

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

DYSYCYPLINA NAUKOWA INŻYNIERIA LĄDOWA, GEODEZJA

I TRANSPORT

DZIEDZINA NAUK INŻYNIERYJNO-TECHNICZNYCH

Rozprawa doktorska

mgr inż. Dominika Marzec

Metoda zarządzania ryzykiem jako element systemu zarządzania
bezpieczeństwem Lotniska Chopina w Warszawie

Promotor

prof. dr hab. inż. Jacek Skorupski

WARSZAWA 2025

Serdecznie dziękuję mojemu promotorowi, prof. dr hab. inż. Jackowi Skorupskiemu za nieocenione wsparcie merytoryczne, cenne wskazówki oraz życzliwość, które pomogły mi w pracy nad rozprawą doktorską.

Dziękuję także kierownictwu Polskich Portów Lotniczych S. A. za umożliwienie prowadzenia badań naukowych w środowisku organizacji lotniczej, dzięki czemu praca zyskała praktyczny charakter.

Spis treści

Streszczenie w języku polskim, słowa kluczowe	8
Streszczenie w języku angielskim, słowa kluczowe	9
Wykaz skrótów i oznaczeń	10
1 Wprowadzenie	13
1.1 Podmiot i przedmiot badań	13
1.1.1 Polskie Porty Lotnicze jako Zarządzający Lotniskiem Chopina w Warszawie	13
1.1.2 Zarządzanie ryzykiem na lotnisku	16
1.2 Przegląd literatury	22
1.2.1 Wprowadzenie	22
1.2.2 Uregulowania formalno-prawne	23
1.2.3 Publikacje naukowe	27
1.2.4 Wnioski z przeglądu literatury	39
2 Cel, teza i struktura rozprawy	42
2.1 Cel badań i problem badawczy	42
2.2 Dyscyplina naukowa	44
2.3 Koncepcja rozwiązania problemu i hipoteza badawcza	44
2.4 Metody badawcze	45
2.5 Struktura pracy	46
3 Analiza wybranych metod zarządzania ryzykiem	47
3.1 Opis wybranych metod zarządzania ryzykiem	47
3.1.1 Bow-tie	47
3.1.2 Burza mózgów	50
3.1.3 Listy kontrolne	51
3.1.4 Arkusz roboczy do analizy i mitygacji ryzyka	53
3.1.5 Matryce oceny i toleracji ryzyka	55
3.1.6 FMEA	57
3.1.7 HAZOP	62
3.1.8 SWIFT	64
3.1.9 ETA	65
3.1.10 5 × dlaczego	67
3.1.11 ERCS	68
3.1.12 SORA	71
3.1.13 FRAM	73
3.1.14 Metody oparte na danych	76
3.2 Analiza możliwości zastosowania metod zarządzania ryzykiem na lotnisku	78
3.3 Omówienie wyników analizy i wnioski w zakresie metod zarządzania ryzykiem	83
4 Zarządzanie ryzykiem w wybranych organizacjach lotniczych	83
4.1 Zarządzanie ryzykiem na Lotnisku Chopina w Warszawie	84
4.1.1 Opis procesu	84
4.1.2 Metody wykorzystywane na Lotnisku Chopina w Warszawie	87
4.1.2.1 Stosowanie wskaźników bezpieczeństwa	90
4.2 Zarządzanie ryzykiem w PAŻP	96

4.3 Identyfikacja i definiowanie zagrożeń w organizacjach lotniczych	97
4.4 Potrzeby lotnisk w zakresie zarządzania ryzykiem	99
4.5 Wyzwania w zakresie zarządzania ryzykiem	108
4.6 Omówienie wyników analiz i wnioski w zakresie potrzeb zarządzających lotniskami oraz możliwości doskonalenia zarządzania ryzykiem.....	109
5 Model FRAM procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina	111
5.1 Model	113
5.1.1 Kluczowe funkcje procesu	113
5.1.2 Zmienność funkcji	120
5.1.3 Agregacja zmienności	126
5.1.4 Propozycja sposobów zarządzania zmiennością.....	132
5.2 Omówienie wyników analizy FRAM i wnioski w zakresie przebiegu procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina.....	133
6 Metoda zarządzania ryzykiem.....	135
6.1 Wstęp	135
6.2 Działania przygotowawcze.....	138
6.2.1 Analiza i opis zagadnienia.....	138
6.2.2 Kategorie analiz ryzyka według okoliczności ich prowadzenia	138
6.3 Wybór metody analizy ryzyka	141
6.4 Lista kontrolna „zmiana cech lotniska”	149
6.5 Lista kontrolna „prace remontowo-budowlane”	151
6.6 Klasyfikator bayesowski.....	153
6.6.1 Definicja problemu	155
6.6.2 Przygotowanie bazy wiedzy	157
6.6.3 Opisanie danych za pomocą atrybutów (zmiennych niezależnych)	158
6.6.4 Analiza danych.....	166
6.6.5 Wybór wariantu klasyfikatora Bayesa	168
6.6.6 Uczenie modelu	169
6.6.7 Eksperymenty z wykorzystaniem klasyfikatora	173
6.6.8 Testy modelu	176
6.6.9 Omówienie wyników badania dotyczącego możliwości zastosowania klasyfikatora bayesowskiego do zarządzania ryzykiem na lotnisku i wnioski w tym zakresie.....	178
6.7 Identyfikacja zagrożeń.....	179
6.8 Weryfikacja zagrożeń	180
6.8.1 Potwierdzenie poprawnego sformułowania zagrożeń.....	181
6.8.2 Przypisanie zagrożeń do kluczowych obszarów ryzyka	181
6.9 Ocena ryzyka	186
6.10 Mitygacja ryzyka	187
6.11 Ocena ryzyka rezydualnego.....	189
6.12 Zakończenie procesu	189
6.12.1 Sformułowanie kryteriów monitorowania	189
6.12.2 Prezentacja wyników	189
6.12.3 Mapa ryzyka.....	190
6.13 Zestaw wskaźników bezpieczeństwa dla Lotniska Chopina	191
7 Weryfikacja metody.....	195

7.1 Weryfikacja za pomocą FRAM	195
7.2 Ocena ekspercka	206
7.3 Wnioski z przeprowadzonej weryfikacji	207
8 Wnioski	208
8.1 Ocena rozwiązania problemu badawczego	208
8.2 Kierunki dalszych badań	210
Bibliografia.....	211
8.3 Publikacje zwarte.....	211
8.4 Uregulowania formalno-prawne	219
8.5 Źródła internetowe.....	221
8.6 Arkusze wywiadów.....	221
Załączniki	222
Spis rysunków	222
Spis tabel	224

Streszczenie w języku polskim, słowa kluczowe

Praca odnosi się do problemu związanego z brakiem odpowiedniej dla Lotniska Chopina metody zarządzania ryzykiem. Wyniki analiz wskazują, że użyteczne będzie usystematyzowanie i ustandaryzowanie zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina opartego w dużej mierze na wiedzy eksperckiej jego kadry, zmniejszając negatywny wpływ czynnika ludzkiego na jakość wyników SMS oraz w większym stopniu wykorzystując doświadczenie organizacji.

Celem rozprawy było opracowanie metody dającej się wykorzystać do zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina, która mogłaby stać się rozwiązaniem uniwersalnym do wykorzystania w innych organizacjach. Ustalono, że brak jest takiej metody, co stanowi o innowacyjności koncepcji. Praca opiera się na rzeczywistych danych dotyczących systemów zarządzania bezpieczeństwem organizacji lotniczych. W badaniach wykorzystano metody teoretyczne: analizę, porównanie, analogię, abstrahowanie, wnioskowanie indukcyjne i dedukcyjne oraz syntezę. Stosowano w szczególności metodę wnioskowania statystycznego, jaką jest wnioskowanie bayesowskie. Posłużono się także metodą analizy rezonansu funkcjonalnego (Functional Resonance Analysis Method, FRAM).

Zaproponowana metoda zwiększa wydajność procesu zarządzania ryzykiem, ogranicza jego negatywną zmienność, zapewnia automatyzację części zadań oraz wspiera ekspertów w unikaniu większości pomyłek i przeoczeń z zachowaniem obecnego osobowego charakteru zarządzania ryzykiem. Ponadto ogranicza pracochłonność realizacji procesów zarządzania ryzykiem oraz niedoskonałości prowadzonych analiz, która mogłaby prowadzić do obniżenia poziomu bezpieczeństwa. Opracowaną metodę można wdrożyć do stosowania na Lotnisku Chopina w Warszawie, a także na innych lotniskach. Praca wnosi wkład w rozwój systemów zarządzania bezpieczeństwem organizacji lotniczych.

Słowa kluczowe: zarządzanie ryzykiem, system zarządzania bezpieczeństwem, lotnisko

Streszczenie w języku angielskim, słowa kluczowe

This dissertation addresses the problem of the lack of a risk management method appropriate for Chopin Airport. The results of the analyses indicate that it would be beneficial to systematize and standardize Chopin Airport's risk management, based largely on the expert knowledge of its staff, reducing the negative impact of the human factor on the quality of SMS results and leveraging the organization's experience to a greater extent.

The aim of the dissertation was to develop a method applicable to risk management at Chopin Airport, which could become a universal solution for use in other organizations. It was determined that such a method does not exist, which is a key element of the innovative nature of the concept. The dissertation is based on actual data regarding the safety management systems of aviation organizations. The research utilized theoretical methods: analysis, comparison, analogy, abstraction, inductive and deductive reasoning, and synthesis. In particular, Bayesian statistical inference was employed. The Functional Resonance Analysis Method (FRAM) was also applied.

The proposed method increases the efficiency of the risk management process, reduces its negative variability, automates some tasks, and supports experts in avoiding most errors and omissions while maintaining the current, hands-on nature of risk management. Furthermore, it reduces the labor intensity of risk management processes and the inadequacies of conducted analyses, which could lead to a reduction in safety. The developed method can be implemented at Warsaw Chopin Airport and other airports. This work contributes to the development of safety management systems for aviation organizations.

Keywords: risk management, safety management system, airport

Wykaz skrótów i oznaczeń

acft (aircraft) – statek powietrzny
AHP (Analytical Hierarchy Process) - wielokryterialna metoda hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych
AI (artificial intelligence) – sztuczna inteligencja
AIP (Aeronautical Information Publication) – zbiór informacji lotniczych
AL (alert level) – poziom alarmowy
ALARP (As Low As Reasonably Practicable) – metoda „tak nisko, jak to jest praktycznie możliwe”
AMC (acceptable mean of compliance) – akceptowalny sposób spełnienia wymagań
APRON – płyta postojowa
ASRS (Aviation Safety Reporting System) – system dobrowolnego i poufnego raportowania amerykańskiej Federalnej Administracji Lotniczej
AUC ROC (Area Under the Curve Receiver Operating Characteristic) - obszar pod krzywą charakterystyki operacyjnej odbiornika
BHP – bezpieczeństwo i higiena pracy
BIA (Business Impact Analysis) – analiza BIA
BSP – bezzałogowy statek powietrzny
CBA (cost/benefit analysis) – analiza kosztów i strat
CCA (Cause-Consequence Analysis) - analiza przyczynowo-skutkowa
CONOPS (Concept of Operation) – koncepcja operacji, dokument opisujący, w jaki sposób system, proces lub operacja ma funkcjonować z perspektywy użytkownika.
CPT (Conditional Probability Table) - tablice warunkowych prawdopodobieństw
CVaR (Conditional value-at-risk) – metoda CVaR
DET (detection) – możliwość wykrycia lub wyeliminowania
DGR (dangerous goods rules) – zasady transportu materiałów niebezpiecznych
DK – droga kołowania
DPIA (Data Protection Impact Assessment) - ocena skutków dla ochrony danych
EC (escalation control) - środek zapobiegający eskalacji
ECCAIRS (European Coordination Center for Accident and Incident Reporting Systems) - portal do zgłaszania zdarzeń lotniczych lub innych okoliczności, które mogłyby zagrozić bezpieczeństwu operacji lotniczych
EF (escalation factor) - czynnik eskalujący
EIBT (Estimated In-Block Time) - czas zatrzymania samolotu na stanowisku
ERCS (European risk classification scheme) - europejski system klasyfikacji ryzyka
ES (Expected Shortfall) - metoda oczekiwanego niedoboru
ETA (Event Tree Analysis) - analiza drzewa zdarzeń
FAA (Federal Aviation Administration) - Federalna Administracja Lotnictwa Stanów Zjednoczonych
FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – analiza rodzajów i skutków awarii
FMECA (Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis) - analiza rodzajów, skutków i krytyczności awarii
F-N (frequency-number) – diagram F-N
FOD (foreign object debris) - ciało obce
FOD (foreign object debris, foreign object damage) – ciało obce, uszkodzenie spowodowane obecnością ciała obcego.
FRAM (Functional Resonance Analysis Method) – metoda analizy rezonansu funkcjonalnego
FTA (Fault tree analysis) - analiza drzewa błędów
GA (general aviation) – lotnictwo ogólne

GCOL (ground collision) - zderzenie statku powietrznego na ziemi
 GM (guidance material) – materiał zawierający wytyczne
 GSE (ground support equipment) – sprzęt obsługi naziemnej
 H (hazard) - zagrożenie
 HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) - Analiza Zagrożeń i Krytycznych Punktów Kontroli
 HAZOP (Hazard and Operability Study) – analiza zagrożeń i zdolności operacyjnych
 HFACS (The Human Factors Analysis and Classification Scheme) - schemat analizy i klasyfikacji czynników ludzkich
 HFs (human factors) – czynniki ludzkie
 HRA (human reliability analysis) - analiza błędów ludzkich
 ICAO (International Civil Aviation Organization) - Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego
 ILS (instrument landing system) – system nawigacyjny wspomagający lądowanie samolotu
 ISO (International Organization for Standardization) – Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna
 JARUS (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems) – międzynarodowa organizacja działająca na rzecz stworzenia standardowych wymagań technicznych i operacyjnych dla bezzałogowych operacji lotniczych.
 KRA (key risk area) – kluczowy obszar ryzyka
 LIFR (loading instruction report form) – protokół załadunkowy
 LOPA (Layer of Protection Analysis) – analiza warstw zabezpieczeń
 LT (local time) - czas lokalny
 LVP (low visibility procedure) – procedura użytkowania lotniska w warunkach ograniczonej widzialności
 LVTO (low visibility take-off) - procedura startu w ograniczonej widzialności
 MCA (multi-criteria assessment) - analiza wielokryteriowa
 MLAT (multilateration) – multilateracja
 MORS (mandatory occurrence reporting system) – obowiązkowy system zgłaszania zdarzeń lotniczych
 OCC (occurrence) – częstość występowania
 OI (organizational indicator) – wskaźnik organizacyjny
 OSO (Operational Safety Objectives) - cele bezpieczeństwa operacyjnego wg SORA
 PAŻP – Polska Agencja Żeglugi Powietrznej
 PC (preventive control) - środek zapobiegawczy
 PIA (privacy impact assessment) - ocena wpływu na prywatność
 PML – pole manewrowe lotniska
 PPL – Polskie Porty Lotnicze Spółka Akcyjna
 PPS – płyta postojowa samolotów
 PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) – deklaracja wykorzystywana w raportowaniu przeglądów systematycznych i meta-analiz
 PRN – pole ruchu naziemnego
 RCM (Reliability centered maintenance) – metoda RCM
 RPAS (remotely piloted aircraft system) - zdalnie sterowany system lotniczy
 RPN (risk priority number) – numer priorytetu ryzyka
 RVR (runway visual range) - zasięg widzialności wzdłuż drogi startowej
 RWY (runway) - droga startowa
 RWY (runway) – droga startowa
 SAIL (Specific Assurance and Integrity Level) - poziom wiarygodności i niezawodności operacji wg metody SORA

