

BEZPIECZEŃSTWO LOTNICZYCH SYSTEMÓW TRANSPORTOWYCH W UJĘCIU STATYSTYCZNYM

ANDRZEJ GRONCZEWSKI, KATARZYNA STRZELECKA

Politechnika Wroclawska, Katedra Kriogeniki i Inżynierii Lotniczej

e-mail: andrzej.gronczewski@pwr.edu.pl; katarzyna.strzelecka@pwr.edu.pl

Utrzymanie wysokiego poziomu bezpieczeństwa jest kluczowe na każdym etapie istnienia statku latającego, od projektowania po wycofanie z eksploatacji. Wymaga to zaangażowania znacznych sił i środków. Choć wypadki lotnicze są nieuniknione, ciągle dąży się do zmniejszenia do minimalizacji ich liczby i ochrony uczestników lotu przed skutkami wypadków. Analiza przyczyn wypadków dostarcza cennych informacji w formie zaleceń profilaktycznych. W artykule zdefiniowano główne pojęcia z zakresu bezpieczeństwa lotniczego, omówiono wskaźniki bezpieczeństwa i probabilistyczne metody oceny. Przeprowadzono statystyczną analizę wypadków lotniczych w transporcie światowym, uwzględniając przyczyny, fazy lotu, typy samolotów, regiony świata i skutki wypadków. Na podstawie analizy oceniono stan bezpieczeństwa systemów transportowych i zidentyfikowano czynniki wpływające na jego poziom. Informacje te posłużyły do sformułowania wniosków dotyczących działań profilaktycznych w celu poprawy bezpieczeństwa lotniczych systemów transportowych.

1. Bezpieczeństwo lotnicze

We współczesnym świecie występuje wiele zagrożeń dla bezpieczeństwa. Sytuacje, których następstwem jest ryzyko utraty zdrowia lub nawet życia, ale także zniszczenie urządzeń technicznych lub szkody w środowisku naturalnym, wynikają z wielu różnych przyczyn. Jedną z dziedzin niosącą szczególne zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi jest transport. Rozwój techniki spowodował znaczny wzrost prędkości, udźwigu i zasięgu różnego rodzaju pojazdów. Wzrosła też liczba operacji transportowych.

Wyróżniającą się dziedziną jest transport lotniczy. Cechuje go przede wszystkim specyficzne środowisko, w jakim przemieszczają się statki latające oraz prędkość podróży nieosiągalna przez pojazdy naziemne i nawodne¹. Warunki eksploatacji oraz uwarunkowania środowiskowe wymagają szczególnych rozwiązań na wszystkich poziomach lotniczego systemu transportowego w celu zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa.

Bezpieczeństwo lotniczego systemu transportowego to stopień przystosowania systemu do zapewnienia zdrowia i życia wszystkich uczestników lotu, zachowania statku powietrznego, obiektów współistniejących i środowiska podczas wykonywania zadania lotniczego [1]. Bezpieczeństwo związane jest przede wszystkim z postulatem zachowania życia i zdrowia uczestników zadania lotniczego, ale także innych osób niezwiązanych z zadaniem lotniczym, które mogłyby odnieść obrażenia wskutek wypadku lotniczego. Godząc się z faktem nieuchronności występowania wypadków lotniczych, w tym także tych najcięższych, a więc takich, których skutkiem jest śmierć ludzi, wciąż trudno odpowiedzieć na pytanie – jaki poziom bezpieczeństwa jest zadowalający? W tym kontekście dyskusyjnym pozostają kryteria oceny poziomu bezpieczeństwa. Stąd też nadal podejmuje się wiele działań w celu zminimalizowania liczby wypadków, a także łagodzenia ich skutków. Wszelkie działania zapobiegające wystąpieniu wypadku lotniczego zaliczamy do

¹Prowadzone są prace koncepcyjne nad podziemną koleją hipersoniczną – „Hyperloop”

przedsięwzięć „bezpieczeństwa czynnego”. Dużą wagę przykładają się także do wdrażania rozwiązań techniczno-organizacyjnych, mających na celu zminimalizowanie skutków wypadku po jego zaistnieniu. Tego typu działania zaliczamy do czynników wpływających na „bezpieczeństwo bierne”.

Ocena poziomu bezpieczeństwa ma na celu nie tylko ustalenie aktualnego stanu, ale przede wszystkim służy identyfikacji nieprawidłowości na poszczególnych szczeblach funkcjonalnych systemu. Analiza statystyczna zaistniałych zdarzeń pod kątem wyselekcjonowania potencjalnych zagrożeń jest czynnikiem bezpośrednio wpływającym na poziom bezpieczeństwa. Ocena poziomu bezpieczeństwa możliwa jest dzięki sformułowaniu odpowiednich „miar i wskaźników bezpieczeństwa lotniczego”.

Bezpieczeństwo operacji lotniczej (BOL) wyznaczane jest przez stany niezawodnościowe

$$B_{OL} = \{k_0, k_Z, k_{SP}, k_{WA}, k_{WP}, k_{ZL}, k_{SO}, k_{SZ}\} \quad (1.1)$$

gdzie: k_0 – stan niezawodnościowy wszystkich szczebli zarządzania operacją lotniczą, k_Z – stan niezawodnościowy operatora (załogi), k_{SP} – stan niezawodnościowy statku powietrznego, k_{WA} – stan niezawodnościowy warunków atmosferycznych, k_{WP} – stan niezawodnościowy warunków przyrodniczych, k_{ZL} – stan niezawodnościowy systemów zabezpieczenia i kierowania lotem, k_{SO} – stan niezawodnościowy systemów obsługowych, k_{SZ} – stan niezawodnościowy systemów zaopatrzenia statku powietrznego.

