, opartej na powszechnym dostępie do danych i zdolności wyszukiwania najodpowiedniejszych źródeł informacji.

Środowisko SWIM obejmuje najważniejsze elementy programu SESAR, operacje sieciocentryczne, system współdecydowania, zarządzanie trajektoriami lotów, nowe metody określania minimów separacyjnych i udoskonalony system informacji lotniczej, a także zapewnia łatwiejszy dostęp do informacji i usług.

Nie ma wątpliwości, że żaden z tych elementów nie mógłby funkcjonować w pełni efektywnie bez SWIM. W tym środowisku statek powietrzny jest jednocześnie

źródłem i użytkownikiem danych, punktem węzłowym w sieci SWIM. Wszystkie dane powinny być bezpieczne i wiarygodne.

W zasobach danych SWIM znajdują się informacje lotnicze i pogodowe, dane o lotach, o zapotrzebowaniu na usługi transportowe, przepustowości sieci, a także dane dozoru (il. 121). System oferuje dostęp do tych informacji użytkownikom przestrzeni powietrznej, instytucjom zapewniającym usługi żeglugi powietrznej i podmiotom wspierającym zarządzanie ruchem lotniczym. SWIM odgrywa kluczową rolę, ponieważ powszechny dostęp do informacji zwiększa zdolność oceny sytuacji i poprawia bezpieczeństwo ruchu lotniczego.



Ilustracja 121. Środowisko SWIM

Źródło: Opracowanie własne

## 15.2. CYBERBEZPIECZEŃSTWO W SŁUŻBACH ŻEGLUGI POWIETRZNEJ

Z uwagi na dynamiczny rozwój urządzeń komputerowych i wykorzystanie sieci cyfrowych na różnych poziomach procesu transferu danych w systemie żeglugi powietrznej branża lotnicza musi stawić czoła wyzwaniom związanym z cyberbezpieczeństwem. Kwestia zapewnienia bezpieczeństwa transferu danych przez łącza cyfrowe oraz integralności kanałów komunikacyjnych stała się jednym z priorytetów służb żeglugi powietrznej. Dziś problem nieautoryzowanego dostępu do danych przesyłanych między użytkownikami systemu żeglugi powietrznej i nielegalnego wykorzystania tych danych staje się coraz poważniejszy. Ochronę transferowanych danych zapewniają różnego rodzaju urządzenia i systemy.

Służby ruchu lotniczego mierzą się z problemem bezpieczeństwa danych od wielu lat w związku z powszechnym wykorzystaniem łączności radiowej. Na przykład

linie komunikacyjne między pilotami i kontrolą lotów na wysokich i bardzo wysokich częstotliwościach nie są zabezpieczone przed nieautoryzowanym dostępem. Dlatego każda osoba dysponująca odpowiednim odbiornikiem może uzyskać dostęp do wszystkich transmitowanych wiadomości. Również przesłanie danych, które mogłyby całkowicie zniszczyć jakiś kanał komunikacyjny w paśmie wykorzystywanym przez lotnictwo nie jest skomplikowaną technicznie operacją. Cyfrowe łącza pomiędzy statkami powietrznymi i obsługą naziemną są zazwyczaj zabezpieczone, ale algorytmy analizujące przesyłane dane rozwijają się bardzo szybko, co wymaga zwiększenia poziomu ochrony danych podczas transmisji.

Temat cyberbezpieczeństwa wymaga szczególnej uwagi, ze względu na powszechne wykorzystanie kanałów oraz sieci transferujących dane w standardowej komunikacji radiowej i naziemnej. Dlatego głównym celem służb odpowiedzialnych za cyberbezpieczeństwo w systemie żeglugi powietrznej jest ochrona przed nieuprawnionym dostępem do kanałów komunikacyjnych i próbami modyfikacji danych.

We współczesnym systemie żeglugi powietrznej dostępu do przesyłanych danych nie ogranicza już zasięg działania urządzeń radiowych, ponieważ znacznie wzrosła ilość sieci transmisji danych i możliwości ich wykorzystania. Teoretycznie uzyskanie dostępu do pożądaných informacji jest dziś możliwe z każdego miejsca na świecie, niezależnie od lokalizacji użytkownika, za pośrednictwem sieci cyfrowych. W takich przypadkach właściwie sformułowana wiadomość cyfrowa, zawierająca celowo zniekształcone informacje, która zostanie przesłana na pokład statku powietrznego, może doprowadzić do nieprzewidzianých rezultatów. Dlatego jedynie fizyczne ograniczenie dostępu do urządzeń przesyłających i transferujących dane może zapewnić ochronę informacji.