SEV (severity) – dotkliwość

SFAIRP (So Far As Is Reasonably Practicable) – metoda „w takim zakresie, w jakim jest to praktycznie możliwe”

SME (subject matter expert) – ekspert merytoryczny

SMR (surface movement radar) - radar ruchu naziemnego

SMS (safety management system) - system zarządzania bezpieczeństwem

SORA (Specific Operations Risk Assessment) – metoda oceny ryzyka planowanej operacji bezzałogowego statku powietrznego opracowana przez organizację JARUS

SPI (safety performance indicator) – wskaźnik poziomu bezpieczeństwa

SPT (safety performance target) – cel poziomu bezpieczeństwa

SRM (Safety Risk Management) – zarządzanie ryzykiem

STAMP (System-Theoretic Accident Model and Processes) - systemowo-teoretyczny model wypadków i procesów

STGCNN (Spatio-Temporal Graph Convolutional Neural Network) - splotowa sieć neuronowa z grafami przestrzenno-czasowymi

STND (stand) – stanowisko postojowe

STND (stand) – stanowisko postojowe

STPA (Systems-Theoretic Process Analysis) - Systemowo-Teoretyczna Analiza Procesów

SWIFT (Structured What-If Technique) – ustrukturyzowana technika “co będzie, jeśli”

TWY (taxiway) – droga kołowania

TWY (taxiway) – droga kołowania

UAS (Unmanned Aerial System) – system bezzałogowego statku powietrznego

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) – bezzałogowy statek powietrzny

UC (ultimate consequence) - ostateczna konsekwencja

UE – Unia Europejska

UE (unsafe event) - niebezpieczne wydarzenie

UK CAA (United Kingdom Civil Aviation Authority) - Organ nadzoru lotniczego Wielkiej Brytanii

VaR (Value at Risk) – metoda VaR

VMEA (Variation Mode and Effect Analysis) - analiza przyczyn i skutków zmienności

1 Wprowadzenie

1.1 Podmiot i przedmiot badań

Transport lotniczy jest najbezpieczniejszym rodzajem transportu, a utrzymanie takiego stanu w obliczu dynamicznego rozwoju branży oraz stale pojawiających się nowych zagrożeń bezpieczeństwa stanowi duże wyzwanie dla kadry zarządzającej. Pomimo rygorystycznych wymagań prawnych oraz ogromu pracy, jaka została już włożona w budowanie bezpieczeństwa w lotnictwie, systemy zarządzania bezpieczeństwem (safety management system, SMS) wdrożone w organizacjach lotniczych wymagają doskonalenia – co jest naturalne i spodziewane. Jak wskazują istniejące przepisy (Parlament Europejski i Rada, 2018) organizacje lotnicze są zobowiązane, odpowiednio do swojego rodzaju działalności i wielkości, wdrażać i utrzymywać system zarządzania zapewniający zgodność z zasadniczymi wymogami, zarządzać ryzykiem dotyczącym bezpieczeństwa oraz dążyć do stałego doskonalenia takiego systemu. Jeden z komponentów SMS, proces zarządzania ryzykiem został przyjęty jako przedmiot badań. Przeanalizowany został aktualny i pożądany sposób zarządzania ryzykiem na Lotnisku Chopina w Warszawie oraz na innych lotniskach o podobnej charakterystyce. Dane zostały uzupełnione doświadczeniem innych typów organizacji lotniczych. Organizacje te zostały przyjęte jako podmiot badań.

1.1.1 Polskie Porty Lotnicze jako Zarządzający Lotniskiem Chopina w Warszawie

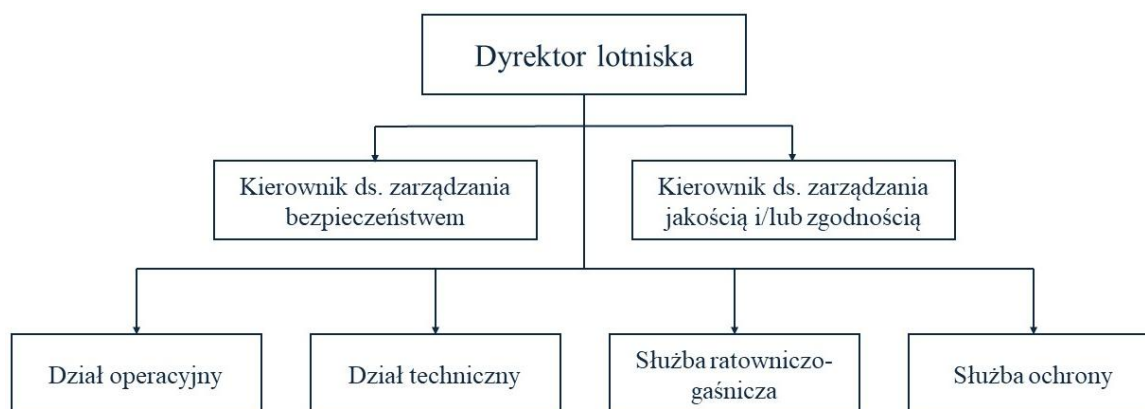
W branży lotniczej działa wiele organizacji, które można podzielić ze względu na zakres działalności:

- organizacje projektujące i produkujące części i wyposażenie statków powietrznych,
- organizacje obsługi technicznej i eksploatacji statków powietrznych,
- operatorów lotniczych,
- organizacje projektujące, produkujące i obsługi technicznej wyposażenia lotniska związanego z bezpieczeństwem,
- organizacje projektujące, obsługi technicznej i eksploatacji lotnisk,
- organizacje obsługi naziemnej,
- instytucje zapewniające służby żeglugi powietrznej, czy
- organizacje projektujące struktury przestrzeni powietrznej.

Niniejsza praca skupia się na organizacjach eksploatujących lotniska.

Lotniskiem jest wydzielony obszar na lądzie, wodzie lub innej powierzchni w całości lub w części przeznaczony do wykonywania startów, lądowań i naziemnego lub nawodnego

ruchu statków powietrznych, wraz ze znajdującymi się w jego granicach obiektami i urządzeniami budowlanymi o charakterze trwałym, wpisany do rejestru lotnisk. Ze względu na dostępność dla użytkowników wyróżnia się lotniska użytku publicznego i lotniska użytku wyłącznego (Ustawa – Prawo lotnicze, 2002). Lotniska odgrywają kluczową rolę w transporcie lotniczym, umożliwiając obsługę pasażerów, ładunków i samolotów. Podmiot, który zarządza lotniskiem (zarządzający lotniskiem) jest zobowiązany m. in. dbać o bezpieczeństwo na jego terenie, sprawność obsługi użytkowników lotniska, zarządzać nim pod względem operacyjnym zapewniając właściwe służby, utrzymywać infrastrukturę lotniskową w odpowiednim stanie technicznym, a także wdrażać i utrzymywać odpowiedni do skali działalności system zarządzania. Każde lotnisko stanowi złożony system organizacyjny i techniczny, który gwarantuje maksymalne bezpieczeństwo wykonywanych operacji lotniczych i pasażerów. Rysunek 1 przedstawia uproszczony schemat organizacyjny zarządzającego lotniskiem.



Rysunek 1 Uproszczony schemat organizacyjny zarządzającego lotniskiem (źródło: opracowanie własne).

Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że wiele z zadań realizowanych przez zarządzającego lotniskiem wymaga współpracy lub koordynacji działań z podmiotami zewnętrznymi (nie zawsze prowadzącymi działalność lotniczą, co sprzyja wzajemnemu niezrozumieniu lub kierowaniu się innymi priorytetami). Organizacje będące zarządzającymi lotniskami mogą prowadzić dodatkowo inną działalność (także w zakresie branży lotniczej lub zupełnie z nią niezwiązaną), z czego wynikają dodatkowe obowiązki, nie zawsze dające się oddzielić od zadań związanych z zarządzaniem lotniskiem. Tak więc czynnikami wpływającymi na funkcjonowanie organizacji zarządzającej lotniskiem są m. in.:

- zmiany fizyczne i organizacyjne w otoczeniu lotniska,
- zmiany legislacyjne (także prawa powszechnego oraz branżowego innego niż lotnicze),
- współpraca z organizacjami zewnętrznymi,

- natężenie ruchu lotniczego oraz naziemnego,
- sytuacje wyjątkowe, np.: epidemia COVID, wojna w sąsiednim kraju.

Polskie Porty Lotnicze (PPL) jest zarządzającym Lotniskiem Chopina w Warszawie (EPWA). Ponadto firma zarządza dwoma innymi polskimi lotniskami: Warszawa-Radom (EPRA) oraz Zielona Góra-Babimost (EPZG). Każde z lotnisk, którymi zarządza PPL, w szczególności Lotnisko Chopina, jest lotniskiem, o którym mowa w art. 2 ust. 1 lit. e bazowego rozporządzenia systemu regulacji lotnictwa w Unii Europejskiej (Parlament Europejski i Rada, 2018), tj.:

- są lotniskami użytku publicznego;
- są wykorzystywane do obsługi zarobkowego transportu lotniczego; oraz
- mają utwardzoną drogą startową przyrządową o długości co najmniej 800 metrów.

Ten fakt decyduje o stosowaniu wobec nich unijnych wymagań certyfikacyjnych dla lotnisk określonych w rozporządzeniu (Komisja Europejska, 2014) oraz w powiązanych decyzjach Dyrektora Wykonawczego Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA, 2014).

Lotnisko Chopina działa od 90 lat i jest największym portem lotniczym (tj. największym lotniskiem użytku publicznego wykorzystywanym do lotów handlowych) w Polsce i jednym z największych w Europie Centralnej. Lotnisko obsługuje międzynarodowy cywilny ruch lotniczy (pasażerski i cargo), lotnictwo ogólne i operacje wojskowych statków powietrznych (na terenie lotniska funkcjonuje 1 Baza Lotnictwa Transportowego Sił Powietrznych Rzeczypospolitej Polskiej). Ponadto lotnisko jest hubem (węzłowym portem lotniczym) dla krajowego przewoźnika LOT. W 2023 roku lotnisko obsłużyło blisko 18,5 mln pasażerów podróżujących na trasach krajowych i międzynarodowych w ramach regularnego i czarterowego cywilnego ruchu lotniczego. Rok 2024 zakończył się rekordową liczbą 21 mln obsłużonych pasażerów. Lotnisko Chopina położone jest w samym centrum miasta (otoczone zabudową), co jest jego cechą charakterystyczną. Topografia lotniska jest bardzo zwarta i skomplikowana (przecinające się drogi startowe, bardzo gęsta sieć dróg kołowania i stanowisk postojowych dla statków powietrznych). Lotnisko obecnie działa z wykorzystaniem niemal całej dostępnej przepustowości. Cechą lotniska, która jest wspólna dla wielu innych lotnisk tej wielkości, jest wielość współpracujących podmiotów zewnętrznych (służb państwowych, agentów obsługi naziemnej, organizacji obsługi technicznej samolotów itd.).

W Tabeli 1 przedstawiono liczbę operacji pasażerskich obsługiwanych w ostatnich latach na polskich lotniskach wraz z dynamiką wzrostu ruchu. Lotnisko Chopina w 2024 r. odpowiada za niemal 40% wszystkich operacji pasażerskich obsługiwanych w polskich portach lotniczych.

Tabela 1 Liczba operacji pasażerskich w ruchu krajowym i międzynarodowym – regularnym i czarterowym w latach 2022 - 2024; UWAGA: dane nie uwzględniają pasażerów w ruchu tranzytowym oraz lotnictwa ogólnego (źródło: Urząd Lotnictwa Cywilnego na podstawie informacji uzyskanych z portów lotniczych).

Lotnisko	2024	2023	2022	Dynamika 2024/2023	Dynamika 2024/2022
Chopina w Warszawie	170 403	152 497	130 672	11,70%	30,40%
Kraków – Balice	70 690	59 791	51 704	18,20%	36,70%
Gdańsk im. L. Wałęsy	46 492	40 860	36 022	13,80%	29,10%
Katowice - Pyrzowice	40 233	35 872	31 682	12,20%	27,00%
Wrocław – Strachowice	32 373	27 652	22 486	17,10%	44,00%
Poznań – Ławica	25 404	20 555	17 471	23,60%	45,40%
Warszawa / Modlin	15 695	19 920	19 510	-21,20%	-19,60%
Rzeszów – Jasionka	11 042	8 359	6 233	32,10%	77,20%
Szczecin – Goleniów	4 331	4 212	3 782	2,80%	14,50%
Lublin	2 786	2 446	2 605	13,90%	6,90%
Bydgoszcz	2 675	2 704	2 152	-1,10%	24,30%
Łódź	2 530	2 119	1 185	19,40%	113,50%
Zielona Góra - Babimost	929	907	782	2,40%	18,80%
Warszawa - Radom	777	701	0	10,80%	-
Olsztyn - Mazury	586	1 170	1 096	-49,90%	-46,50%
SUMA	426 946	379 765	327 382	12,40%	30,40%

Przytoczone cechy lotniska znacząco wpływają na jego system zarządzania, w tym na system zarządzania bezpieczeństwem, będący przedmiotem badań.

Dzięki skali działania oraz posiadanemu doświadczeniu PPL stanowi wartościowe miejsce do prowadzenia badań naukowych. Jedną z wartości korporacyjnych firmy jest rozwój: przedsiębiorstwo poszukuje i wprowadza nowe rozwiązania do swojej działalności oraz wspiera rozwój pracowników, dzieląc się wiedzą i doświadczeniem.