Do oceny poziomu bezpieczeństwa mają zastosowanie odpowiednie bezwarunkowe i warunkowe miary bezpieczeństwa. Bezwarunkowa miara bezpieczeństwa jest to każda probabilistyczna charakterystyka zmiennych wielkości lub zdarzeń losowych opisujących bezpieczeństwo systemu lotniczego, bez wskazania na określone uwarunkowania [1]. Bezwarunkową miarą może być np. prawdopodobieństwo bezpiecznego wykonania określonego zadania lotniczego. Z kolei „warunkowa miara bezpieczeństwa lotu” jest to każda probabilistyczna charakterystyka zmiennych wielkości lub zdarzeń losowych opisujących bezpieczeństwo systemu lotniczego z uwzględnieniem określonych warunków. Taką miarą może być np. prawdopodobieństwo bezpiecznego wykonania zadania lotniczego przy założeniu, że w samolocie dwusilnikowym, jeden z silników ulegnie uszkodzeniu.

W ocenie stanu bezpieczeństwa lotniczego systemu transportowego najczęściej używa się wskaźników. Wskaźnikiem bezpieczeństwa lotu może być charakterystyczna funkcja lub liczba określająca umownie stan bezpieczeństwa lotu. Można wyodrębnić wskaźniki opisujące cały system transportu lotniczego, ale także operuje się wskaźnikami pomocniczymi, za pomocą których możliwa jest ocena bezpieczeństwa w poszczególnych komponentach systemu.

2. Statystyki w zakresie użytkowania statków powietrznych

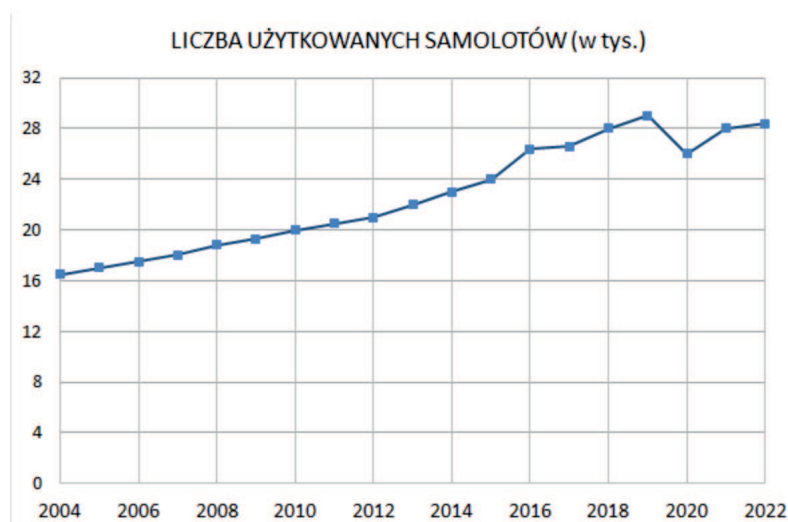
Przedstawione statystyki będą dotyczyły światowych linii lotniczych. Rozpatrywano dane dotyczące samolotów o minimalnej masie startowej 60 000 funtów (27 126 kg).

Lotnictwo transportowe, w tym w szczególności transport pasażerski, ulega ciągłemu rozwojowi. Liczba samolotów w przeciągu ostatnich 20 lat systematycznie wzrasta (rys. 1). Wyjątek stanowiły lata 2019 i 2020, kiedy światowa pandemia Covid-19, spowodowała spadek liczby eksploatowanych samolotów. Aktualnie w użyciu jest ponad 28 tys. samolotów.

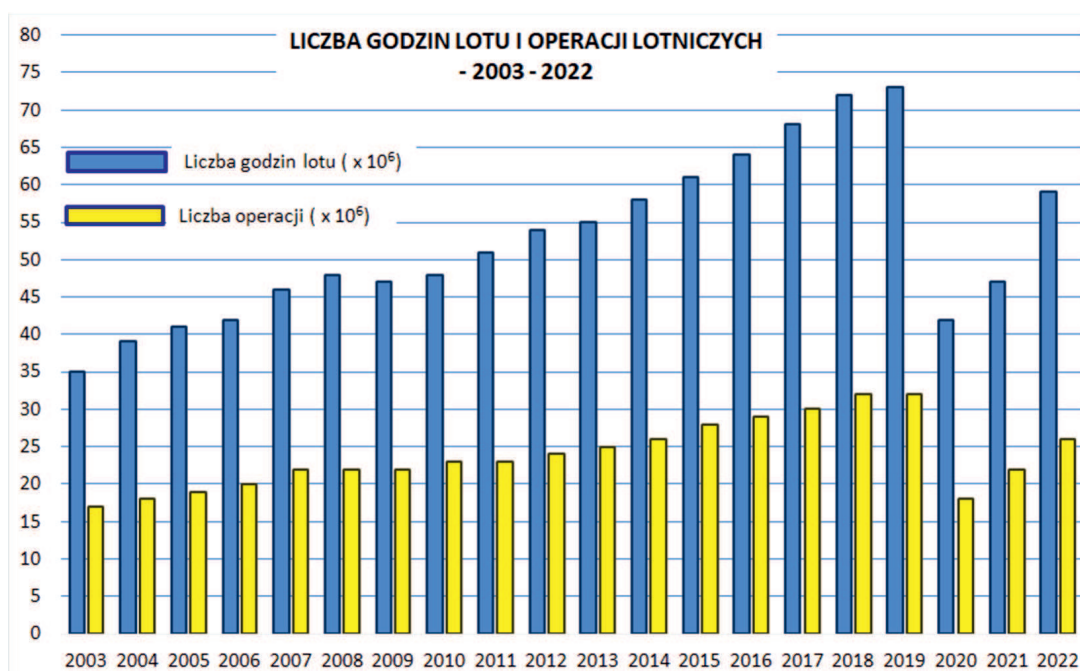
W minionym dwudziestolecu następował systematyczny wzrost liczby operacji lotniczych oraz liczby godzin lotu (za wyjątkiem wspomnianego powyżej okresu światowej pandemii) (rys. 2).