Format danych i sposób kodowania cyfrowych wiadomości w służbach żeglugi powietrznej, przesyłanych w systemie ADS-B lub trybie S, są jasno i czytelnie opisane w dokumentach ICAO. Cyfrowe wiadomości w tych systemach są zakodowane i niechronione, co umożliwia odbiór i odczyt transmitowanych danych nawigacyjnych w kanale komunikacyjnym między samolotem a odbiornikiem naziemnym [85]. W takim przypadku możliwe są dwa rodzaje nielegalnych działań:

- zagłuszanie kanału komunikacyjnego (*jamming*) – zgłuszanie oznacza zakłócenie komunikacji przez emisję szumów lub innych danych, które ograniczają wydajność kanału komunikacyjnego,
- podszywanie się (*spoofing*) – podszywanie się polega na umieszczeniu w kanale komunikacyjnym niekatulanych komunikatów nawigacyjnych lub modyfikowaniu przesyłanych danych.

Wprowadzanie niewłaściwych danych do algorytmów nawigacyjnych powoduje nieprawidłowości w działaniu urządzeń, dlatego podszywanie się stanowi znacznie

większe zagrożenie niż zagłuszanie. Urządzenia nawigacyjne nie potrafią wykryć historycznych modyfikacji w odbieranych sygnałach i kontynuują swoje działanie, generując błędne dane.

Stały wzrost znaczenia systemów GNSS na rynku usług lokalizacyjnych przekłada się na coraz powszechniejsze wykorzystanie tego typu rozwiązań w różnych rodzajach działalności, zarówno prywatnej, jak i komercyjnej. Jednocześnie na poziomie prywatnych zabezpieczeń popularność zastosowań GNSS stwarza podstawy wprowadzenia i upowszechnienia specjalnych systemów zagłuszających sygnały nawigacyjne [78]. Nie chcemy tu omawiać militarnego aspektu tego problemu, związanego z celowym wykorzystaniem zagłuszaczy do generowania szumów zakłócających radiowe częstotliwości komunikacyjne, lecz chcemy się skupić na poziomie prywatnych użytkowników. Dziś na światowym rynku dostępne są rozmaite zagłuszacze małej mocy, o zasięgu od kilkunastu do kilkuset metrów. Niewielkie rozmiary, zasilanie na baterie oraz niska cena powodują, że urządzenia te są coraz popularniejsze wśród kierowców taksówek i ciężarówek. Zasada działania zagłuszaczy polega na generowaniu prostych szumów w spektrum GNSS. Wykorzystanie pasma GNSS do transmisji jakichkolwiek sygnałów zawierających prosty szum gaussowski jest naruszeniem przepisów o spektrum radiowym, co oznacza, że korzystanie z zagłuszaczy jest niezgodne z prawem. Jednakże niska moc i ograniczony zasięg działania tych urządzeń sprawiają, że są one niezwykle trudne do wykrycia dla stacjonarnych stacji kontroli spektrum radiowego [85].



Ilustracja 122. Zagłuszacze niskiej mocy [85]

Źródło: Zbiory autora

Tym niemniej korzystanie z zagłuszaczy w pobliżu lotnisk może wpływać negatywnie na dokładność systemów pozycjonowania stosowanych podczas startu i lądowania samolotów lub systemów nawigacyjnych wykorzystywanych podczas kołowania samolotów lub działań służb naziemnych, a nawet może zakłócać pracę rozmaitych systemów wspomaganie (np. LAAS, WAAS, EGNOS, GBAS) [85]. Statystyki dotyczące użycia tych urządzeń wspominają o problemie „nieumyślnego” użycia przyrządów zagłuszających. Oznacza to sytuacje, w których właściciele korzystają z zagłuszaczy, by zablokować własne odbiorniki, bez intencji zakłócania operacji na lotnisku. Według wielu analiz [85, 78] problem przypadkowego użycia zagłuszaczy może stać się jednym z najważniejszych zagrożeń dla systemów GNSS w najbliższej przyszłości.