1.1.2 Zarządzanie ryzykiem na lotnisku

Jak wspomniano w poprzednim rozdziale, jednym z podstawowych zadań zarządzającego lotniskiem jest systemowe zarządzanie bezpieczeństwem. Rozporządzenie, na podstawie którego Lotnisko Chopina jest certyfikowane (Komisja Europejska, 2014), wymaga ustanowienia systemu zarządzania obejmującego m. in. *formalny proces zapewniający identyfikację zagrożeń operacyjnych oraz formalny proces zapewniający analizę, ocenę i łagodzenie ryzyka w zakresie bezpieczeństwa użytkowania lotniska*. Wdrażanie i utrzymywanie tego systemu są warunkiem koniecznym do prowadzenia działalności polegającej na zarządzaniu lotniskiem.

W branży lotniczej, od samych jej początków, przywiązuje się dużą wagę do bezpieczeństwa. Już pierwszy akt prawny regulujący tę branżę (Konwencja

o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, 1944) powołał Organizację Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego, której jednymi z głównych celów są *zapewnianie bezpiecznego rozwoju międzynarodowego lotnictwa cywilnego oraz zapewnianie ludom świata bezpiecznego przewozu lotniczego*. W 2013 r. zdecydowano, że korzystne będzie zastosowanie podejścia systemowego do zarządzania bezpieczeństwem w lotnictwie, ogłaszając treść załącznika do przywołanej konwencji (ICAO, 2013a) dotyczącego tego zagadnienia. W załączniku tym zebrano i ustandaryzowano normy dla całej branży, które wcześniej były adresowane indywidualnie do organizacji lotniczych zależnie od zakresu ich działalności. W Tabeli 2 zestawiono wybrane pojęcia z zakresu zarządzania bezpieczeństwem.

Tabela 2 Wybrane terminy związane z systemem zarządzania bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).

Bezpieczeństwo (Safety)	Stan, w którym ryzyka powiązane bezpośrednio lub pośrednio z działaniami lotniczymi, jakie występują podczas eksploatacji statków powietrznych, zostały obniżone do akceptowalnego poziomu i znajdują się pod kontrolą (ICAO, 2013a)
System Zarządzania Bezpieczeństwem (Safety management system - SMS)	Systemowe i systematyczne podejście do zarządzania bezpieczeństwem, obejmujące niezbędne: strukturę organizacyjną, zakresy odpowiedzialności (accountability) i obowiązków (responsibilities), politykę oraz procedury (ICAO, 2013a). Oznacza systematyczne podejście do zarządzania bezpieczeństwem, obejmujące niezbędne struktury organizacyjne, zakresy odpowiedzialności, polityki i procedury, a także obejmuje każdy system zarządzania, który — niezależnie lub w sposób zintegrowany z innymi systemami zarządzania organizacji — dotyczy zarządzania bezpieczeństwem (Parlament Europejski i Rada, 2014).
Zagrożenie (Hazard)	Stan lub obiekt, który potencjalnie może spowodować lub przyczynić się do wystąpienia incydentu lub wypadku statku powietrznego (ICAO, 2013b). Oznacza sytuację lub przedmiot z potencjałem spowodowania śmierci lub urazów ciała osoby, uszkodzeń sprzętu lub konstrukcji, straty materiału lub zmniejszenia możliwości wypełnienia przez osobę określonych funkcji (Parlament Europejski i Rada, 2014).
Konsekwencja zagrożenia	Skutek, który może być wywołany przez zagrożenie. Konsekwencje dzielimy na: pośrednie, tj. niebezpieczne wydarzenia (unsafe events) oraz ostateczne, tj. zdarzenia (occurences), incydenty (incidents) i wypadki (accident) (ICAO, 2013b).
Ryzyko (Safety risk)	Przewidywane prawdopodobieństwo i dotkliwość konsekwencji lub skutków zagrożenia. (ICAO, 2013a)

Priorytetem każdej działalności lotniczej, w tym zarządzania lotniskiem, jest bezpieczeństwo. Bezpieczeństwo w lotnictwie to nie jest stan, który raz osiągnięty, utrzymuje się stale. Aby utrzymać odpowiedni poziom bezpieczeństwa, należy prowadzić działania usystematyzowane i dynamiczne, odpowiadające na bieżące potrzeby i dopasowane do realiów. Od początku XXI w. w branży lotniczej, w kontekście bezpieczeństwa, stosuje się kompleksowe podejście systemowe. *Kompleksowe podejście systemowe do bezpieczeństwa*

uznaje całą branżę lotniczą za system. Wszystkie podmioty lotnicze oraz ich systemy zarządzania bezpieczeństwem są uważane za podsystemy (ICAO, 2018).

Znaczącym problemem w utrzymaniu systemu zarządzania bezpieczeństwem jest określenie jego zakresu oraz zapewnienie zrozumienia tego zakresu w całej organizacji. Najważniejszym założeniem, o którym warto pamiętać na każdym etapie budowania oraz rozwijania SMS jest założenie, że w systemie zarządzania bezpieczeństwem organizacji lotniczej zagrożenie to stan lub obiekt, który może spowodować lub przyczynić się do incydentu lub wypadku lotniczego. W lotnictwie zagrożenie jest uważane za ukryty potencjał szkody obecny w takiej czy innej formie w systemie lub jego otoczeniu. Ten potencjał szkody może występować w różnych formach, na przykład jako stan naturalny (np. teren) lub stan techniczny (np. oznakowanie drogi startowej). Operatorzy lotnisk muszą radzić sobie z licznymi wyzwaniami, aby zapewnić bezpieczeństwo operacyjne.

Kluczowy personel lotniska przedstawiony na Rysunku 1 realizuje procesy zarządzania ryzykiem. W szczególności Dyrektor lotniska (Accountable Manager) posiada szerokie uprawnienia w zakresie zarządzania lotniskiem, stoi na czele systemu zarządzania bezpieczeństwem i ponosi ostateczną odpowiedzialność za bezpieczeństwo operacji lotniskowych. Jest to osoba o najwyższym poziomie decyzyjności w strukturze organizacyjnej, uprawniona do podejmowania strategicznych decyzji operacyjnych i finansowych związanych z bezpieczeństwem i zgodnością działań organizacji. Funkcję Kierownika ds. zarządzania bezpieczeństwem (Safety Manager), odpowiedzialnego za utrzymanie oraz nadzór nad funkcjonowaniem Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem (SMS), pełni osoba bezpośrednio podlegająca dyrektorowi lotniska w ramach obowiązującej struktury organizacyjnej. Wszelkie raporty dotyczące bezpieczeństwa, w tym wyniki analiz ryzyka, są przekazywane bezpośrednio do dyrektora. Bardzo istotną rolę w procesie zarządzania ryzykiem pełni personel operacyjny dostarczając kluczowe informacje o przebiegu analizowanego procesu i przyczynach jego zakłóceń (Tubis i in., 2021).

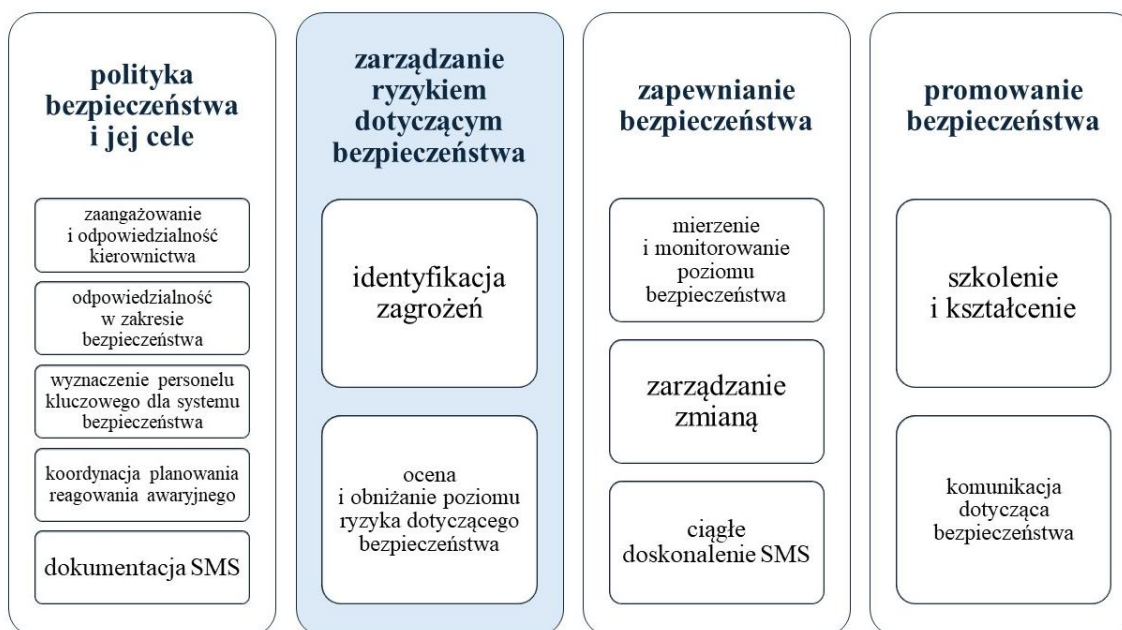
SMS lotniska musi uwzględniać zagrożenia różnych rodzajów, takie jak awarie systemów technicznych, ruch naziemny na lotnisku, złożoność i wymaganą terminowość obsługi naziemnej czy niekorzystne warunki pogodowe. Wszystkie wyżej wymienione aspekty znajdują odzwierciedlenie w literaturze. Niekorzystne warunki atmosferyczne, zwłaszcza słaba widzialność, powodują zagrożenia głównie podczas lądowania i w ruchu lotniskowym podczas kołowania samolotów i poruszania się pojazdów lotniskowych. Podstawowym sposobem łagodzenia tych zagrożeń jest stosowanie procedur użytkowania lotniska w warunkach ograniczonej widzialności (low visibility procedure, LVP) i wspomaganie użytkowników

lotniska za pomocą systemów technicznych, które poprawiają świadomość sytuacyjną i systemy wspomagania decyzji (Rathnakumar i Liu, 2025), (Kwasiborska i in., 2023), (Ali i in., 2023), (Schultz i in., 2018), (Zhou i Chen, 2020). Najbardziej narażone na zagrożenia obszary to drogi startowe i drogi kołowania, głównie ze względu na znacznie większą prędkość samolotów (Wilke i in., 2015). Najniebezpieczniejszymi typami zdarzeń na lotniskach są wtargnięcia na drogę startową i wypadnięcia z drogi startowej, które mogą prowadzić do kolizji. Stosuje się bariery zapobiegawcze w postaci systemów naprowadzania, ścisłego przestrzegania procedur bezpieczeństwa oraz instrukcji kontrolera czy urządzeń monitorujących stan nawierzchni drogi startowej (Su i in., 2023), (Pestana i in., 2021). Szczególnie istotnym systemem w tym kontekście jest zaawansowany system nadzorowania i kontroli lotniskowego ruchu naziemnego (Advanced Surface Movement Guidance and Control System, A-SMGCS) z powodzeniem wdrożony na wielu lotniskach (Thupakula i in., 2016), (Zhao i in., 2021).

Jak wskazuje Tabela 2 ryzyko to przewidywane prawdopodobieństwo i dotkliwość konsekwencji lub skutków zagrożenia. W lotnictwie (ICAO, 2018) najczęściej określa się je ilościowo za pomocą indeksu ryzyka, składającego się z wartości wskazującej poziom prawdopodobieństwa (np. od 1 do 5) oraz poziom dotkliwości (np. od A do E).

Ryzyko zdarzenia lotniczego mogłoby zostać ograniczone do zera w przypadku całkowitego zaprzestania działalności lotniczej: brak operacji lotniczych byłby skutecznym działaniem zapobiegającym wypadkom. Takie rozwiązanie nie jest jednak zadawalające, ponieważ celem jest, aby samoloty latały, a organizacje lotnicze się rozwijały. Procesy zarządzania bezpieczeństwem pomagają w utrzymaniu rentowności funkcjonowania organizacji przy równoczesnym utrzymaniu ryzyka na akceptowalnym poziomie. Przestrzeń, w której organizacja lotnicza powinna (chce) funkcjonować jest przestrzenią, w której pożądana rentowność jest osiągnięta przy zachowaniu akceptowalnego poziomu ryzyka. Należy także pamiętać, że, choć zwykle bezpieczeństwo jest kosztowne pod względem finansowym, w szerszym ujęciu pozwala na oszczędności. Brak zdarzeń lotniczych pozwala zaoszczędzić ich koszty. Zapobieganie jest tańsze niż leczenie. Fakt, że środki bezpieczeństwa stanowią koszty „tu i teraz”, a oszczędności wynikające z unikania zdarzeń są nienamagalne, sprawia, że docenienie działań zapobiegających zdarzeniom pod względem finansowym nie jest oczywiste.

Zarządzanie ryzykiem to komponent systemu zarządzania bezpieczeństwem obejmujący identyfikację zagrożeń oraz ocenę i mitygację ryzyka (ICAO, 2018). Rysunek 2 przedstawia miejsce tego komponentu w strukturze systemu zarządzania bezpieczeństwem.

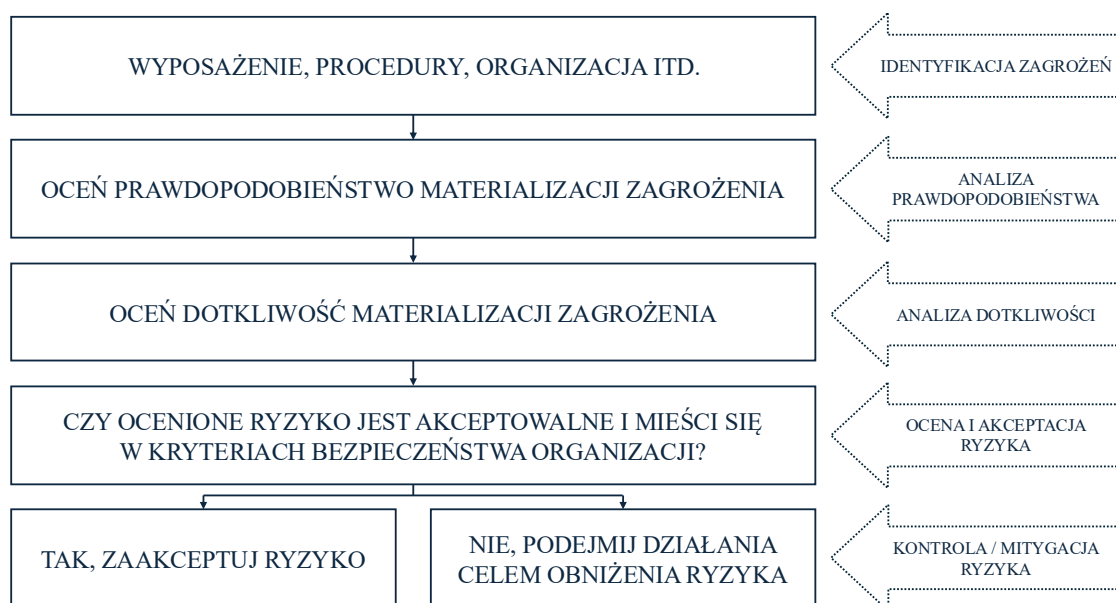


Rysunek 2 Proces zarządzania ryzykiem jako komponent systemu zarządzania bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne na podstawie (ICAO, 2018)).