W analizowanym okresie (2003-2022) odnotowano:

- łączny nalot wyniósł $1050 \cdot 10^6$ godz.,
- średnio na jeden rok przypadało około $52,5 \cdot 10^6$ godz. lotu,



Rys. 1. Liczba użytkowanych samolotów (w tys.) [2]

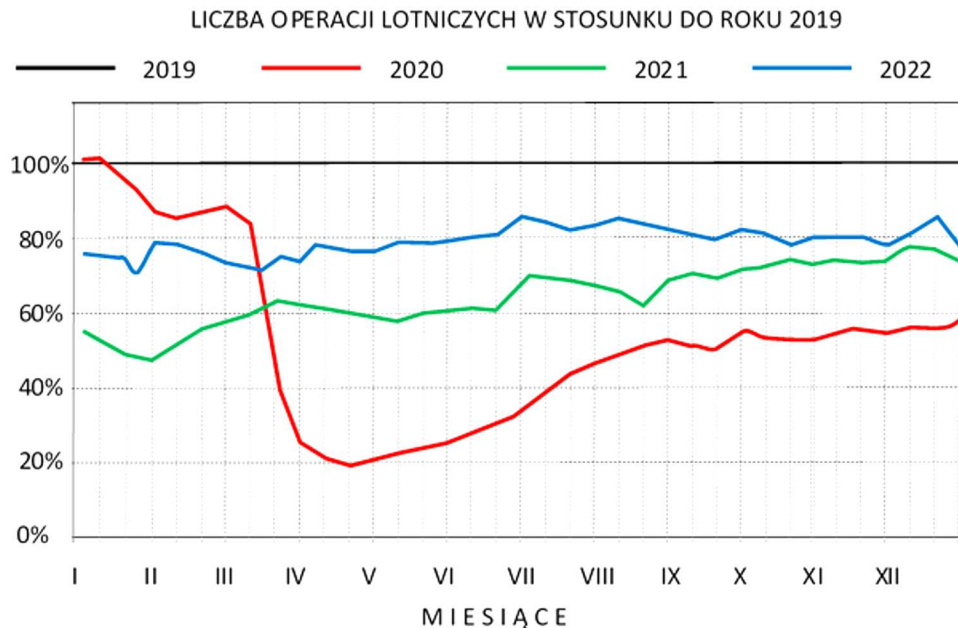


Rys. 2. Liczba godzin lotu i liczba operacji lotniczych [2]

- średni dzienny nalot wyniósł ponad $140 \cdot 10^3$ godz.,
- liczba operacji lotniczych wyniosła około $478 \cdot 10^6$,
- średnio dziennie wykonywanych było ponad $65 \cdot 10^3$ operacji lotniczych,
- średni czas trwania jednej operacji wyniósł około 2,2 godz.

W analizowanym okresie, do roku 2019, następował systematyczny wzrost liczby operacji lotniczych i godzin lotu. Średnio liczba godzin lotu samolotów wzrastała 4,7% rocznie.

W efekcie konieczności izolacji w czasie pandemii Covid-19 liczba operacji lotniczych zmniejszyła się średnio ponad 40% (rys. 3). W 2022 roku liczba operacji lotniczych osiągnęła najniższy poziom (20%) w odniesieniu do roku 2019. Przewiduje się, że w 2024 roku liczba operacji osiągnie lub nieco przekroczy wartość z 2019 roku.



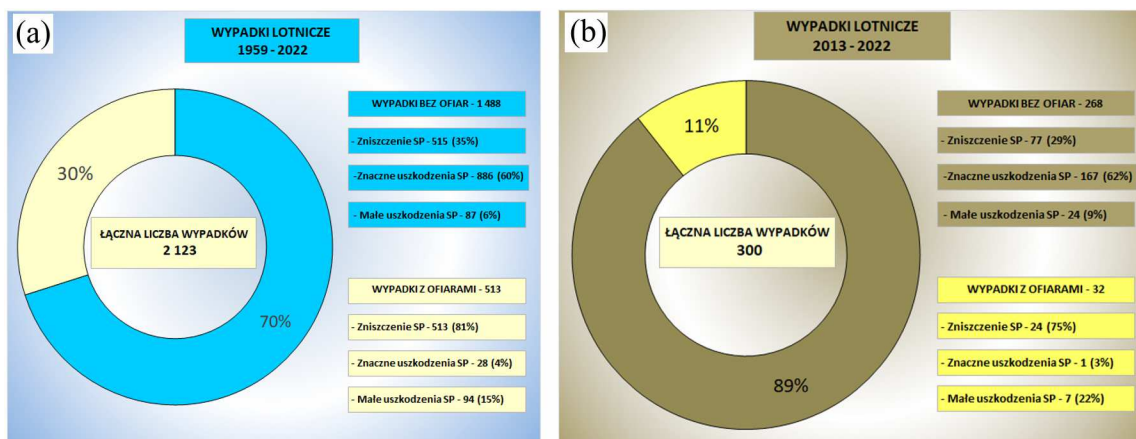
Rys. 3. Spadek liczby operacji lotniczych w czasie pandemii [3]

3. Wypadki lotnicze

Wypadek lotniczy jest najbardziej niepożądanym zdarzeniem lotniczym, które skutkuje poważnymi obrażeniami ciała co najmniej jednej osoby lub uszkodzeniem (często całkowitym zniszczeniem) statku powietrznego. Wypadki powodują także obrażenia ciała lub śmierć ludzi nie będących uczestnikami lotu oraz zniszczenia środowiska naturalnego i sztucznego.

W analizowanym okresie (1959D-2022) wydarzyły się 2123 wypadki, skutkiem których życie straciło 31 461 osób (tabela 1).