Główne źródła sygnału zagłuszaczy to autostrady, drogi, parkingi oraz inne miejsca, w których mogą się znajdować samochody. Najbardziej nieprzewidywalne z nich są autostrady, ze względu na krótki okres i zmiany mocy transmisji w punkcie pozycjonowania. Takie przypadki nieumyślnego użycia zagłuszaczy można analizować z punktu widzenia teorii kolejek i procesu Poissona, badając dalej ich oddziaływanie na efektywność urządzeń nawigacyjnych. Wpływ nieumyślnego zagłuszania na proces pozycjonowania może się różnić w zależności od użytego sprzętu i zagłuszanego pasma radiowego. Zagłuszacz może być ukierunkowany na transmitowanie szumów w paśmie tylko jednego GNSS, a pokładowy system pozycjonowania statku powietrznego może działać w trybie konstelacyjnym i wykorzystywać sygnały nawigacyjne nadawane w wielu pasmach radiowych. W takich sytuacjach utrata danych nawigacyjnych z jednego z systemów GNSS może zmniejszyć dokładność pozycjonowania, ale nie zablokuje tej funkcji całkowicie.

Jednym z możliwych sposobów rozwiązania problemu zakłóceń lub nieumyślnego zagłuszania systemów GNSS może być wykorzystanie zestawu anten adaptacyjnych. Niestety na razie ze względów ekonomicznych systemy anten adaptacyjnych nie są zbyt popularne w lotnictwie cywilnym, a ich użycie ogranicza się do zastosowań militarnych.

By zapewnić wymagany poziom cyberbezpieczeństwa, system żeglugi powietrznej został objęty pięciopoziomowym modelem ochrony danych [23].

Poziom 1. Bezpieczeństwo personelu wymaga zapewnienia ochrony osób obsługujących dane nawigacyjne, dlatego tylko ograniczony personel ma dostęp do najważniejszych danych dotyczących bezpieczeństwa i technologii transferu danych. Jedynie wprowadzenie fizycznych zabezpieczeń może zagwarantować ochronę przed nieuprawnionym użyciem sprzętu.

Poziom 2. Ważne elementy infrastruktury systemu, znajdujące się poza zabezpieczonym obszarem, muszą być wyposażone w wielopoziomowe rozwiązania autoryzacyjne. Tylko uprawniony personel może wykorzystywać te urządzenia, by uzyskać dostęp do linii komunikacyjnych.

Poziom 3. Autonomiczne działanie każdego z elementów systemu. Na przykład centrum kontroli lotów musi być przygotowane do pełnienia swojej funkcji nawet w przypadku całkowitej utraty łączności z innymi centrami.

Poziom 4. Każdy element systemu żeglugi powietrznej musi używać specjalnych kluczy autoryzacji, by uzyskać dostęp do całego systemu.

Poziom 5. Wymagany poziom redundancji w systemie i w kanałach komunikacyjnych pozwala uniknąć nieprzewidzianych przerw w działaniu.

# ZAKOŃCZENIE

Nasz podręcznik przedstawia w sposób zorganizowany i systematyczny stronę teoretyczną oraz praktyczne aspekty budowy statków powietrznych i systemu żeglugi powietrznej.

Książka została podzielona na dwa moduły: *Budowa statków powietrznych* i *System żeglugi powietrznej*, zawierające następujące rozdziały:

- Wczesna historia aeronautyki
- Historia aeronautyki w XX w.
- Klasyfikacja statków powietrznych
- Ogólna charakterystyka i parametry samolotów i śmigłowców
- Układ kabiny pasażerskiej we współczesnych samolotach i śmigłowcach
- Układ przedziałów ładunkowych we współczesnych samolotach i śmigłowcach
- Przyszłość lotnictwa
- Podstawy systemu żeglugi powietrznej
- Urządzenia dozorowania w systemie żeglugi powietrznej
- Urządzenia nawigacji lotniczej
- Rola komunikacji w systemie żeglugi powietrznej
- Automatyczne systemy dozorowania zależnego
- Systemy wykrywania i zapobiegania kolizjom w lotnictwie
- System zarządzania lotem
- Współczesne trendy w działaniach służb żeglugi powietrznej.

Nasz podręcznik prezentuje analizę strukturalną rozwoju aeronautyki, poczynając od czasów historycznych aż do sięgających w przyszłość trendów. Autorzy zwracają szczególną uwagę na zagadnienie rozwoju technologii lotniczych i nawigacyjnych. Podręcznik wykorzystuje systemowe podejście do branży lotniczej jako systemu otwartego. Możliwość prowadzenia dokładnej nawigacji w przestrzeni powietrznej jest niezwykle istotna z punktu widzenia efektywnych działań logistycznych, ponieważ zapewnia bezpieczeństwo transportu. Dlatego kwestie związane z konstrukcją statków powietrznych oraz szczegóły działania służb żeglugi powietrznej



opisane w niniejszej książce dostarczają istotnej wiedzy w kontekście logistyki transportu lotniczego.