Proces ten zajmuje się ryzykiem wyrządzenia szkody na skutek wykonywania operacji lotniczej:

- obrażenia osób na ziemi;
- obrażenia osób w powietrzu;
- uszkodzenie infrastruktury lotniskowej.

Nie dotyczy on z kolei ryzyka finansowego (np. poniesienie strat finansowych), środowiskowego (np. zanieczyszczenie środowiska), społecznego (np. zakłócanie spokoju publicznego) itp. Przebieg procesu zarządzania ryzykiem zaprezentowano na Rysunku 3.



Rysunek 3 Przebieg procesu zarządzania ryzykiem (źródło: opracowanie własne na podstawie (ICAO, 2018)).

W niniejszej pracy przyjęto, że „analiza ryzyka” oznacza realizację procesu zarządzania ryzykiem, tj. przeprowadzenie identyfikacji zagrożeń oraz oceny ryzyka wraz ze wskazaniem jego koniecznej (lub możliwej) mitygacji.

Celami zarządzania ryzykiem są (Spriggs, 2002):

- Ustalenie prawdopodobieństwa i dotkliwości konsekwencji dla każdego zagrożenia. Zasadniczo nie będą to dokładne wartości, ale raczej świadoma ocena co do rzędu wielkości;
- Wykorzystanie tych informacji jako środka do ustalania priorytetów działań, tj. które zagrożenie wymaga najwięcej pracy i dlaczego powinno zostać rozwiązane w pierwszej kolejności?
- Określenie odpowiednich środków łagodzących dla każdego zagrożenia;
- Przewidzenie skuteczności tych środków w ograniczaniu ryzyka.

Działania mitygujące ryzyko, zgodnie z Podręcznikiem zarządzania bezpieczeństwem (ICAO, 2018) mogą mieścić się w jednej lub kilku ze strategii:

- Unikanie: operacja lub działanie jest anulowane lub unikane, ponieważ ryzyko przekracza korzyści z kontynuowania działania, tym samym całkowicie eliminując ryzyko;
- Redukcja: częstotliwość operacji lub działania jest zmniejszana lub podejmowane są działania w celu zmniejszenia wielkości konsekwencji ryzyka;
- Segregacja: podejmowane są działania w celu odizolowania skutków ryzyka lub wbudowania redundancji w celu ochrony przed nimi.

Zarządzanie ryzykiem odnosi się do zdarzeń przeszłych, stanu obecnego oraz do planowanych (spodziewanych) wydarzeń i zmian. W przypadku zdarzeń, celem procesu jest poszukiwanie wśród ich przyczyn i okoliczności trwałych, powtarzających się zjawisk, które można wyeliminować. Analizując teraźniejsze procesy i stan obecny ocenia się istniejący poziom ryzyka, poszukując sposobów na jego obniżenie. W odniesieniu do planowanych zmian w systemie operacyjnym lotniska, celem procesu jest sprawdzenie, czy te działania nie obniżą bezpieczeństwa. Wszystkie te zakresy działalności lotniskowych analityków ryzyka są istotne i napotykać podobne problemy, które są poruszane w niniejszej dysertacji. Należy zaznaczyć, że wymienione grupy zagadnień podlegających procesowi zarządzania ryzykiem nie stanowią katalogu zamkniętego – SMS musi być systemem otwartym i gotowym na dostosowanie się do bieżącej sytuacji i pojawiających się nowych potrzeb.

W każdej analizie ryzyka lotniskowi specjaliści muszą brać pod uwagę czynniki ludzkie (human factors, HF) (Uchroński, 2020). Są to umiejętności społeczne i osobiste, takie jak komunikacja, radzenie sobie ze stresem i praca zespołowa. Czynniki te decydują o tym, jak ludzie wykonują swoje zadania, więc znacząco wpływają na bezpieczeństwo. Czynniki ludzkie, w różnych przypadkach, może być zagrożeniem, czynnikiem sprzyjającym materializacji zagrożenia lub barierą bezpieczeństwa (Muecklich i in., 2023), (Kirwan, 1998), (Shorrock i Kirwan, 2002). Czynniki ludzkie odgrywa kluczową rolę, ponieważ jest najważniejszym czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo lotniska (Chikha i Skorupski, 2022), (Skorupski i in., 2020).

Mimo, że sama struktura procesu analizy ryzyka na lotnisku jest precyzyjnie zdefiniowana, istnieją drobne odchylenia, których samych w sobie nie można uznać za błędy lub nieprawidłowości. Są one spodziewane, ponieważ nie da się zapewnić całkowitej powtarzalności procesu, w którym człowiek odgrywa centralną rolę. Jednak konsekwencje tych odchyleń mogą powodować znaczną różnicę jakościową w skuteczności procesu analizy ryzyka i wnioskach, jakie wyciągamy z tego procesu. Proces lotniskowej oceny ryzyka jest klasycznym przykładem zagadnienia, które należy analizować zgodnie z podejściem „Safety II”. Analizuje ono nie tyle błędy lub awarie systemu, ile jego prawidłowe działanie w kontekście możliwej zmienności, która może prowadzić do różnych wyników, mimo że sama w sobie jest normalna. Przedmiotem analizy w tym podejściu są drobne incydenty o niewielkim wpływie na bezpieczeństwo, a nie wypadki o poważnych konsekwencjach. W przeciwieństwie do tradycyjnego podejścia „Safety I”, które koncentruje się na redukcji ryzyka i zapobieganiu zdarzeniom niepożądanym, „Safety II” koncentruje się na identyfikowaniu i wzmacnianiu mechanizmów, które umożliwiają organizacji działanie w dynamicznych, nieprzewidywalnych warunkach (Hollnagel, 2018), (Hollnagel, 2017).

Zarządzanie ryzykiem na lotnisku wiąże się z obowiązkiem przestrzegania międzynarodowych wymagań, przeprowadzaniem reaktywnych, proaktywnych i predyktywnych analiz ryzyka (wraz z jego oceną) i podejmowaniem niezbędnych działań mitygujących oraz decyzji dotyczących bezpieczeństwa (Potente i in., 2018), (Yousefi i in., 2020). Procesy te, przeprowadzane według podejścia „Safety II” są przedmiotem niniejszej pracy.

1.2 Przegląd literatury

1.2.1 Wprowadzenie

Celem przeglądu było wskazanie luk w istniejącej wiedzy oraz potwierdzenie potrzeby podjęcia badań w zakresie określonym w poprzednich rozdziałach. W szczególności skupiono

się na ustaleniu, jakie metody są dotychczas stosowane do zarządzania ryzykiem na lotniskach, a także w jaki sposób i w jakim zakresie są stosowane. Celem było również ustalenie które istniejące metody są możliwe do zastosowania na lotnisku, jakie są możliwości zmiany sposobu ich stosowania oraz jakich metod brakuje. Weryfikowano także jakie są możliwości zastosowania narzędzi opartych o sztuczną inteligencję (artificial intelligence, AI) do zarządzania bezpieczeństwem na lotnisku. Ponadto poszukiwano odpowiedzi na pytanie: jakie są ograniczenia i konieczne warunki do dalszego rozwoju narzędzi opartych o AI?

Wynikiem przeglądu jest wskazanie możliwości doskonalenia zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina w Warszawie. Przeprowadzono przegląd uregulowań formalno-prawnych oraz publikacji naukowych.

1.2.2 Uregulowania formalno-prawne

Branża lotnicza jest w znacznym stopniu uregulowana. Z tego względu przeglądem literatury objęto w pierwszej kolejności uregulowania formalno-prawne zarządzania ryzykiem przez zarządzających lotniskami skupiając się na tych obowiązujących w Polsce. Dokonano przeglądu krajowych, wspólnotowych (unijnych) oraz międzynarodowych regulacji branżowych. Do realizacji przeglądu uregulowań formalno-prawnych wykorzystano witryny internetowe Międzynarodowej Organizacji Lotnictwa Cywilnego (ICAO), Unii Europejskiej (UE), Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA), Urzędu Lotnictwa Cywilnego (ULC), wyszukiwarkę aktów prawnych LEX, bazę aktów prawnych Unii Europejskiej EUR-Lex oraz Internetowy System Aktów Prawnych ISAP.

Dokumenty poddane analizie wylistowano w części „Uregulowania formalno-prawne” bibliografii zawartej w końcowej części dysertacji. Ustalono, że analizowane akty prawne nie narzucają Zarządzającym lotniskami stosowania konkretnej metody zarządzania ryzykiem; analizowane dokumenty zawierają w tym zakresie wskazówki i rekomendacje. Jedynym wyjątkiem jest zobligowanie organizacji lotniczych do wdrożenia, monitorowania i raportowania wskaźników bezpieczeństwa (safety performance indicators, SPIs). Poniżej przedstawiono krótki opis zakresu regulacji przedmiotowego zagadnienia w poszczególnych aktach prawnych.

Załącznik nr 19 do konwencji chicagowskiej (ICAO, 2013a) wskazuje na obowiązek ustanowienia procesów zarządzania ryzykiem, jednak nie wymienia żadnej metody do wykorzystania przy ich realizacji. Dokument ten odsyła do Podręcznika zarządzania bezpieczeństwem Doc 9859. Analizując jego zapisy wzięto pod uwagę dwa ostatnie wydania: trzecie (ICAO, 2013b) i czwarte (ICAO, 2018). W podręczniku jako metody zarządzania ryzykiem wskazuje się arkusz roboczy (opisano go w rozdziale 3.1.4) dotyczący analizy

i łagodzenia (mitygacji) ryzyka wraz z tabelami określającymi skalę do oceny dotkliwości i prawdopodobieństwa oraz definiującymi indeksy ryzyka oraz poziomy tolerancji ryzyka. Skala do oceny zarówno dotkliwości, jak i prawdopodobieństwa materializacji zagrożeń, jest pięciostopniowa (szczegóły tego zagadnienia zawarto w rozdziale 3.1.5). Poza arkuszem łagodzenia ryzyka ICAO proponuje metodę burzy mózgów do użycia podczas zarządzania ryzykiem. Opis metody burzy mózgów zawarto w rozdziale 3.1.2. ICAO nie zaleca metod zarządzania ryzykiem w odniesieniu do rodzaju działalności prowadzonej przez daną organizację lotniczą, tj. brak jest dedykacji określonych metod np. dla zarządzającego lotniskiem.

Unijne rozporządzenie dla lotnisk (Komisja Europejska, 2014) nie wskazuje metod zarządzania ryzykiem. Powiązane z nim wytyczne (EASA, 2014) rekomendują stosowanie do identyfikacji zagrożeń burzy mózgów, metody analizy zagrożeń i zdolności operacyjnych (Hazard and Operability Study, HAZOP), list kontrolnych, metody analizy rodzajów i skutków awarii (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA), ustrukturyzowanej techniki “co będzie, jeśli” (Structured What-If Technique, SWIFT) oraz wskaźników bezpieczeństwa. Opis wymienionych metod zawarto w rozdziale 3.1. W materiałach zwraca się uwagę na potrzebę budowania wskaźników o charakterze reaktywnym, proaktywnym oraz predykcyjnym. Dla porównania organy nadzoru lotniczego Stanów Zjednoczonych (Federal Aviation Administration, FAA) oraz Wielkiej Brytanii (United Kingdom Civil Aviation Authority, UK CAA) w oficjalnych publikacjach sugerują tylko jedną analizę: bow-tie (Marzec i Fellner, 2023). Metoda bow-tie została opisana w rozdziale 3.1.1.

Rozporządzenie uzupełniające rozporządzenie bazowe (Komisja Europejska, 2020) wprowadza „europejski system klasyfikacji ryzyka” (ERCS) jako metodę do oceny ryzyka dla lotnictwa cywilnego stwarzanego przez zdarzenie. Jak wskazano w artykule 3 tego aktu prawnego *ERCS odnosi się do ryzyka, jakie wiąże się ze zdarzeniem, natomiast nie odnosi się on do faktycznych skutków zdarzenia. Ocena każdego zdarzenia prowadzi do określenia najgorszych możliwych skutków wypadku, do którego mogłoby prowadzić to zdarzenie, oraz określenia tego, na ile dane zdarzenie było bliskie wywołania tych skutków wypadku*. Opis tej metody zawarto w rozdziale 3.1.11. Organizacje lotnicze, w tym zarządzający lotniskami, nie zostali zobowiązani do stosowania tej metody. Właściwe organy państw członkowskich (w przypadku Polski – Urząd Lotnictwa Cywilnego) są zobowiązane do poddawania przeglądowi i ew. zmiany dokonywanych przez organizacje klasyfikacji zdarzeń pod względem ryzyka, w celu zapewnienia by były one zgodne z ERCS.

Polskie rozporządzenie (MTBiGM, 2013) zobowiązuje do załączania do kierowanych do Prezesa ULC wniosków o uzyskanie zezwolenia na dokonanie istotnych zmian eksploatacyjnych i technicznych cech lotniska analizy bezpieczeństwa *o której mowa w przepisach wydanych na podstawie art. 83 ust. 1 ustawy Prawo lotnicze*. Wskazany zapis ustawy odwołuje do rozporządzenia definiującego zakres analizy bezpieczeństwa (MiR, 2014) wskazując konieczność zawarcia w niej opisu zakresu zmiany, zidentyfikowanych zagrożeń, określenia kryteriów bezpieczeństwa stosowanych do zmiany, analizę ryzyka *w odniesieniu do szkodliwych skutków lub poprawy bezpieczeństwa związanego ze zmianą*, ocenę ryzyka oraz ewentualne mechanizmy łagodzenia ryzyka, opis sposobu w jaki zmiana zostanie zweryfikowana pod względem spełnienia kryteriów bezpieczeństwa przed oraz po jej wdrożeniu. Ponadto rozporządzenie nakazuje uwzględnienie w analizie specyfiki lotniska, warunków jego eksploatacji, sposobu jego zarządzania oraz wpływu na personel; powiązań i wzajemnych oddziaływań między elementami podlegającymi zmianie a resztą systemu i środowiskiem; pełnego cyklu wprowadzania zmiany od momentu jej zdefiniowania do praktycznego stosowania.

Na lotniskach coraz częściej wykonuje się operacje bezzałogowymi statkami powietrznymi. Operacje te prowadzone są najczęściej przez zarządzającego lub na jego zlecenie np. w celu przeprowadzenia inspekcji oświetlenia nawigacyjnego. Ta działalność implikuje zupełnie odmienne zagrożenia od tych powiązanych z pozostałą działalnością lotniska. Wytyczne unijnej Agencji (EASA, 2022) do przepisów UE dla operacji bezzałogowymi statkami powietrznymi (Komisja Europejska, 2019) w określonych okolicznościach zobowiązują do prowadzenia oceny ryzyka, sugerując stosowanie metody Specific Operations Risk Assessment (SORA) jako akceptowalnego sposobu spełnienia tego wymagania. Opis tej metody zawarto w rozdziale 3.1.12.