Konsekwencją wypadków lotniczych nie zawsze jest śmierć ludzi. W analizowanym okresie średnio w 30% wypadków, ich skutkiem były ofiary śmiertelne (rys. 4). Na uwagę zasługuje zdecydowana poprawa bezpieczeństwa biernego w ostatnich latach (2013-2022). Rozpatrując statystyki dotyczące ostatnich 20 lat, daje się zauważyć, że 11% wypadków skutkowało ofiarami śmiertelnymi (rys. 4a i 4b).



Rys. 4. Rozkład wypadków lotniczych: (a) w latach 1959-2022, (b) w latach 2013-2022

Tabela 1. Liczba wypadków lotniczych i liczba ofiar wypadków [4]

WYPADKI LOTNICZE - 1959 - 2022			
KATEGORIA	ZADANIE LOTNICZE		
	Loty pasażerskie	Cargo	Obloty, testy, treningi, pokazy
Zniszczenie SP (bez ofiar)	757	197	74
Zniszczenie, uszkodzenie SP (z ofiarami)	510	83	42
RAZEM	1 697	304	122
LICZBA WYPADKÓW OGÓŁEM	2 123		

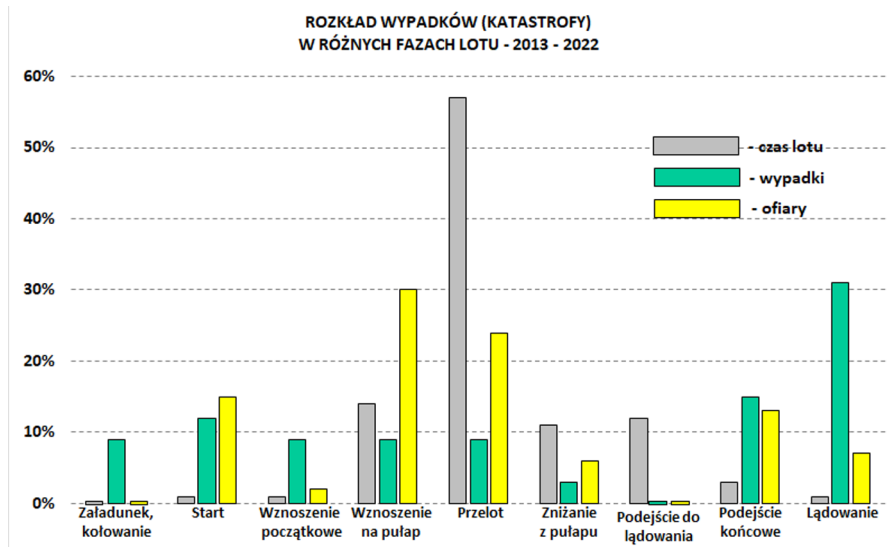
LICZBA OFIAR WYPADKÓW - 1959 - 2022			
KATEGORIA	ZADANIE LOTNICZE		
	Loty pasażerskie	Cargo	Obloty, testy, treningi, pokazy
Liczba ofiar (na pokładzie SP)	29 643	285	199
Liczba ofiar (poza SP)	810	358	166
LICZBA OFIAR - OGÓŁEM	31 461		

Zgodnie z definicją zawartą w Prawie Lotniczym wypadek lotniczy to niekorzystne zdarzenie, które zaistniało od momentu, kiedy pierwsza osoba weszła na pokład z zamiarem wykonania lotu, aż do chwili, kiedy ostatnia osoba opuści pokład statku powietrznego po wykonaniu lotu [5]. Wypadki zdarzały się w różnych fazach lotu. Analizując okoliczności najcięższych wypadków lotniczych, jakimi są „katastrofy lotnicze” (wypadki, których skutkiem była co najmniej jedna osoba śmiertelna), można zauważyć, że najczęściej dochodziło do nich w ostatniej fazie lotu, obejmującej końcowe podejście do lądowania oraz lądowanie – 46% wszystkich tego typu zdarzeń (tabela 2).

Tabela 2. Rozkład wypadków lotniczych w różnych fazach lotu [2]

ROZKŁAD WYPADKÓW LOTNICZYCH (KATASTROFY) W RÓŻNYCH FAZACH LOTU - 2013 - 2022										
RODZAJ	JED.	ZAŁADUNEK, KOŁOWANIE	START	WZNOŚZENIE POCZĄTKOWE	WZNOŚZENIE	PRZELOT	ZNIŻANIE Z PUŁAPU	PODEJŚCIE DO LĄDOWANIA	PODEJŚCIE KOŃCOWE	LĄDOWANIE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
CZAS LOTU	%	0%	1%	1%	14%	57%	11%	12%	3%	1%
KATASTROFY	---	3	4	3	3	3	1	0	15	31
	%	9%	12%	9%	9%	9%	3%	0%	15%	31%
OFIARY	---	0	174	24	347	278	71	0	155	91
	%	0%	15%	2%	30%	24%	6%	0%	13%	7%

Mimo że najwięcej wypadków wydarzyło się w ostatniej fazie lotu, to okazuje się, że najtraficniejsze skutki wypadku towarzyszą tego typu zdarzeniom, które zaistniały w czasie wznoszenia na pułap i podczas przelotu na pułapie operacyjnym – odpowiednio 30% i 24% wszystkich ofiar (rys. 5).