Liczne zalety transportu lotniczego przyczyniają się do ciągłego wzrostu liczby użytkowników przestrzeni powietrznej. Jednym ze sposobów rozwiązania problemu rosnącego ruchu lotniczego jest zwiększanie efektywności statków powietrznych i możliwości systemu żeglugi powietrznej. Dziś obserwujemy dynamiczny rozwój systemu ruchu lotniczego w zakresie poprawy wydajności i bezpieczeństwa transportu. Innym bardzo ważnym wyzwaniem jest bezpieczne włączenie bezałogowych systemów powietrznych do ruchu lotniczego w kontrolowanej przestrzeni. Przyszłe zmiany w systemie ruchu lotniczego wymagają dokładnej analizy najważniejszych elementów struktury systemu żeglugi powietrznej, opracowania nowych strategii kontroli lotów oraz weryfikacji nowych rozwiązań – autonomicznych, wyposażonych w technologię rozpoznawania obrazów i umiejętność uczenia się.

Institucje naukowe i badawcze odgrywają bardzo ważną rolę w opracowaniu programów szkoleniowych, technologii i regulacji w obszarze lotnictwa cywilnego. National Aviation University i Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu zwracają szczególną uwagę na kwestię rozwoju obszaru budowy statków powietrznych i systemu żeglugi powietrznej, dlatego od ponad 10 lat prowadzą wspólne działania naukowe i edukacyjne w tym zakresie. Ponad 30 zorganizowanych wspólnie międzynarodowych kongresów i konferencji naukowo-praktycznych, skutecznie prowadzone programy mobilności wykładowców i studentów, wspólne publikacje oraz liczne projekty innowacyjne mają istotny wkład w poprawę poziomu bezpieczeństwa transportu lotniczego.

Obecnie w ramach tych działań National Aviation University w Kijowie i Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu otwierają wspólnie nową specjalizację pod nazwą logistyka w awiacji. Nasz podręcznik jest ściśle związany z programem kilku kursów tej specjalizacji. Działania naukowe i edukacyjne obu szkół mają na celu wkład w rozwój międzynarodowego lotnictwa cywilnego oraz opracowanie systemu szkoleń dla wysoko wykwalifikowanych specjalistów w dziedzinie logistyki lotniczej. Niniejsza publikacja stanowi kolejny element niezwykle owocnej współpracy obu naszych instytucji.

# BIBLIOGRAFIA

- [1] A 320 Ground Operations Manual: <http://www.fly-car.de/local/media/formulare/airbusindustries.pdf>.
- [2] ACAS Guide Airborne Collision Avoidance, Eurocontrol, 2017, s. 92.
- [3] Advisory Circular airworthiness approval of ADS-B Out System, AC 20-165, FAA, 2010, s. 113.
- [4] AIP (2017). Aeronautical Information Publication of Ukraine. Ukrainian State Air Traffic Services Enterprise.
- [5] Airborne Collision Avoidance System (ACAS) Manual, Doc 9863, ICAO, 2006, s. 203.
- [6] Airbus 320 aircraft characteristics airport and maintenance planning.
- [7] Airbus 320 aircraft characteristics airport and maintenance planning.
- [8] Airworthiness Criteria for the Installation Approval of a Terrain Awareness and Warning System (TAWS) for Part 25 Airplanes. AC 25-23. FAA. s. 32.
- [9] Załącznik 14 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym – Lotniska (ICAO, wydanie aktualne).
- [10] Załącznik 6 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym – Eksploatacja statków powietrznych (ICAO, wydanie aktualne).
- [11] Załącznik 7 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym – Znaki przynależności państwowej oraz rejestracyjne (ICAO, wydanie aktualne).
- [12] Załącznik 8 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym – Zdarność do lotu statków powietrznych (ICAO, wydanie aktualne).
- [13] Załącznik, ICAO (2006). 10, tom 1: Międzynarodowe normy i zalecane metody postępowania. Telekomunikacja lotnicza. Pomoce radionawigacyjne, 303.
- [14] Aviation Safety Reporting System. Internetowa baza danych, NASA, <https://asrs.arc.nasa.gov/search/database.html>.
- [15] Britting, Kenneth R.: *Inertial navigation systems analysis*. 1971.
- [16] Chamlou, R.: *Design principles and algorithm development for two types of nextgen airborne conflict detection and collision avoidance*. Artykuł prezentowany podczas Integrated Communications, Navigation, and Surveillance Conference Proceedings, 2010 ICNS 2010, N7-1–N7-12. <https://doi.org/10.1109/ICNSURV.2010.5503327>.
- [17] Chiesaa S., Russob G., Fioritia M., Corpino S.: *Status and Perspectives of Hypersonic*