Prezes Urzędu Lotnictwa Cywilnego za pośrednictwem Krajowego Planu Bezpieczeństwa (ULC, 2025), stanowiącego załącznik do Krajowego Programu Bezpieczeństwa (ULC, 2024), wskazuje obszary zagrożeń występujące w lotnictwie cywilnym w Polsce oraz określa działania niezbędne do implementacji, zarówno przez podmioty lotnicze, jak i Urząd. Wdrożenie tych działań ma na celu skuteczne zarządzanie ryzykiem. W szczególności zobligowano podmioty lotnicze (w tym zarządzających lotniskami) do wdrożenia, monitorowania i raportowania wskaźników poziomów bezpieczeństwa (SPI).

Analizowano także dokumenty niezwiązane bezpośrednio z branżą lotniczą, ale dotyczące procesów zarządzania ryzykiem. W szczególności dokonano przeglądu standardów publikowanych przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ISO). Norma

(IEC, 2019) wskazuje 41 technik zarządzania ryzykiem. Niektóre narzędzia i techniki są uniwersalne (można je stosować w większości przypadków i na większości etapów procesu zarządzania ryzykiem), jednak niektóre mają bardzo specyficzne zastosowania (Marzec i Fellner, 2023). Wykaz technik w podziale na cel stosowania przedstawia Tabela 3.

Tabela 3 Wykaz technik zarządzania ryzykiem w podziale na zakres stosowania (źródło: (IEC, 2019)).

Techniki zbierania opinii interesariuszy i ekspertów	Burza mózgów, metoda delficka, technika grupy nominalnej, ustrukturyzowane lub częściowo ustrukturyzowane wywiady, ankiety
Techniki identyfikacji ryzyka	Checklisty, klasyfikowanie, taksonomia, Analiza rodzajów i skutków awarii (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA), Analiza rodzajów, skutków i krytyczności awarii (Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis, FMECA), Analiza Zagrożeń i Zdolności Operacyjnych (Hazard and Operability Study, HAZOP), analiza scenariuszy, ustrukturyzowana metoda co jeśli (structured what if technique, SWIFT)
Techniki określania źródeł, przyczyn i czynników ryzyka	Podjęcie cindynic, diagram Ishikawy
Techniki analizowania mechanizmów kontroli	Analiza bow-tie, Analiza Zagrożeń i Krytycznych Punktów Kontroli (Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP), analiza warstw zabezpieczeń (Layer of Protection Analysis, LOPA)
Techniki analizy konsekwencji i prawdopodobieństwa	Analiza bayesowska, sieci bayesowskie i diagram wpływu, Analiza BIA (Business Impact Analysis), analiza przyczynowo-skutkowa (Cause-Consequence Analysis, CCA), analiza drzewa zdarzeń (Event Tree Analysis, ETA), analiza drzewa błędów (Fault tree analysis, FTA), analiza błędów Ludzkich (human reliability analysis, HRA), model Markowa, symulacja Monte Carlo, Ocena wpływu na prywatność (privacy impact assessment, PIA), Ocena Skutków dla Ochrony Danych (Data Protection Impact Assessment, DPIA)
Techniki analizy zależności i interakcji	Mapowanie przyczyn, analiza wpływu krzyżowego
Techniki mierzenia ryzyka	ocena ryzyka toksykologicznego, metoda VaR (Value at Risk), metoda CVaR (Conditional value-at-risk), metoda oczekiwanego niedoboru (Expected Shortfall, ES)
Techniki ewaluacji i określania ważności ryzyka	metoda „tak nisko, jak to jest praktycznie możliwe” (As Low As Reasonably Practicable, ALARP), metoda „w takim zakresie, w jakim jest to praktycznie możliwe” (So Far As Is Reasonably Practicable, SFAIRP), diagram F-N (frequency-number), wykresy Pareto, metoda RCM (Reliability centered maintenance), indeksy ryzyka
Techniki wyboru z dostępnych opcji	Analiza kosztów i strat (cost/benefit analysis, CBA), drzewo decyzyjne, teoria gier, analiza wielokryteriowa (multi-criteria assessment, MCA)
Techniki rejestrowania i raportowania	Rejestr ryzyka, matryca konsekwencji i prawdopodobieństwa (matryca ryzyka, mapa cieplna), krzywa S

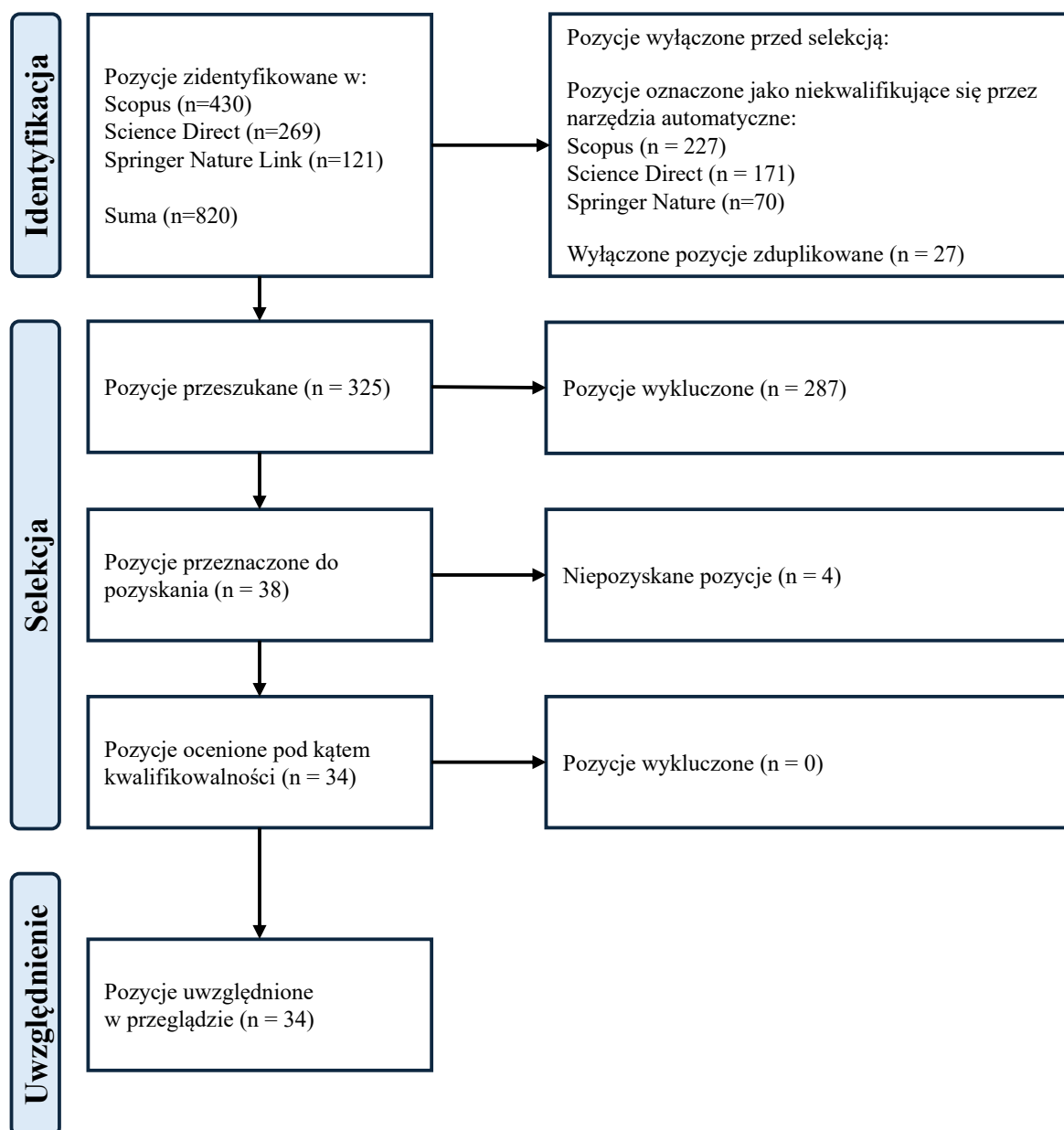
Pomimo, że przytoczona norma i pozostałe regulacje formalno-prawne ich nie wskazują, to współcześnie coraz większą popularność w zarządzaniu ryzykiem zdobywają nowoczesne podejścia systemowe, takie jak metoda analizy rezonansu funkcjonalnego (Functional Resonance Analysis Method, FRAM), schemat analizy i klasyfikacji czynników ludzkich (Human Factors Analysis and Classification System, HFACS), systemowo-teoretyczny model

wypadków i procesów (System-Theoretic Accident Model and Processes, STAMP) oraz Systemowo-Teoretyczna Analiza Procesów (Systems-Theoretic Process Analysis, STPA). Metody te są lepiej dostosowane do współczesnego, skomplikowanego, socjotechnicznego i intensywnie korzystającego z oprogramowania świata ponieważ są oparte na nowoczesnym myśleniu systemowym i teorii systemów. Uwzględniają zarówno czynniki techniczne, jak i organizacyjne oraz behawioralne. Ich rozwój odpowiada na ograniczenia tradycyjnych metod analizy ryzyka, oferując bardziej dynamiczne i holistyczne spojrzenie na przyczyny błędów oraz awarii (Shappell i Wiegmann, 2000), (Hollnagel, 2012), (Salmon i in., 2012), (Leveson, 2016). Na tej podstawie stwierdzono, że metody określone w Tabeli 3 nie są wystarczające. W celu zapewnienia, aby planowana metoda zarządzania ryzykiem odpowiadała wyzwaniom współczesnego świata oraz wykorzystywała dostępne nowoczesne podejścia systemowe, zdecydowano o ich przeanalizowaniu i uwzględnieniu w niniejszej pracy.

1.2.3 Publikacje naukowe

Dokonując przeglądu literatury naukowej wykorzystano wytyczne (PRISMA, 2024) jako ramy metodologiczne. Zastosowano wyszukiwarki internetowe Scopus, Springer Nature oraz Science Direct.

W celu ustalenia, jakie metody są dotychczas stosowane do zarządzania ryzykiem na lotniskach oraz w jaki sposób i w jakim zakresie są stosowane sformułowano następujące zapytanie: ("safety management system" OR "safety risk management") AND ("aerodrome" OR "airport" OR "airport operations") AND ("risk analysis" OR "risk assessment" OR "hazard identification") AND ("aviation"). Przeglądano artykuły publikowane nie wcześniej niż w 2020 r., które dotyczą procesów będących w zakresie odpowiedzialności zarządzającego lotniskiem oraz powiązane z procesem zarządzania ryzykiem (opisującym go lub stosującym ten proces w praktyce). Z przeglądu wykluczono artykuły, których pełna treść nie była dostępna, wycofane, publikowane w języku innym niż polski lub angielski, artykuły przeglądowe oraz pozycje nierecenzowane. Diagram (Rysunek 4) przedstawia proces selekcji artykułów.



Rysunek 4 Diagram przepływu PRISMA wyszukiwania dot. metod zarządzania ryzykiem (źródło: opracowanie własne).

Ponadto, ze względu na zauważalny w ostatnich latach dynamiczny rozwój badań w tej dziedzinie, przeprowadzono oddzielne wyszukiwania publikacji naukowych dotyczących zastosowań sztucznej inteligencji (artificial intelligence, AI) w procesie lotniskowego zarządzania bezpieczeństwem. Poszukując publikacji pomocnych w odpowiedzi na pytania o możliwości zastosowania narzędzi opartych o sztuczną inteligencję do zarządzania bezpieczeństwem na lotnisku oraz o ograniczenia i konieczne warunki do dalszego rozwoju tych narzędzi przeprowadzono 9 zapytań z zastosowaniem następujących słów kluczowych: aviation, safety, management, decision tree, neural network, expert system, artificial intelligence, machine learning, aerodrome, airport. Podobnie jak w pierwszym wyszukiwaniu,

uwzględniono publikacje z ostatnich pięciu lat. Szczegóły wyszukiwania przedstawiono w Tabeli 4.

Tabela 4 Szczegóły wyszukiwania literatury związanej ze sztuczną inteligencją (źródło: opracowanie własne).

l. p.	Nazwa	Zapytanie	Liczba znalezionych publikacji
#1	Decision tree, aviation	TITLE-ABS-KEY (decision AND tree, AND aviation) AND PUBYEAR > 2020	248
#2	Neural network, aviation	(TITLE-ABS-KEY (aviation) AND TITLE-ABS-KEY (neural AND network) AND TITLE-ABS-KEY (safety)) AND PUBYEAR > 2020	330
#3	Expert system, aviation	(TITLE-ABS-KEY (aviation) AND TITLE-ABS-KEY (expert AND system) AND TITLE-ABS-KEY (safety)) AND PUBYEAR > 2020	136
#4	Artificial intelligence, aviation	(TITLE-ABS-KEY (aviation) AND TITLE-ABS-KEY (artificial AND intelligence) AND TITLE-ABS-KEY (safety)) AND PUBYEAR > 2020	255
#5	Machine learning, aviation	(TITLE-ABS-KEY (aviation) AND TITLE-ABS-KEY (machine AND learning) AND TITLE-ABS-KEY (safety)) AND PUBYEAR > 2020	449
#6	Artificial intelligence, aerodrome	(TITLE-ABS-KEY (aerodrome) AND TITLE-ABS-KEY (artificial AND intelligence) AND TITLE-ABS-KEY (safety)) AND PUBYEAR > 2020	2
#7	Artificial intelligence, airport	(TITLE-ABS-KEY (airport) AND TITLE-ABS-KEY (artificial AND intelligence) AND TITLE-ABS-KEY (safety)) AND PUBYEAR > 2020	70
#8	Aerodrome safety management	(TITLE-ABS-KEY (aerodrome) AND TITLE-ABS-KEY (safety) AND TITLE-ABS-KEY (management)) AND PUBYEAR > 2020	19
#9	Airport safety management	(TITLE-ABS-KEY (airport) AND TITLE-ABS-KEY (safety) AND TITLE-ABS-KEY (management)) AND PUBYEAR > 2020	506

Aby przeanalizować wyniki tych zapytań, połączono wyniki zapytań od #1 do #7, uzyskując zbiór 1257 dokumentów. Większość z nich została opublikowana w 2024 r. (414 artykułów); kraje z największą liczbą publikacji to Chiny (388), Stany Zjednoczone (246) i Indie (99). Aby zawęzić wyniki do tych związanych z systemem zarządzania bezpieczeństwem lotniska, przeprowadzono kolejne wyszukiwanie, wpisując zapytanie: (#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6 OR #7) AND (#8 OR #9); co pomogło znaleźć 62 dokumenty. Analizując tytuły i streszczenia wykluczono artykuły, które nie spełniały kryteriów włączenia, takich jak dostępność pełnego tekstu, język polski lub angielski artykułu, rodzaj artykułu recenzowanego. Ponadto wyniki ograniczono do artykułów dotyczących narzędzi AI dedykowanych procesom, które są w zakresie odpowiedzialności operatora lotniska i dotyczą kwestii związanych z jego lotniczą działalnością. Pozostałe 9 artykułów zostało szczegółowo przeanalizowanych; ich zestawienie zostało zawarte w dalszej części rozdziału, w Tabeli 6.