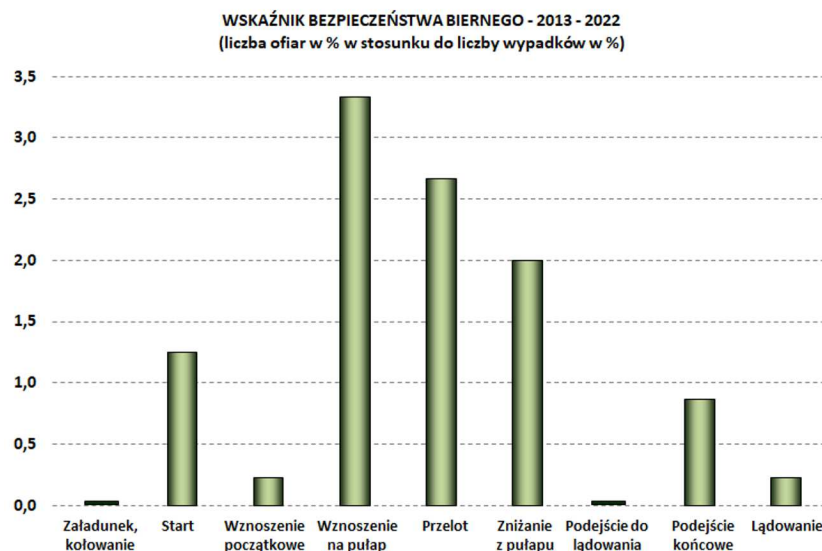
Rys. 5. Rozkład wypadków lotniczych w różnych fazach lotu [2]

Bezpieczeństwo bierne określa stopień przystosowania maszyny oraz procedur jej użytkowania w stanach awaryjnych do zachowania życia i zdrowia uczestników lotu po zaistnieniu wypadku. W celu określenia poziomu bezpieczeństwa biernego w różnych fazach lotu zdefiniowano „wskaźnik bezpieczeństwa biernego”

$$W_{BB} = \frac{L_O}{L_W} \quad (3.1)$$

gdzie: L_O – procentowy udział liczby ofiar w poszczególnych fazach lotu, L_W – procentowy udział liczby wypadków w poszczególnych fazach lotu.

Statystyki wskazują, iż najgorsze wskaźniki bezpieczeństwa biernego dotyczą takich faz lotu jak: wznoszenie na pułap, przelot, zniżanie z pułapu (rys. 6).



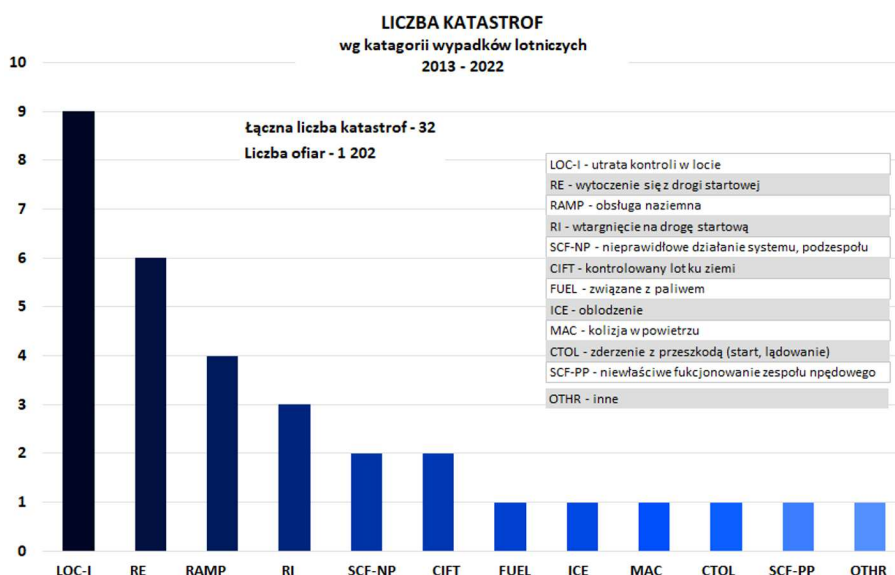
Rys. 6. Wskaźnik bezpieczeństwa biernego [2]

W celu zapewnienia jednolitego nazewnictwa oraz standardów gromadzenia, przechowywania i analizy danych dotyczących niekorzystnych zdarzeń lotniczych, w Urzędzie Lotnictwa Cywilnego

go (ULC) przyjęto definicje kategorii zdarzeń opartą na systematyce ADREP Międzynarodowej Organizacji Lotnictwa Cywilnego (International Civil Aviation Organization – ICAO).

Wyróżniamy następujące kategorie zdarzeń lotniczych [6]: 1. ADRM: Lotnisko, 2. AMAN: Gwałtowny manewr, 3. ARC: Nieprawidłowy kontakt z drogą startową, 4. ATM: ATM/CNS: Zarządzanie Ruchem Lotniczym (ATM) oraz służbą Komunikacji, Nawigacji i Dozorowania (CNS), 5. BIRD: Zderzenie z ptakiem, 6. CABIN: Wydarzenia związane z bezpieczeństwem w kabinie, 7. CFIT: Kontrolowany lot ku ziemi, 8. CTOL: Zderzenie z przeszkodą/przeszkodami podczas startu/lądowania, 9. EVAC: Ewakuacja, 10. EXTL: Zdarzenia związane z podwieszaniem, 11. F-NI: Ogień/dym (bez zderzenia), 12. F-POST: Ogień/dym (w wyniku zderzenia), 13. FUEL: Związane z paliwem, 14. GCOL: Kolizje na ziemi, 15. GTOW: Zdarzenia związane z wyciąganiem szybowców, 16. ICE: Oblodzenie, 17. LALT: Operacje na małych wysokościach, 18. LOC-G: Utrata kontroli – na ziemi, 19. LOC-I: Utrata kontroli – w locie, 20. LOLI: Utrata noszenia w przelocie, 21. MAC: AIRPROX/niebezpieczne zbliżenie/kolizja w powietrzu, 22. MED: Medyczne, 23. NAV: Błąd nawigacyjny, 24. RAMP: Obsługa naziemna, 25. RE: Wypadnięcie z drogi startowej, 26. RI: Wtargnięcie na drogę startową, 27. RI-O: Wtargnięcie na drogę startową – inne, 28. RI-VA: Wtargnięcie na drogę startową pojazdu, statku powietrznego lub osoby, 29. SCF-NP: Awaria lub niewłaściwe funkcjonowanie systemu/podzespołu (nie napędowego), 30. SCF-PP: Awaria lub niewłaściwe funkcjonowanie jednostki napędowej, 31. SEC: Związane z ochroną, 32. TURB: Turbulencja, 33. UIMC: Niezamierzony lot w IMC, 34. USOS: Przedwczesne/spóźnione przyziemienie, 35. WILD: Zderzenie z dziką zwierzyną, 36. WSTRW: Uskok wiatru lub burza, 37. OTHR: Inne, 38. UNK: Nieznane lub nieokreślone.