- Systems and Technologies with Emphasis on the Role of Sub-Orbital Flight*. The Journal of Aerospace Science, Technology and Systems: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4020-2469-1.pdf>.
- [18] Cir, ICAO (2008). 319: Unified framework for collision risk modelling in support of the manual on airspace planning methodology with further applications, an/181 ed. International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada.
- [19] Konwencja o międzynarodowym lotnictwie cywilnym (konwencja chicagowska) została podpisana 7 grudnia 1944 r. w Chicago.
- [20] Bugayko D., Isaienko V., Kharchenko V., Pawęska M.: *Challenges of International Science and Education in the Field of Aviation Transport Safety*. Logistics and Transport – Wrocław: International School of Logistics and Transport in Wrocław. – 2018. – Nr 2 (38). – s. 23–32.
- [21] Doc, ICAO (2008). 9613: Performance-based navigation (PBN) manual. Montréal: International Civil Aviation Organisation, 304.
- [22] Doc, ICAO (2012). 9849: Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual, s. 68.
- [23] Encyclopedia of aviation safety. Kulik N.S. 2008. s. 999. (w jęz. ukraińskim).
- [24] Eurocontrol, (2008) GUID-114, Guidelines for RNAV Infrastructure Assessment, Edition 1.2, 35.
- [25] European RPAS Steering Group. (2013). Roadmap for the integration of civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System. Raport końcowy.
- [26] FAA (1982) AC 00-31A, U.S. National aviation standard for very high frequency omnidirectional radio range (VOR) / distance measuring equipment (DME) / tactical air navigation (TACAN) systems, 67.
- [27] FAA (2007) AC 90-100A, U.S. Terminal and En Route Area Navigation (RNAV) Operations, 273.
- [28] Federal Aviation Administration. Aircraft Certification Service. Washington, D.C. TSO-C151c. 2012.
- [29] Finne K.N.: *Igor Sikorsky, The Russian Years*, Smithsonian Institution Press, 1987, s. 223.
- [30] Galati G., Leonardi M., Magarò P., Paciucci V.: *Wide area surveillance using SSR mode S multilateration: advantages and limitations*. In European Radar Conference, 2005. EURAD 2005. 2005 Oct 3 (pp. 225–229). IEEE.
- [31] Gillispie, Charles Coulston: *The Montgolfier Brothers and the Invention of Aviation 1783-1784*: Princeton University Press, 2014 – s. 232.
- [32] Global market forecast 2019–2038. Cities, airports & aircraft. AIRBUS S.A.S. 31707 Blagnac Cedex, France – s. 86.
- [33] Global Positioning system: Theory and applications. Tom 1. Red. W. Bradford, James Parkinson, Jr. Spilker. Washington: American institute of aeronautics and astronautics inc., 1996. s. 794.
- [34] Gongora M.: ICAO NAM/CAR/SAM ATS Data Link Implementation Workshop.