Do przeglądu włączono także wybrane pozycje z bibliografii artykułów wyszukanych wyżej opisanymi metodami. Do organizacji wyszukanych pozycji wykorzystano aplikację Zotero.

W pierwszej części przeglądu publikacji naukowych skupiono się na ustaleniu jakie metody i w jakim zakresie są stosowane na lotniskach.

Autorzy artykułu, w którym dokonano analizy zagrożeń związanych z wtargnięciem na drogę startową (Shahriari i Aydin, 2019) wybrali metody What-If? oraz Variation Mode and Effect Analysis (VMEA), wskazując, że powodem wyboru tych metod był ograniczony dostęp do danych oraz ograniczony czas na przeprowadzenie analizy. Tabela 5 przedstawia fragment przeprowadzonej analizy.

Tabela 5 Fragment wyników analizy "What-If?" dotyczącego wtargnięć na drogę startową (Źródło: (Shahriari i Aydin, 2019))

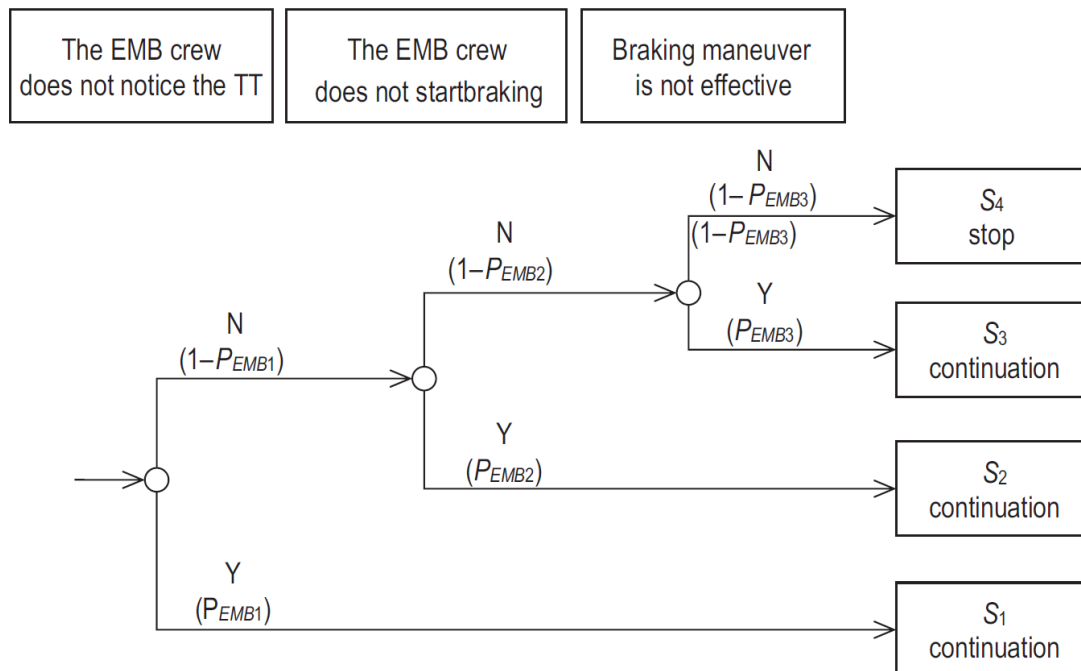
Co, jeśli?	Zagrożenie	Konsekwencja	Bariery bezpieczeństwa	Rekomendacje
Korespondencja będzie nieczytelna	Pilot, kierowca lub osoba zajmie drogę startową bez zezwolenia	Wypadek wynikający z nieporozumienia	Standardowa frazeologia, oznakowanie, światła wig-wag, światła stop bar, znaki identyfikacji, radar naziemny	Szkolenie operatorów, regularne utrzymanie techniczne oznakowania i oświetlenia
Nastąpi utrata łączności z organem kontroli ruchu lotniczego przed lądowaniem	Nieemożliwa komunikacja pomiędzy kontrolerem a pilotem	Wypadek wynikający z nieporozumienia	Procedury bezpieczeństwa informowania kontrolera o utracie łączności za pomocą manewrów w powietrzu	Weryfikacja znajomości procedury postępowania w przypadku utraty łączności u kontrolerów i pilotów
Radar naziemny będzie niesprawny (przy dobrej widzialności)	Brak świadomości obecności ruchomych obiektów na obszarze lotniska niewidocznym z wieży kontroli	Wtargnięcie na drogę startową z miejsce niewidocznych z wieży kontroli	Redundancja radaru, zapewnienie wielu wież kontroli	Regularne utrzymanie techniczne radaru, szkolenia kontrolerów ruchu lotniczego

Co, jeśli?	Zagrożenie	Konsekwencja	Bariera bezpieczeństwa	Rekomendacje
Radar naziemny będzie niesprawny (przy słabej widzialności)	Brak świadomości obecności ruchomych obiektów w pobliżu drogi startowej	Wysokie ryzyko wypadku i zmniejszona możliwość kontrolerów zapobiegania niebezpiecznym sytuacjom	Redundancja radaru, wprowadzenie protokołu bezpieczeństwa: dostęp dla tylko jednego obiektu w okolicy drogi startowej w tym samym czasie	Regularne utrzymanie techniczne radaru, szkolenia z zakresu protokołów bezpieczeństwa, podział ruchu odlotowego i dolotowego pomiędzy równoległe drogi startowe
Oświetlenie nawigacyjne będzie niesprawne	Kołowanie w niewłaściwe miejsce	Błąd w komunikacji	Redundancja świateł, protokoły bezpieczeństwa	Regularne utrzymanie techniczne świateł, szkolenia, standardowe procedury

W odniesieniu do tego samego zagadnienia, w celu klasyfikacji zdarzeń podczas których doszło do wtargnięcia na drogę startową, (Hou i in., 2022) proponują zastosowanie metody opartej na sztucznej inteligencji tj. rozpoznawanie języka. W literaturze proponuje się także stosowanie modeli ilościowych do szacowania prawdopodobieństwa wtargnięć na drogę startową na podstawie wybranych zmiennych (Claros i in., 2017) (Ketabdari i in., 2018). Podobne rozwiązanie proponuje się w (Naciri i Khalid, 2022), stosując rozmytą sieć bayesowską do oceny ryzyka wtargnięć na drogę startową. W tej samej pracy zastosowano także metodę bow-tie do zakwalifikowania zagrożeń do ustalonych kategorii.

Autorzy artykułu analizującego wpływ czynnika ludzkiego na zdarzenia na lotnisku (Muecklich i in., 2023) wykorzystali schemat analizy i klasyfikacji czynników ludzkich (The Human Factors Analysis and Classification Scheme, HFACS). Często używaną metodą analizy ryzyka związanego z ruchem lotniczym (także naziemnym) jest analizowanie scenariuszy wydarzeń, które zakończyły się lub mogły się zakończyć zdarzeniem lotniczym, np. wtargnięciem na drogę startową (Stroeve i in., 2016). Scenariusze te są opracowywane na podstawie historycznych zdarzeń, ale także na podstawie analiz ekspertów. W przypadku tego typu zagadnień istotne jest przeanalizowanie sekwencji wszystkich wydarzeń prowadzących do niebezpiecznej sytuacji, ponieważ daje to szersze możliwości mitygacji ryzyka. Podobnym narzędziem są drzewa zdarzeń (event tree), które można zastosować np. do analizy ryzyka związanego z wtargnięciem bezzałogowego statku powietrznego w przestrzeń powietrzną lotniska (Pascarella i in., 2023). Innym przykładem zastosowania tej

metody jest analiza zdarzenia dotyczącego zakłócenia kołowania statku powietrznego przez pojazd obsługi naziemnej na warszawskim lotnisku Chopina (Skorupski i Rutkowska, 2021). Autorzy tego artykułu połączyli drzewa zdarzeń z rozmytymi prawdopodobieństwami tworząc w ten sposób metodę ilościową (Rysunek 5).



Rysunek 5 Drzewo zdarzeń (event tree) dla samolotu biorącego udział w zdarzeniu z 22 czerwca 2015 r. na lotnisku Chopina; P – prawdopodobieństwo zdarzenia; EMB – statek powietrzny Embraer; S – scenariusz; N – nie; Y – tak (źródło: (Skorupski i Rutkowska, 2021))

Do analizy wpływu rozprzestrzeniania się osy na bezpieczeństwo lotnicze w Australii zastosowano metodę bow-tie (House i in., 2020). W przypadku tej analizy jako krytyczne zdarzenie przyjęto zablokowanie rurki pitota przez gniazdo os, co może spowodować błędny odczyt prędkości w kokpicie. Zastosowanie do oceny ryzyka związanego z operacjami naziemnymi na lotnisku ma także metoda FRAM (functional resonance analysis method) (Tengiz i Unal, 2023). Ta sama metoda została także zastosowana do analizy ryzyka procesu zarządzania bagażami na lotnisku (Kwasiborska i Kądzioła, 2023). Metoda ta umożliwia analizę skomplikowanych socjotechnicznych procesów (Marzec i Skorupski, 2025).

Przegląd literatury ujawnił także, że prowadzi się badania dotyczące możliwości stosowania metod oceny ryzyka, które są szybkie w użyciu, częściowo zautomatyzowane. Metody tego rodzaju można wdrażać dla zagadnień, które charakteryzują się dużą powtarzalnością, na temat których mamy dużo danych historycznych. Przykładem jest indeksowanie ryzyka związanego ze zderzeniami statków powietrznych z ptakami (Holbech i in., 2015) oparte na ściśle określonych cechach zdarzenia związanych z gatunkiem ptaka biorącego udział w zdarzeniu (grupuje się je według rozmiarów oraz potencjalnie

niebezpiecznego zachowania) oraz tych związanych z miejscem zdarzenia (średnia prędkość SP w danej strefie). Podobne podejście zastosowano dla oceny ryzyka związanego z obecnością przeszkód lotniczych w strefach ochronnych lotnisk (Falavigna i in., 2021). Autorzy zastosowali wielokryterialną metodę hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych (AHP, Analytical Hierarchy Process), oceniając ryzyko poszczególnych przeszkód lotniczych poprzez opisanie ich czterema cechami:

- Odległość: odległość między przeszkodą a progiem najbliższej drogi startowej;
- Lokalizacja: na której powierzchni ograniczającej znajduje się przeszkoda;
- Rodzaj: charakter przeszkody (rzeźba terenu, budynek, słup, antena lub wieża);
- Występ: jak bardzo przeszkoda wystaje poza każdą powierzchnię ograniczającą (na przykład 0,5 m, 1 m, 2 m).

W analizie ryzyka coraz większą popularnością cieszą się metody oparte na logice rozmytej (Jian i in., 2019). Odpowiadają one na problem podnoszony w tej pracy – subiektywność ocen i konieczność polegania na wiedzy eksperckiej. Podobnie rozwijają się metody oparte na analizie danych (Ang i in, 2020), sieciach bayesowskich i sieciach Petriego (Kabir i Papadopoulos, 2019).

Dokonując przeglądu literatury w sposób szczególny przyjrano się zastosowaniu sztucznej inteligencji (AI) do zarządzania bezpieczeństwem na lotniskach. AI odnosi się do dziedziny informatyki poświęconej tworzeniu systemów realizujących zadania, które zwykle wymagają ludzkiej inteligencji. Sztuczna inteligencja to inteligencja wykazywana przez maszyny, którą można zdefiniować poprzez obliczenia umożliwiające maszynom postrzeganie, rozumowanie i działanie (Walton, 2018). Jednym z celów sztucznej inteligencji jest rozwiązywanie problemów świata rzeczywistego oraz reprezentowanie wiedzy. Sztuczna inteligencja tworzy algorytmy i modele predykcyjne współdziałające z interfejsem człowieka, dzięki czemu można ją uznać za podejście predykcyjne i interaktywne. Przykłady zastosowań sztucznej inteligencji wspierających zarządzanie bezpieczeństwem na lotnisku przedstawiono w Tabeli 6.