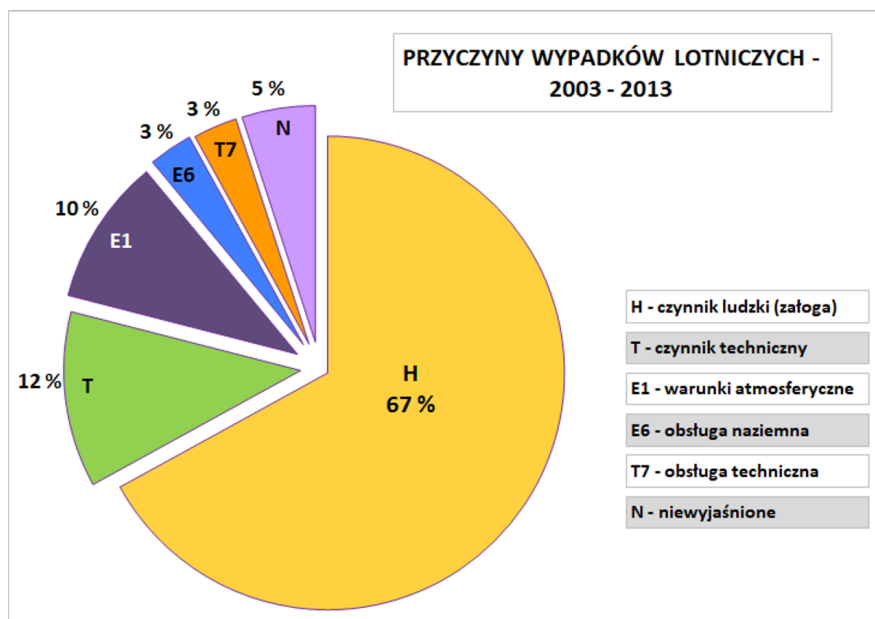
Statystyki wskazują, że w okresie dziesięciu lat (2013-2022), najwięcej katastrof wydarzyło się wskutek utraty kontroli nad statkiem powietrznym w czasie lotu. Istotny odsetek stanowią także wypadki związane z wypadnięciem statku powietrznego z drogi startowej, głównie w czasie dobiegu po przyziemieniu samolotu (rys. 7).



Rys. 7. Liczba katastrof w poszczególnych kategoriach wypadków lotniczych [2]

Wypadki lotnicze są w każdym przypadku efektem splotu wielu nieprawidłowości na każdym szczeblu zarządzania lotniczym systemem transportowym oraz wystąpieniu innych niekorzystnych okoliczności. Wobec tego każdy wypadek ma wiele przyczyn, wśród których zwykle można wyróżnić jedną główną przyczynę, która bezpośrednio doprowadziła do zdarzenia. W tym kontekście okazuje się, iż bezpośrednią przyczyną największej liczby wypadków jest czynnik ludzki

odnoszący się przede wszystkim do działania załogi statku powietrznego. Znaczny odsetek wypadków wydarzył się z powodu niesprawności komponentów statku powietrznego (rys. 8).



Rys. 8. Przyczyny wypadków lotniczych [4]

4. Wskaźniki wypadków lotniczych

Jednym z podstawowych wskaźników dotyczących bezpieczeństwa całego systemu transportowego jest wskaźnik wypadków lotniczych

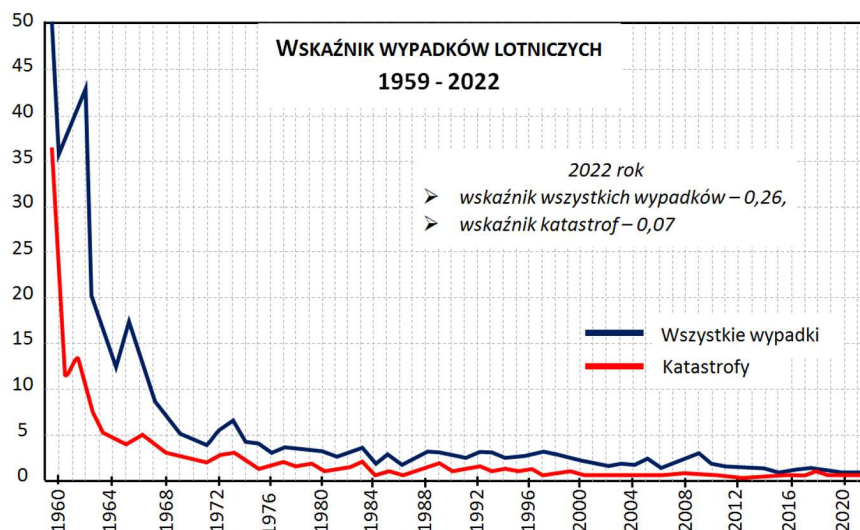
$$W_W = \frac{L_W}{N} P \quad (4.1)$$

gdzie: W_W – wskaźnik wypadków, L_W – liczba wypadków, N – parametr odniesienia (np. liczba startów, liczba godzin lotu, liczba przebytych kilometrów itd.), P – parametr zwiększający parametr odniesienia (np. 10^6).