- St. Maarten, 18–21 kwietnia 2016, s. 44. <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2016/ATS/DATALINKP15.pdf>.
- [35] Grewal M.S., Andrews A.P., Bartone C.G.: *Global navigation satellite systems, inertial navigation, and integration*. John Wiley & Sons; 11.02.2020.
- [36] Gustafsson F., Gunnarsson F.: *Positioning using time-difference of arrival measurements*. Podczas IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2003. Proceedings. (ICASSP'03). 6.04.2003 (tom 6, s. VI–553). IEEE.
- [37] [https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus\\_A320\\_family](https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_A320_family).
- [38] [https://en.wikipedia.org/wiki/Mil\\_Mi-8#/media/File:Mil\\_Mi-8\\_HIP](https://en.wikipedia.org/wiki/Mil_Mi-8#/media/File:Mil_Mi-8_HIP).
- [39] [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing\\_configuration](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_configuration).
- [40] <https://rg.ru/2016/07/11/rodina-mogayskij.html>.
- [41] <https://ukrcopter.com/en/page-aeromedical-evacuation>.
- [42] <https://ukrcopter.com/en/page-cargo>.
- [43] <https://ukrcopter.com/en/page-passenger>.
- [44] <https://ukrcopter.com/en/page-search-and-rescue>.
- [45] <https://www.aerospace-technology.com/projects/antonov/>.
- [46] <https://www.aaa.org/about/History-and-Heritage/History-Timeline>.
- [47] <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/cabin-comfort.html>.
- [48] <https://www.airbus.com/innovation/future-technology/electric-flight.html>.
- [49] <https://www.antonov-airlines.com/wp-content/uploads/2019/03/AA-Brochure-2019-I-NET.pdf>.
- [50] <https://www.britannica.com/technology/helicopter>.
- [51] <https://www.flightglobal.com/m-as-in-mach-seven-supersonic-business-jet-dreams/116792.article>.
- [52] <https://www.skybrary.aero/index.php/A320>.
- [53] [https://www.skybrary.aero/index.php/Approach\\_Speed\\_Categorisation](https://www.skybrary.aero/index.php/Approach_Speed_Categorisation).
- [54] [https://www.skybrary.aero/index.php/ICAO\\_Aerodrome\\_Reference\\_Code](https://www.skybrary.aero/index.php/ICAO_Aerodrome_Reference_Code).
- [55] [https://www.skybrary.aero/index.php/ICAO\\_Wake\\_Turbulence\\_Category](https://www.skybrary.aero/index.php/ICAO_Wake_Turbulence_Category).
- [56] IATA's annual Standard Schedules Information Manual (SSIM). Załącznik A (IATA, wydanie aktualne).
- [57] ICAO Doc 8168 PANS-OPS tom 1.
- [58] ICAO Document 8643 *Aircraft Type Designators*.
- [59] ICAO: Telekomunikacja lotnicza. Tom II. Procedury komunikacyjne wraz z tymi o statusie PANS. Załącznik 10 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym (2001) .
- [60] ICAO: Telekomunikacja lotnicza. Tom IV. Systemy dozoru i unikania kolizji. Załącznik 10 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym (2018) .
- [61] Międzynarodowe normy i zalecane metody postępowania. Telekomunikacja lotnicza. Systemy dozoru i unikania kolizji. Załącznik 10 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, tom 4, ICAO, 2007, s. 288.
- [62] Jeannin J., Ghorbal K., Kouskoulas Y., Gardner R., Schmidt A., Zawadzki E., Platzer A.: *Formal verification of ACAS X, an industrial airborne collision avoidance system*.

- Artykuł prezentowany podczas Proceedings of the International Conference on Embedded Software 2015, EMSOFT 2015, 127–136. <https://doi.org/10.1109/EMSOFT.2015.7318268>.
- [63] Kastelein M., De Haag M.U.: *Preliminary analysis of ADS-B performance for use in ACAS systems*. Artykuł prezentowany podczas AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference – Proceedings, 7D31-7D310, 2014. <https://doi.org/10.1109/DASC.2014.6979522>.
- [64] Kaune R., Steffes C., Rau S., Konle W., Pagel J.: *Wide area multilateration using ADS-B transponder signals*. 15th International Conference on Information Fusion 2012, 9.07.2012 (s. 727–734). IEEE.
- [65] Kharchenko V.P., Ostroumov I.V.: *Avionics*. Kijów, 2013. s. 281. ISBN: 978-966-598-573-0 (w jęz. ukraińskim).
- [66] Kutsenko O., Ilnytska S., & Konin V.: *Investigation of the residual tropospheric error influence on the coordinate determination accuracy in a satellite landing system*. Aviation, 22(4), 2018, s. 156–165. <https://doi.org/10.3846/aviation.2018.7082>.
- [67] Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V.: *Performance Analysis of Positioning System by Navigational Aids in Three Dimensional Space*. System Analysis & Intelligent Computing: SAIC 2018 1st International Conference of IEEE. 2018. s. 101–104. DOI: 10.1109/SAIC.2018.8516790.
- [68] Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V., Kharchenko V.P.: *Improving the Accuracy of Aircraft Positioning by Navigational Aids Using Kalman Filter*. Signal Processing Symposium: SPSympo-2019, International Conference of IEEE. 2019. s. 109-114. DOI: 10.1109/SPS.2019.8882072.
- [69] Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V., Marais K.: *An Accuracy and Availability Estimation of Aircraft Positioning by Navigational Aids*. Methods and Systems of Navigation and Motion Control: MSNMC 2018 5th International Conference of IEEE. 2018. s. 36–40. DOI: 10.1109/MSNMC.2018.8576276.
- [70] Liggins M.E., Hall D.L., Llinas J.: *Handbook of multisensor data fusion: theory and practice*. CRC press, 2017. s. 872. ISBN 978-1-4200-5308-1.
- [71] Lilienthal Otto: *Birdflight As the Basis of Aviation: A Contribution Towards a System of Aviation: 8*. Markowski International Publishers; red. Markowski wydanie (2018) – s. 176.
- [72] Lo S., Enge P., Niles F., Loh R., Eldredge L., Narins M.: *Preliminary assessment of alternative navigation means for civil aviation*. Artykuł prezentowany podczas Institute of Navigation – International Technical Meeting 2010, ITM 2010, 1, 484–492.
- [73] Mantilla-Gaviria I.A., Leonardi M., Galati G., Balbastre-Tejedor J.V.: *Localization algorithms for multilateration (MLAT) systems in airport surface surveillance*. Signal, Image and Video Processing. 1.10.2015; 9(7): 1549–58.
- [74] Mark V and Mark VII EGPWS Pilot’s Guide. Honeywell. s. 126.
- [75] McCullough D.: *The Wright Brothers*. Simon & Schuster; przedruk, 2016 – s. 336.
- [76] Milton J.: *Loss of Eden: A Biography of Charles and Anne Morrow Lindbergh* Harpercollins; wyd. 1, 1993 – s. 520.