Tabela 6 Wybrane zastosowania sztucznej inteligencji w obszarze działalności zarządzających lotniskami (źródło: opracowanie własne)

Tytuł, autor, data	Zakres zastosowania	Metoda	Dane wejściowe	Badany kraj i/lub lotnisko
Bird activity characterization and forecasting method based on weather information (Xu i in., 2023)	Zarządzanie naturą ożywioną	Metody uczenia maszynowego: model random forest, klasyfikator SVM z zastosowaniem liniowej analizy dyskryminacyjnej (LDA).	Zbiory danych radarowych z obszarów badań dziennej i nocnej aktywności zostały opracowane na podstawie systemu radaru ornitologicznego	Lotnisko Beihai Fucheng w Chinach
Supporting weather forecasting performance management at aerodromes through anomaly detection and hierarchical clustering (Patriarca, Simone i Di Gravio, 2023)	Prognozowanie pogody na lotnisku w celu zapewnienia bezpieczeństwa operacji i optymalizacji rozkładu lotów pomimo potencjalnie niekorzystnych warunków pogodowych	Uczenie maszynowe: algorytm wykrywania anomalii i algorytm hierarchicznego klastrowania	Historyczne biuletyny meteorologiczne z radarów i historyczne prognozy	Przykładowe Lotnisko we Włoszech
Risk Cause Analysis of Runway Excursion Accidents in the Aircraft Landing Stage through Integrated FTA-BN Method (Si i in., 2024)	Zarządzanie bezpieczeństwem: analiza ryzyka wypadnięcia z drogi startowej	Drzewo analizy błędów (Fault tree analysis, FTA) oraz model sieci bayesowskiej (Bayesian network (BN) model)	Globalne dane dotyczące 129 wypadnięć samolotów z drogi startowej w okresie 2010-2022, ocena 20 ekspertów	Chiny
The risk of an airport traffic accident in the context of the ground handling personnel performance (Chikha i Skorupski, 2022)	Określenie minimalnego poziomu wyszkolenia operatorów sprzętu obsługi naziemnej, przy którym ryzyko spowodowania wypadku w ruchu lotniczym jest akceptowalne.	System ekspercki, systemy wnioskowania rozmytego	Raporty z badania zdarzeń	Lotnisko Chopina w Warszawie, Polska
Airport Wildlife Hazard Management System (Dziak i in. 2022)	Zarządzanie przyrodą ożywioną	Uczenie maszynowe	Połączenie danych ze zobrazenia termicznego i wizyjnego	Średniej wielkości Lotnisko w północnej Polsce

Tytuł, autor, data	Zakres zastosowania	Metoda	Dane wejściowe	Badany kraj i/lub lotnisko
From laboratory to real life: Fraport's approach to applying artificial intelligence in airside operations and ground handling (Felkel i in., 2021)	Przewidywanie czasu zatrzymania samolotu na stanowisku (Estimated In-Block Time, EIBT)	Uczenie maszynowe	Nagrania wideo, historyczne depesze lotnicze	Lotnisko we Frankfurcie, Niemcy
Towards optimal foreign object debris detection in an airport environment (Noroozi i Shah, 2023)	Detekcja ciał obcych	Rodzina modeli detektorów obiektów You Only Look Once (YOLO) (detektory obiektów jednoetapowe)	Dane wideo nagrane przez bezzałogowy statek powietrzny i publicznie dostępny zestaw danych obrazów FOD	Stany Zjednoczone Ameryki
Airport surface movement prediction and safety assessment with spatial-temporal graph convolutional neural network (Zhang, Zhong i Mahadevan, 2022)	Przewidywanie trajektorii ruchu naziemnego	Sieć neuronowa spłotowa z ekstrapolatorem czasu	Dane z Surface Movement Event Service (SMES)	Lotnisko Hartsfield-Jackson Atlanta oraz Lotnisko LaGuardia Nowy Jork Stany Zjednoczone Ameryki, Hong Kong
From bricks to bytes: AI-based airport digital transformation in practice (Rauch i Hen, 2024)	Monitorowanie obsługi naziemnej samolotów, umożliwiające proaktywne zarządzanie opóźnieniami lotów i niedoborami zasobów spowodowanymi zmianami w rozkładach lotów	Zaawansowane obliczenia, rozpoznawanie obrazów i sztuczna inteligencja	Nagrania wideo	Lotnisko Ljubljana, Słowenia

Jak wskazuje (Ziakkas i Pechlivanis, 2023) zastosowania sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego mogą ułatwić identyfikację zagrożeń i przyczynić się do ciągłego uczenia się, rozwoju i doskonalenia organizacji lotniczych poprzez tworzenie nowej wiedzy na podstawie poprzednich sukcesów i porażek. Jednym z ograniczeń AI jest konieczność zapewnienia

wysokiej jakości treści informacji i jakości dostarczanych danych (Walton, 2018). Ograniczenie to nie jest znaczącym dla branży lotniczej, ponieważ dysponuje ona dużymi zasobami danych; np. od wielu lat istnieje obowiązek raportowania zdarzeń, dzięki czemu podmioty nadzorujące lotnictwo oraz same organizacje dysponują bazami danych w tym zakresie. Wdrażanie rozwiązań AI wiąże się jednak nie tylko z wyzwaniem natury technicznej, ale także z koniecznością zbudowania zaufania do tej technologii na różnym poziomie użytkowników (Felkel i in., 2021). Osoby pracujące w branży lotniczej charakteryzują się dużą świadomością, że bezpieczeństwo jest priorytetem (dobrze przyjęta jest Kultura Bezpieczeństwa¹), co może ułatwiać stosowanie nowych rozwiązań. Z drugiej jednak strony, badania (Kirwan, 2024) wskazują na możliwe negatywne aspekty wdrażania AI. Autor wyszczególnia, że ograniczanie znaczenia człowieka w procesach może spowodować utratę „bezpieczeństwa tworzonego przez ludzi”. Końcowy wpływ sztucznej inteligencji będzie zależał od tego w jaki sposób te rozwiązania będą badane, projektowane, rozwijane, wdrażane i zarządzane w rzeczywistych środowiskach operacyjnych.

Do zarządzania ryzykiem na lotnisku stosuje się wiele różnych metod. W szczególności zidentyfikowano wielość metod stosowanych dla grupy zagrożeń związanych z ruchem naziemnym na lotnisku, w tym z bezpieczeństwem drogi startowej. Poszukuje się metod częściowo automatycznych celem odciążenia specjalistów od wykonywania powtarzalnych czynności oraz mających na celu ograniczenie ich subiektywności. Zauważalny jest silny trend wykorzystywania sztucznej inteligencji do zarządzania ryzykiem na lotniskach, która potencjalnie może wspomóc rozwój obszaru badań dotyczących bezpieczeństwa lotniczego. Nowa technologia niesie ze sobą także dużo wyzwań i zagrożeń, np. utratę osobowego charakteru procesów zarządzania bezpieczeństwem.

Badania przeprowadzone na trzech meksykańskich lotniskach (Gutiérrez Serralde i in., 2023) w odniesieniu do zarządzania ryzykiem związanym z obecnością zwierząt w otoczeniu lotnisk zalecają opracowanie ujednoliconej metody analizowania, identyfikacji zagrożeń i obliczania ryzyka. Także badania (Niu i in., 2024) dotyczące metod opartych na danych (stosowanych m. in. w branży transportowej) wskazują na potrzebę stworzenia systematycznych ram, które mogłyby posłużyć do kierowania zastosowaniem poszczególnych metod w obszarze bezpieczeństwa. (Sivakumar, 2022)

¹ *Kultura bezpieczeństwa to sposób, w jaki bezpieczeństwo jest postrzegane, cenione i traktowane priorytetowo w organizacji; odzwierciedla rzeczywiste zaangażowanie w bezpieczeństwo na wszystkich poziomach organizacji. Opisywano to również jako „jak zachowuje się organizacja, gdy nikt nie patrzy” (Skybrary, 2023).*

identyfikuje ponadto konieczność integracji SMS z systemami zarządzania ryzykiem z innych dziedzin. Prowadzenie badań skupionych na wielu różnorodnych metodach i narzędziach jest pozytywne. Przegląd literatury wskazuje jednak, że równie istotne jest wprowadzanie jasnych kryteriów doboru określonych metod i ujednolicanie ich. Także identyfikacja potrzeby integracji SMS z systemami zarządzania ryzykiem z innych dziedzin pokazuje konieczność podejść holistycznych.

Analizy dotyczące gromadzenia informacji w ramach badania zdarzeń lotniczych (Thallapureddy i in., 2024) wskazują na istnienie w branży zjawiska przywiązywania mniejszej wagi do tego przygotowawczego etapu zarządzania ryzykiem. Także badania dotyczące amerykańskich lotnisk udowodniły wpływ solidności mechanizmów raportowania (będących jednym ze źródeł danych procesu zarządzania ryzykiem) na efektywność zarządzania zagrożeniami ze strony dzikich zwierząt (Altringer i in., 2024). Badania te wskazują także na oszczędności finansowe wynikające z dobrze funkcjonującego systemu zbierania informacji o zdarzeniach. Również badania, których celem było doskonalenie zarządzania ryzykiem zderzenia statku powietrznego ze ssakami na kanadyjskim lotnisku Prince George (Carswell i in., 2021) wskazują na kluczowe znaczenie etapu przygotowawczego do oceny ryzyka tj. zbierania danych dotyczących badanego zjawiska. Aby zapewnić wysoką jakość całego procesu zarządzania ryzykiem należy pamiętać, że każdy jego etap (od gromadzenia informacji aż po wyciąganie wniosków i wprowadzanie zmian w organizacji) ma istotne znaczenie i powinien być świadomie zorganizowany.

Pięciostopniowe matryce oceny dotkliwości i prawdopodobieństwa proponowane przez (ICAO, 2018) są bardzo powszechnie stosowane w zarządzaniu ryzykiem na lotniskach. Zastosowano je w badaniach dotyczących transportu materiałów niebezpiecznych, jakimi są baterie litowo-jonowe (Kwasiborska i Ścigaj, 2025), w badaniach dotyczących heurystycznych błędów ekspertów w ocenach ryzyka (Cunha i Andrade, 2021), do oceny ryzyka zderzenia statku powietrznego z ptakiem na irańskim lotnisku (Sarkheil i in., 2021), w metodzie oceny ryzyka obsługi naziemnej na tureckich lotniskach (Yazgan i in., 2022), w analizie ryzyka związanego z wypadnięciem statku powietrznego z drogi startowej na anonimowym międzynarodowym lotnisku (Di Mascio i in., 2020).

Literatura wskazuje także na problem nadmiernego stosowania metod jakościowych do oceny ryzyka (Ketafdari i in., 2018), (Barry, 2021). Wiele publikacji zawiera wyniki analiz ryzyka prowadzonych wyłącznie z wykorzystaniem metod jakościowych, np. badania dotyczące bezpieczeństwa płyty postojowej na tureckim lotnisku Ataturk (Korkmaz i in., 2023). W literaturze nie zidentyfikowano wielu przykładów rzeczywistego

stosowania metod ilościowych na lotniskach; jednym z niewielu jest stosowanie wskaźników bezpieczeństwa. W artykule (Bartulović i Steiner, 2023) zaprezentowano zestaw wskaźników dla chorwackiego lotniska Split.

Warto zaznaczyć (zgodnie z wynikami analizy regulacji zawartymi w rozdziale 1.2.2), że implementacja wskaźników poziomu bezpieczeństwa na lotniskach w Polsce jest obligatoryjna. Badania z 2018 r. (Ketabdari i in., 2018) wskazują, że stosowane modele ilościowe mogą działać w sposób ograniczony z powodu stosowania baz danych obejmujących jedynie historyczne dane operacyjne dotyczące wypadków. W rzeczywistości, aby zrozumieć wpływ różnych zmiennych na częstotliwość występowania wypadków, należy przeprowadzić analizy zarówno w odniesieniu do baz danych dotyczących wypadków, jak i operacji bezwypadkowych. Ta ostatnia jest mocno utrudniona, ponieważ takie dane nie są powszechnie dostępne. Stosowanie metod ilościowych do zarządzania ryzykiem stanowi większe wyzwanie niż stosowanie metod jakościowych, dlatego częściej stosowane są metody jakościowe. Najpowszechniej stosowaną metodą ilościową są wskaźniki poziomu bezpieczeństwa (SPI); w Polsce wynika to przede wszystkim z obowiązku ich stosowania.

Dotychczas stosowane metody wykorzystywane do analizy ryzyka zwykle obciążone są subiektywnością eksperta, który prowadzi daną analizę. Ocena eksperta silnie zależy od jego perspektywy i doświadczenia (Otway i von Winterfeldt, 1992). Wyniki badań dotyczących percepcji ryzyka wśród ekspertów lotniczych (Thomson i in., 2004) pokazały, że piloci z większą liczbą godzin nalotu częściej wybierają bardziej ryzykowne opcje. To dowód, że postrzeganie ryzyka jest subiektywne. Kompetencje personelu mają bardzo istotne znaczenie dla wyników procesu zarządzania ryzykiem, co wykazały badania (Majid i in., 2022) przeprowadzone na lotnisku Wamena w Indonezji. Na podstawie wyników badań wykazano, że zarządzanie ryzykiem ma pośrednio wpływ na bezpieczeństwo lotów poprzez kompetencje personelu lotniska na poziomie 97,7%. Prowadzone były także badania dotyczące wpływu indywidualnych cech pracowników podmiotów współpracujących z zarządzającym południowokoreańskim lotniskiem Incheon (Bae i Park, 2021). Autorzy wykazali, że różna postawa wobec ryzyka, błędy poznawcze, różna wiedza i doświadczenie oraz percepcja ryzyka, przyczyniają się do znaczących różnic w tolerancji ryzyka, co może zaburzać funkcjonowanie lotniskowych procesów zarządzania ryzykiem. Według (Kwasiborska i Stelmach, 2023) analizy ryzyka mogą być prowadzone wieloma różnymi narzędziami i metodami, które charakteryzują się subiektywnością eksperta przeprowadzającego daną analizę. Autorki wskazują na możliwość minimalizacji tego zjawiska dzięki równoległemu zastosowaniu dwóch różnych metod. Efektywność procesów zarządzania ryzykiem w dużym stopniu zależy

od indywidualnego podejścia osoby realizującej proces. Wskazuje się również, że ludzie mają ograniczenia w analizowaniu danych. Cztery zmienne stanowią limit ludzkiej zdolności przetwarzania i zrozumienia (Mendes i in., 2022). Prowadzone były także badania dotyczące zarządzania ryzykiem na lotnisku (Cunha i Andrade, 2021), które wskazały, że specjaliści mogą przypisywać znaczenie informacjom w oparciu o ich cechy. Najwyższą wagę przypisuje się formie, w jakiej informacje są im przedstawiane. Drugą jest troska o prawidłową „interpretację” informacji. Najniżej na skali ważności jest ilość dostarczonych informacji. Kontrolowanie tych trzech cech, może pozwolić na wzmocnienie jakości osądu ryzyka przez ekspertów. Na tej podstawie wnioskuje się, że istotnym zagrożeniem dla jakości prowadzonych analiz i ocen ryzyka jest subiektywność prowadzących je ekspertów.

1.2.4 Wnioski z przeglądu literatury

Poniżej zestawiono wnioski z przeprowadzonego przeglądu uregulowań formalno-prawnych oraz publikacji naukowych będące realizacją jego celu określonego w rozdziale 1.2.1:

- Przepisy prawa lotniczego nie ograniczają możliwości stosowania jakiejkolwiek metody zarządzania ryzykiem przez Zarządzających lotniskami w ramach systemu zarządzania bezpieczeństwem. W przepisach nie znajdują się także nakazy w zakresie stosowania konkretnej metody. Analizowane dokumenty określają cel oraz zakres procesu zarządzania ryzykiem, a także zawierają wskazówki i rekomendacje dotyczące możliwych do zastosowania metod. Przepisy pozostawiają dowolność wyboru metody Zarządzającym lotniskami. W związku z tym możliwe jest zaimplementowanie nowej, holistycznej metody zarządzania ryzykiem, która będzie stanowiła element systemu zarządzania bezpieczeństwem lotniska.
- Można rozszerzyć zakres stosowania metod rekomendowanych lotniskom przez EASA do identyfikacji zagrożeń o stosowanie ich także do oceny ryzyka i mitygacji. Ustalono, że metoda list kontrolnych dobrze nadaje się do oceny ryzyka powiązanego z powtarzalnymi, dobrze znanymi zagadnieniami, np. lotniskowymi pracami remontowo-budowlanymi.
- Istnieją szczegółowe wytyczne dla trzech aspektów będących potencjalnie w zakresie działania zarządzającego lotniskiem: metoda SORA, rekomendowana przez UE do zarządzania ryzykiem operacji bezzałogowych statków powietrznych, obowiązkowe według polskiego prawa wytyczne dla prowadzenia analiz bezpieczeństwa dokonania istotnych zmian eksploatacyjnych i technicznych cech lotniska oraz rekomendowany dla organizacji lotniczych (obowiązkowy dla nadzoru

lotniczego) europejski system klasyfikacji ryzyka związanego ze zdarzeniami (metoda reaktywna). Zatem metody te należy uwzględnić przy zarządzaniu ryzykiem z uwzględnieniem przywołanych okoliczności prowadzenia tego procesu.