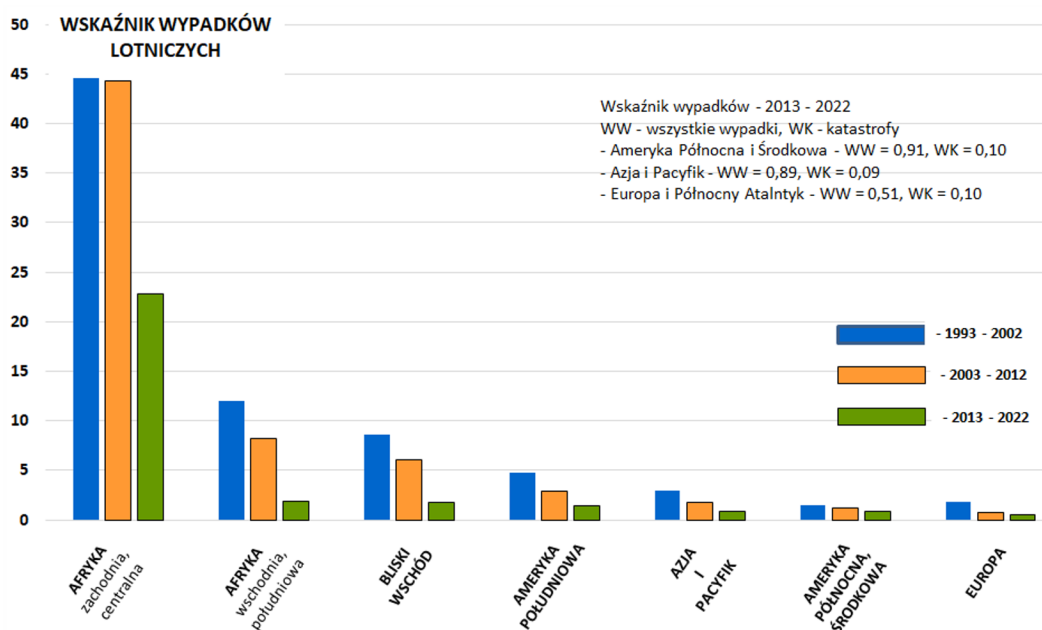
Korzystając z zależności (4.1), można obliczać wskaźniki wypadków w zależności od ich skutków – np. ogólny wskaźnik dotyczący wszystkich wypadków albo wskaźnik katastrof. W przypadku lotnictwa transportowego, w tym pasażerskiego, prawie w każdym przypadku, parametrem odniesienia jest liczba startów (liczba operacji lotniczych) i operuje się stosunkiem liczby wypadków w odniesieniu do miliona startów (wówczas parametrem zwiększającym jest 10^6). Dla lotnictwa wojskowego najczęściej liczbę wypadków odnosi się do liczby godzin lotu, a parametrem zwiększającym jest zwykle 10^5 .

Analiza wskaźnika wypadków lotniczych lotnictwa transportowego, w odniesieniu do miliona startów, na przestrzeni 63 lat (1959-2022) wskazuje, że poziom bezpieczeństwa systematycznie wzrastał. Szczególną poprawę w zakresie zmniejszenia wskaźnika bezpieczeństwa odnotowano w latach sześćdziesiątych, kiedy to wskaźnik wypadków zmniejszył się około dziesięć razy (rys. 9).

Ogólny poziom bezpieczeństwa lotniczego jest zróżnicowany w zależności od regionu świata, w którym działają organizacje i firmy zajmujące się transportem lotniczym. W każdym regionie świata, w kolejnych dekadach (1993-2002, 2003-2012, 2013-2022) następowała poprawa bezpieczeństwa – zmniejszał się wskaźnik wypadków. Analiza statystyczna pokazuje jednak znaczne różnice poziomu bezpieczeństwa w poszczególnych regionach świata (rys. 10).



Rys. 9. Wskaźnik wypadków lotniczych [2-4]



Rys. 10. Wskaźnik wypadków lotniczych w różnych regionach świata (1993-2022)

Na poziom bezpieczeństwa ma także wpływ generacja statku powietrznego (tabela 3). Można zauważyć, iż poziom bezpieczeństwa samolotów pierwszych generacji wycofanych już z eksploatacji wynoszący średnio 5,71, był znacznie większy od wskaźnika wypadków samolotów nowych generacji (zwykle poniżej 1).

5. Podsumowanie

Na podstawie analizy statystyk dotyczących użytkowania statków powietrznych oraz danych w zakresie wypadków lotniczych można wyciągnąć następujące wnioski:

- systematycznie wzrasta liczba użytkowanych statków powietrznych i w konsekwencji rośnie liczba godzin lotu oraz liczba operacji lotniczych. Średnio (za wyjątkiem okresu pandemii Covid-19) sumaryczna liczba godzin lotu wzrastała o blisko 5% rocznie.

Tabela 3. Wskaźnik wypadków dla różnych typów statku powietrznego [4]