- [77] Narins M., Eldredge L., Enge P., Harrison M., Kenagy R., Lo S.: *Alternative Position, Navigation, and Timing – The Need for Robust Radionavigation*. W: Global Navigation Satellite Systems: Report of a Joint Workshop of the National Academy of Engineering and the Chinese Academy of Engineering, s. 119–136. The National Academies Press (2012).
- [78] Narins M., Eldredge L., Enge P., Harrison M., Kenagy R., Lo S.: *Alternative Position, Navigation, and Timing – The Need for Robust Radionavigation*. W: Global Navigation Satellite Systems: Report of a Joint Workshop of the National Academy of Engineering and the Chinese Academy of Engineering, s. 119–136. The National Academies Press (2012).
- [79] National airspace Enterprise Architecture Infrastructure Roadmaps Version 12.0, FAA, 2018, s. 118.
- [80] Niccoli Riccardo. *Book of Flight: From the Flying Machine of Leonardo Da Vinci to the Conquest of Space*. Friedman – s. 304.
- [81] Ostroumov I.V., Kharchenko V.P., Kuzmenko N.S.: *An airspace analysis according to area navigation requirements*. Aviation. 2019. Nr 23(2). s. 36–42. DOI: 10.3846/aviation.2019.10302.
- [82] Ostroumov I.V., Kharchenko V.P., Kuzmenko N.S.: *An airspace analysis according to area navigation requirements*. Aviation. 2019. Nr 23(2). s. 36–42. DOI: 10.3846/aviation.2019.10302.
- [83] Ostroumov I.V., Kovalchuk O.O., Gavrilenko A.M., Nyzyaeva K.M.: *Availability of radar service in the airspace*. Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine. 2017. (1). s. 21–25 (w jęz. ukraińskim).
- [84] Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S.: *Applications of Artificial Intelligence in Flight Management Systems*. W: T. Shmelova, Y. Sikirda, & A. Sterenharz (wyd.): Handbook of Research on Artificial Intelligence Applications in the Aviation and Aerospace Industries, Hershey, PA: IGI Global. doi:10.4018/978-1-7998-1415-3.ch007. ISSN: 2328-8205, 2019. s. 180–192. ISBN: 978-179-981-415-3.
- [85] Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S.: *Main Threats and Solutions for Positioning by Navigational Aids Network. Proceedings of the International Workshop on Conflict Management in Global Information Networks (CMiGIN 2019) wspólnie z 1st International Conference on Cyber Hygiene and Conflict Management in Global Information Networks (CyberConf 2019)*. 2019. s. 183–193.
- [86] Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., Marais K.: *Optimal Pair of Navigational Aids Selection*. Methods and Systems of Navigation and Motion Control: MSNMC 2018 5th International Conference of IEEE. 2018. s. 32–35. DOI: 10.1109/MSNMC.2018.8576293.
- [87] PARE: Perspectives for Aeronautical Research in Europe. ROZDZIAŁ 7: Aircraft Markets: <https://www.pareproject.eu/publications>.
- [88] Protsenko E., Rudenko M., Ostroumov I.V.: *Unmanned Aerial Vehicle Positioning by data from Pocket Device Sensors*. Actual problems of unmanned aerial vehicles development: APUAVD-2019 6th International Conference of IEEE. 2019. s. 161–164. DOI: 10.1109/APUAVD47061.2019.8943882.