WYPADKI LOTNICZE - TYPY STATKÓW POWIETRZNYCH - LATA 1959 - 2022											
LP	TYP STATKU POWIETRZNEGO	LICZBA WYPADKÓW		WSKAŹNIK WYPADKÓW		LP	TYP STATKU POWIETRZNEGO	LICZBA WYPADKÓW		WSKAŹNIK WYPADKÓW	
		ZNISZCZENIE SP (bez ofiar)	ZNISZCZENIE SP (z ofiarami)	ZNISZCZENIE SP (bez ofiar)	ZNISZCZENIE SP (z ofiarami)			ZNISZCZENIE SP (bez ofiar)	ZNISZCZENIE SP (z ofiarami)		
1	Samoloty wycofane z eksploatacji	392	211	5,71	3,07	17	Boeing 747-400	10	5	1,10	0,55
2	Boeing 727	94	55	1,22	0,72	18	Mc Donnell Douglas MD-11	10	5	3,21	1,61
3	Mc Donnell Douglas DC-9	91	48	1,45	0,77	19	Airbus A340	2	0	0,58	0,00
4	Boeing 737-100/-200	104	51	1,78	0,81	20	Airbus A330	6	2	0,42	0,14
5	Fokker F-28	42	21	4,40	2,20	21	Boeing 777	4	2	0,27	0,13
6	Mc Donnell Douglas DC-10/MD-10	27	12	2,87	1,28	22	Boeing 737-600/700/800/900	22	10	0,18	0,08
7	Airbus A300	17	4	2,52	0,59	23	Bombardier CRJ-700/-900/-1000	0	0	0,00	0,00
8	Mc Donnell Douglas MD-80/-90	36	15	0,76	0,32	24	Embraer EMB-170/-175/-190	5	1	0,18	0,04
9	Boeing 767	12	3	0,54	0,14	25	Airbus A380	0	0	0,00	0,00
10	Boeing 757	8	6	0,29	0,22	26	Boeing 787	0	0	0,00	0,00
11	British Aerospace BAe 146, RJ-70/-85/-100	18	8	1,51	0,67	27	Boeing 747-8	0	0	0,00	0,00
12	Airbus A310	12	9	2,53	1,90	28	Airbus A350	0	0	0,00	0,00
13	Boeing 737-300/-400/-500	62	20	0,81	0,26	29	C-Series/A220	0	0	0,00	0,00
14	Airbus A300-600	7	4	0,95	0,26	30	Airbus A320/321/319 NEO	1	1	0,11	0,11
15	Airbus A320/321/319/318	29	13	0,17	0,08	31	Boeing 737 MAX	2	2	1,48	1,48
16	Fokker F-100/F-70	14	5	1,21	0,43		RAZEM	965	485		

- w analizowanym okresie (1959-2022) znacznie poprawiło się bezpieczeństwo lotnicze. Wskaźnik wypadków lotniczych z wartości około 50,0 w roku 1960, zmniejszył się do wartości 0,26 w roku 2022 (w odniesieniu do 106 startów).
- nieodmiennie od lat, najczęstszą, bezpośrednią przyczyną wypadków lotniczych jest czynnik ludzki, w tym głównie nieprawidłowe działanie załogi,
- poziom bezpieczeństwa zależy od generacji samolotów. Najnowsze generacje statków powietrznych (generacja 4) charakteryzuje średni wskaźnik katastrof na poziomie 0,26 na milion startów,
- nastąpiła wyraźna poprawa bezpieczeństwa biernego. W skali 63 lat średnio w 30% wypadków ich skutkiem była śmierć ludzi, zaś w ostatnim dziesięcioleciu ofiary śmiertelne były skutkiem 11% wypadków.
- poziom bezpieczeństwa jest różny w zależności od regionu świata. Przykładowo, w okresie 2013-2022 dla regionu „Afryka Zachodnia i Centralna” wskaźnik wypadków wynosił 23,2 na milion startów, zaś dla regionu „Europa i Atlantyk Północny” – 0,51.

Do największych zagrożeń w zakresie bezpieczeństwa lotów należy zaliczyć:

- presję ekonomiczną mogącą negatywnie wpływać na jakość opracowań i produkcji statków powietrznych, a także możliwość niedopuszczalnych oszczędności w procesie eksploatacji sprzętu lotniczego,
- potencjalną możliwość obniżenia poziomu personelu zarówno lotniczego, jak i specjalistów obsługi technicznej i naziemnej. Według prognoz w latach 2024-2041, w celu zabezpieczenia działalności firm lotniczych niezbędne będzie wyszkolenie około 640 000 specjalistów technicznych, 580 000 pilotów oraz 875 000 członków personelu pokładowego,
- znaczny wzrost dziennej liczby operacji lotniczych, powodujących „zapełnienie” przestrzeni powietrznej oraz wyczerpanie przepustowości lotnisk. W tym kontekście koniecznym jest kontynuowanie prac nad usprawnieniem systemu zarządzania przestrzenią lotniczą.

Współczesne, lotnicze systemy transportowe cechuje wysoki poziom bezpieczeństwa. Mimo świadomości nieuchronności wypadków lotniczych, w dalszym ciągu podejmuje się wysiłki mające na celu minimalizowanie liczby wypadków oraz zmniejszanie skutków tych zdarzeń po ich zaistnieniu.

Bibliografia

1. JAŻWIŃSKI J., BORGÓŃ J., *Niezawodność eksploatacyjna i bezpieczeństwo lotów*, 1989
2. *Boeing: Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959-2022*,
https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2023-10/statsum_summary_2022.pdf
3. *Airbus: A Statistical Analysis of Commercial Aviation Accidents 1958-2022*,
<https://accidentstats.airbus.com/>
4. *Aviation Safety Network*, <https://asn.flightsafety.org/>
5. *Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. – Prawo lotnicze* (Dz. U. z 2023 r., poz. 2110 oraz z 2024 r., poz. 731)
6. *Podręcznik klasyfikacji kategorii zdarzeń lotniczych (tzw. „Occurrence Category”) wg systematyki ICAO ADREP oraz ECCAIRS 5 dla organizacji lotniczych, zgodny z wymogami Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 376/2014*, Urząd Lotnictwa Cywilnego, Warszawa 2017
https://www.ulc.gov.pl/_download/bezpieczenstow_lotow/podrecznik_occurrence_category.pdf

Safety of air transport systems: a statistical approach

Maintaining a high level of safety is crucial at every stage of an aircraft life, from design to decommissioning. This requires the involvement of significant efforts and resources. Although air accidents are inevitable, continuous efforts are made to minimize them and protect flight participants from the effects of accidents. Analysis of the causes of accidents provides valuable information in the form of preventive recommendations.

The article defines the main concepts in the field of aviation safety, discusses safety indicators, and probabilistic assessment methods. A statistical analysis of air accidents in the global transport was carried out, taking into account causes, flight phases, types of aircraft, regions of the world, and consequences of accidents. Based on the analysis, the safety status of the transport systems was assessed, and factors influencing its level were identified. This information was used to formulate conclusions regarding preventive actions to improve the safety of air transport systems.