- [89] Scheer J, Holm WA. *Principles of modern radar*. Red. Richards MA, Melvin WL. SciTech Pub.; maj 2010.
- [90] Sesar solution catalogue 2019, wydanie trzecie, Eurocontrol, SESAR Joint Undertaking, 2019, s. 156.
- [91] Skolnik M.I.: *Radar Handbook*, McGraw-Hill, 2008.
- [92] Spitzer, Cary R.: *Avionics: Elements, software and functions*. CRC press, 2018.
- [93] Terrain Awareness and Warning System (TAWS). Department of Transportation.
- [94] Kharchenko V., Bugayko D., Foriash M.: *New Technologies in the Global Aero – Space Engineering Education*. Logistics and Transport – Wrocław: International School of Logistics and Transport in Wrocław. 2014. Nr 4(24) – s. 37–44.
- [95] Xu N., Cassell R., Evers C., Hauswald S., Langhans W.: *Performance assessment of Multilateration Systems – A solution to nextgen surveillance*. W: 2010 Integrated Communications, Navigation, and Surveillance Conference Proceedings, 11.05.2010. s. D2-1. IEEE.

# O AUTORACH

## **Volodymyr Kharchenko**

Wicerektor, National Aviation University

Doktor nauk technicznych, profesor, zasłużony pracownik naukowo-techniczny Ukrainy, laureat ukraińskiej nagrody państwowej w dziedzinie nauki i technologii.

Badania profesora V.P. Kharchenki dotyczą skutecznego zarządzania złożonymi systemami socjotechnicznymi, rozwoju i doskonalenia systemów nawigacji lotniczej, opartych na wykorzystaniu systemów satelitarnych. Najważniejsze rezultaty pracy naukowej profesora V.P. Kharchenki można znaleźć w 582 publikacjach naukowych – monografiach, podręcznikach, artykułach, podsumowaniach, a także materiałach kongresowych i konferencyjnych. Ich znaczenie naukowe i innowacyjność potwierdza ponad 100 świadectw autorskich oraz patentów.

Profesor V.P. Kharchenko zasiada jako ekspert w Komitecie Transportu Polskiej Akademii Nauk, jest członkiem Akademii Transportu Ukrainy, Engineers of Electrics and Electronics Institute of USA oraz Russian Academy of Navigation and Control. Jest także przewodniczącym i członkiem rad wydawniczych najważniejszych magazynów technicznych i naukowych na Ukrainie, Litwie i w Polsce. Profesor Kharchenko otrzymał liczne nagrody i wyróżnienia, państwowe i naukowe.

ID ORCID 0000-0001-7575-4366

e-mail: kharch@nau.edu.ua



**Dmytro Bugayko**

Wicedyrektor International Education and Cooperation Institute w National Aviation University

Doktor ekonomii, profesor nadzwyczajny, szef zespołu badawczego, instruktor Instytutu ICAO, profesor Wydziału Logistyki

Autor i współautor 119 publikacji naukowych i metodologicznych, wśród których jest 9 patentów w obszarze aeronautyki, 4 monografie, 36 publikacji akademickich napisanych wspólnie z naukowcami z Azerbejdżanu, Bułgarii, Chin, Iraku, Polski, Słowacji i Uzbekistanu. Członek Rady Naukowej czasopisma „Logistics and Transport” (wydawanego przez Międzynarodową Wyższą Szkołę Logistyki i Transportu we Wrocławiu). Ekspert Civil Aviation Commission, International Aerospace Committee (Kanada).

ID ORCID 0000-0001-9901-4792

e-mail: bugaiko@nau.edu.ua

**Ivan Ostroumov**

Profesor nadzwyczajny, wykładowca na wydziale Air Navigation Systems w National Aviation University.

Doktor inżynierii, profesor nadzwyczajny, starszy pracownik naukowy

Autor i współautor 144 publikacji naukowych i metodologicznych. W 2009 roku uzyskał tytuł doktora inżynierii w zakresie nawigacji i kontroli ruchu lotniczego. Od tego czasu pracuje jako badacz i profesor nadzwyczajny w National Aviation University. Od 2016 roku jest również instruktorem nawigacji w Aviation Company Ukrainian Helicopters. W latach 2017–2018 był stypendystą w programie Fulbrighta, w School of Aeronautics and Astronautics w Purdue. Uczestnik wielu projektów, m.in.: Supporting SESAR on GNSS Vulnerability Assessment by performing Space Weather Analysis (Navigation department, EUROCONTROL, Bruksela) czy E-learning course development (Institute of Air Navigation Services, EUROCONTROL, Luksemburg). Jego dziedziną badań są zaawansowane metody alternatywnego pozycjonowania, nawigacji i pomiaru czasu. Obecne projekty badawcze to: Methods and Algorithms of positioning by multiple navigational aids; Availability and Accuracy estimation of navigation.

ID ORCID 0000-0003-2510-9312

e-mail: vany@nau.edu.ua