- ERCS porządkuje ocenianie ryzyka według kluczowych obszarów ryzyka; brak jest metody proaktywnej lub predyktywnej o takiej funkcji. Zidentyfikowano potencjalną korzyść w implementacji kluczowych obszarów ryzyka do metod innych niż reaktywne i zdecydowano o wykorzystaniu tego wniosku w budowaniu metody w ramach niniejszej pracy.
- Ważnym narzędziem zarządzania ryzykiem w organizacjach lotniczych są wskaźniki bezpieczeństwa. Należy tworzyć wskaźniki bezpieczeństwa trzech rodzajów: reaktywne (mierzące zdarzenia, które już miały miejsce), proaktywne (mierzące działania zapobiegawcze), predykcyjne (mierzące sytuacje niebezpieczne, które w połączeniu z innymi okolicznościami mogą prowadzić do zdarzeń).
- Prowadzone badania i istniejące metody skupiają się na konkretnych zagadnieniach działalności lotniska. Do tych samych zagadnień stosowane są różne metody zarządzania ryzykiem. Brak jest metody łączącej oraz mechanizmu doboru metody zarządzania ryzykiem do danego zagadnienia – stosowane są one ad hoc, zależnie od miejsca i osoby. W związku z tym zdecydowano o opracowaniu mechanizmu doboru metody w opisaney w pracy propozycji zmiany procesu zarządzania ryzykiem.
- Większość badań dotyczy ryzyka poszczególnych procesów operacyjnych (lub związanych z utrzymaniem lotniska). Brakuje badań skupionych na skuteczności samego procesu zarządzania ryzykiem. Stanowi to lukę badawczą, którą należy wypełnić, ponieważ wyniki takich badań stanowiłyby podstawę proaktywnego wdrażania zmian w systemie bezpieczeństwa lotniska. Wszelkie problemy występujące w procesie analizy ryzyka przekładają się na niewłaściwe (lub nieskuteczne) działania operatora lotniska w celu utrzymania niemniejszego niż obecny poziomu ryzyka. Zdecydowano o objęciu zagadnienia oceny skuteczności procesu zarządzania ryzykiem badaniami prezentowanymi w niniejszej pracy.
- Poszukiwane są rozwiązania ograniczające subiektywność ocen ryzyka. Wskazuje się metody oparte na logice rozmytej, analizie danych, sieciach bayesowskich i sieciach Petriego. Ustalono, że metody te należy rozważyć do wykorzystania do zarządzania ryzykiem zjawisk, na temat których lotnisko posiada najwięcej danych, np. często powtarzających się zdarzeń.

- Nie publikowano artykułów proponujących całościową metodę zarządzania ryzykiem na lotnisku, która zapewniłaby wskazówki dla każdego etapu tego procesu (od zbierania informacji po wyciągnięcie wniosków i mechanizmy monitorowania skuteczności podjętych działań). Zatem w niniejszej pracy zostanie podjęta próba opracowania takiej metody, która będzie stanowiła element SMS.
- Analiza ryzyka jest przeprowadzana w oparciu o liczne doświadczenia praktyczne i wspierana wytycznymi, takimi jak Podręcznik zarządzania bezpieczeństwem ICAO (ICAO, 2013b), (ICAO, 2018). Jednak ani długotrwała praktyka przeprowadzania analiz, ani międzynarodowe przepisy nie ustanowiły w pełni jasnego podejścia do konkretnych zagadnień. W rezultacie przeprowadzanie tych analiz jest obciążone wysokim poziomem subiektywizmu, a w konsekwencji wyniki nie są całkowicie rozstrzygające. Istnieje wiele powodów tego stanu rzeczy, wśród nich szeroka różnorodność analizowanych zdarzeń i konieczność określenia wielkości, które są trudne do obiektywnego zdefiniowania, takich jak prawdopodobieństwo zdarzeń z udziałem ludzi lub dotkliwość skutków, które wystąpią w przypadku materializacji zagrożenia. Zidentyfikowano konieczność poszukiwania metod wspierających zachowanie obiektywizmu przez osoby prowadzące procesy zarządzania ryzykiem.
- FRAM pozwala na analizę skomplikowanych socjotechnicznych systemów, dzięki czemu może znaleźć zastosowanie w zarządzaniu ryzykiem na lotnisku. Ustalono, że FRAM jest właściwą metodą do przeprowadzenia oceny procesu zarządzania ryzykiem na lotnisku.
- W ostatnim czasie obserwujemy dynamiczny wzrost badań skupionych wokół zastosowań sztucznej inteligencji (AI). Jednym z ograniczeń wdrażania AI jest konieczność zapewnienia wysokiej jakości treści informacji i jakości dostarczanych danych; nie jest ono znaczącym dla branży lotniczej, ponieważ dysponuje ona dużymi zasobami danych; np. od wielu lat istnieje obowiązek raportowania zdarzeń, dzięki czemu podmioty nadzorujące lotnictwo oraz same organizacje dysponują bazami danych w tym zakresie. Rozpowszechniona w lotnictwie kultura bezpieczeństwa także ułatwia wdrażanie metod opartych na danych (np. AI). Czynnikiem ograniczającym rozwój narzędzi opartych o AI jest ograniczenie dostępu do danych dotyczących sytuacji o prawidłowym przebiegu (gromadzone w lotnictwie informacje dotyczą zdarzeń negatywnych i wypadków). Wdrożenie pierwszych

rozwiązań AI wymaga rozwiązania nie tylko wyzwań technicznych, ale także zbudowania zaufania do tych technologii na różnych poziomach użytkowników.

- Ustalono, że klasyfikator bayesowski, należący do dziedziny uczenia maszynowego (machine learning), które jest poddziedziną sztucznej inteligencji, dobrze nadaje się do oceny ryzyka zjawisk powtarzających się.
- Istotnym zagrożeniem dla jakości prowadzonych analiz i ocen ryzyka są niedostateczne kompetencje i subiektywizm prowadzących je ekspertów. Wskazuje to na konieczność zapewnienia metody wspierającej w unikaniu błędów ludzkich podczas realizacji procesu zarządzania ryzykiem.
- W przypadku, w którym w organizacji funkcjonuje inny niż SMS system, w ramach którego zarządza się ryzykiem, należy zadbać o pełną koordynację działań tych systemów, aby ich wyniki były spójne.
- W wyniku przeglądu ustalono, że tabele określające skalę do oceny dotkliwości i prawdopodobieństwa oraz definiujące indeksy ryzyka oraz poziomy tolerancji ryzyka proponowane przez ICAO są bardzo rozpowszechnionym i znanym narzędziem zarządzania ryzykiem w branży lotniczej. W związku z tym zostaną one użyte w niniejszej pracy.

2 Cel, teza i struktura rozprawy

2.1 Cel badań i problem badawczy

Rozprawa dotyczy problematyki identyfikacji zagrożeń, oceny i łagodzenia ryzyka a także podejmowania decyzji związanych z ryzykiem na lotnisku. Wnioski z przeglądu literatury (rozdział 1.2.4) oraz obserwacje funkcjonowania organizacji lotniczych prowadzone przez autorkę wskazują na użyteczność wdrożenia w lotniskowych systemach SMS odpowiednich metod i narzędzi, które usprawnią zarządzanie ryzykiem poprzez automatyzację powtarzalnych zadań, zmniejszenie liczby błędów ludzkich i zwiększenie efektywności personelu. Niniejsza praca ma na celu rozwiązanie problemu związanego z brakiem odpowiedniej dla Lotniska Chopina metody zarządzania ryzykiem. Skutkiem takiego stanu rzeczy jest wysoka subiektywność tego procesu, obniżona kultura bezpieczeństwa w organizacji oraz brak dających się porównać danych dotyczących poziomu bezpieczeństwa.

Dąży się do usystematyzowania i ustandaryzowania zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina opartego w dużej mierze na wiedzy eksperckiej jego kadry, zmniejszając negatywny wpływ czynnika ludzkiego na jakość wyników SMS oraz w większym stopniu wykorzystując

doświadczenie organizacji. Oczekuje się, że poprzez opracowanie i wdrożenie nowej metody zarządzania ryzykiem, która stanowiłaby element systemu zarządzania bezpieczeństwem, będzie możliwe zwiększenie wydajności systemu, ograniczenie liczby powtarzalnych, dających się zmechanizować zadań dla personelu oraz uniknięcie większości pomyłek i przeoczeń człowieka z zachowaniem obecnego osobowego charakteru zarządzania ryzykiem. Istnieje potrzeba ograniczenia pracochłonności realizacji procesów zarządzania ryzykiem oraz niedoskonałości prowadzonych analiz, która może prowadzić do obniżenia poziomu bezpieczeństwa.

Celami badań były analiza i ocena dostępnych narzędzi i metod zarządzania ryzykiem na lotnisku, określenie potrzeb Zarządzających lotniskami w celu poprawy efektywności zarządzania ryzykiem w ich organizacjach oraz opracowanie odpowiedniej dla Lotniska Chopina metody zarządzania ryzykiem, dającej się wykorzystać w innych organizacjach lotniczych. Metoda ma stanowić element systemu zarządzania bezpieczeństwem lotniska.

Główny problem badawczy został sformułowany w postaci pytania: Jaka metoda zarządzania ryzykiem pozwoli na udoskonalenie tego procesu na lotniskach?

Sformułowanie celów badań oraz analiza literatury naukowej (której wyniki opisano w rozdziale 1.2) pozwoliły zdekomponować główny problem na szczegółowe problemy badawcze:

1. Jakie są dostępne narzędzia i metody zarządzania ryzykiem dla operacji lotniczych oraz jakie są ich cechy i możliwości zastosowania na lotnisku?
2. Jakie są potrzeby Zarządzających lotniskami w celu poprawy efektywności zarządzania ryzykiem w ich organizacjach?
3. Jakie są możliwości doskonalenia zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina w Warszawie?

Badania miały także na celu umocnienie współpracy pomiędzy środowiskiem naukowym a zatrudniającą Autorkę Spółką „Polskie Porty Lotnicze”. Praca zasilona danymi wejściowymi pochodzącymi od lidera polskiej branży lotniczej oraz realizowana w jego środowisku zyskała praktyczny charakter. Badanie postawionej w pracy tezy umożliwiło Autorce kształcenie we współpracy z jej pracodawcą, umacniając relacje nauka-biznes branży lotniczej. Efektem użytecznym pracy jest metoda zarządzania ryzykiem Zarządzającego Lotniskiem Chopina w Warszawie, stanowiąca element jego systemu zarządzania bezpieczeństwem, dostosowana do jego potrzeb i specyfiki działalności. Wyniki dysertacji mają wspomóc Zarządzającego w realizacji działań zarządczych z zakresu bezpieczeństwa lotniczego, w szczególności dostarczając narzędzia do bieżącej oceny ryzyka oraz katalogując jego wiedzę i doświadczenia

dotyczące zagrożeń bezpieczeństwa. Wyniki dysertacji są na tyle ogólne, że będą mogły zostać wykorzystane także na innych lotniskach użytku publicznego, w szczególności tych zarządzanych przez PPL.

2.2 Dyscyplina naukowa

Tematyka badań powiązana jest z wieloma dyscyplinami nauki. Ze względu na charakter zagadnień, którymi zajmuje się system zarządzania bezpieczeństwem na lotnisku (ruch lotniczy, obsługa naziemna, infrastruktura), badania na jego temat ulokowano w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport. Badania wykorzystują także wiedzę, metody i podejścia nauk o zarządzaniu i jakości oraz nauk prawnych; ich rolę określono jako istotną, jednak pomocniczą.

Badania przypisano do dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport, ponieważ najlepiej odzwierciedla ona podmiot badań, tj. lotnisko będące obiektem infrastruktury transportowej. Także główny cel badań oraz zastosowanie ich wyników mieszczą się w obszarze tej dyscypliny. Analizowanie i projektowanie rozwiązań dotyczących bezpieczeństwa jest kluczowym zagadnieniem inżynierii transportu. Ta dyscyplina najprecyzyjniej oddaje techniczny i systemowy charakter zarządzania ryzykiem na lotnisku, które stanowi część międzynarodowego systemu transportu lotniczego.

2.3 Koncepcja rozwiązania problemu i hipoteza badawcza

W odniesieniu do głównego problemu badawczego postawiono ogólną hipotezę badawczą: istnieje metoda zarządzania ryzykiem systematyzująca i standaryzująca ten proces na lotniskach, zmniejszająca negatywny wpływ czynnika ludzkiego na jakość wyników SMS oraz w większym stopniu wykorzystująca doświadczenie organizacji. W celu weryfikacji ogólnej hipotezy przyjęto następujące szczegółowe hipotezy badawcze:

1. Istnieje wiele metod i narzędzi zarządzania ryzykiem, jednak brak jest metody dedykowanej do zarządzania ryzykiem na lotniskach, w szczególności na Lotnisku Chopina w Warszawie.
2. Zarządzający lotniskami potrzebują zwiększenia wydajności systemu zarządzania bezpieczeństwem, ograniczenia liczby powtarzalnych, dających się zmechanizować zadań dla personelu oraz sposobu na uniknięcie większości pomyłek i przeoczeń człowieka z zachowaniem obecnego osobowego charakteru zarządzania ryzykiem.
3. Zarządzanie ryzykiem na Lotnisku Chopina można udoskonalić w zakresie zmniejszenia subiektywności tego procesu, podniesienia kultury bezpieczeństwa

w organizacji oraz uzyskiwania dających się porównać danych dotyczących poziomu bezpieczeństwa.

Koncepcją rozwiązania problemu było opracowanie metody dającej się wykorzystać do zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina, która mogłaby stać się rozwiązaniem uniwersalnym do wykorzystania w innych organizacjach. Ustalono, że brak jest takiej metody, co stanowi o innowacyjności koncepcji.

2.4 Metody badawcze

W badaniach wykorzystano metody teoretyczne: analizę, porównanie, analogię, abstrahowanie, wnioskowanie indukcyjne i dedukcyjne oraz syntezę. Stosowano w szczególności metodę wnioskowania statystycznego, jaką jest wnioskowanie bayesowskie.

Jak wskazano w rozdziale 1.1.2 zarządzanie ryzykiem na lotnisku stanowi złożony socjotechniczny system; w celu jego analizy należy stosować podejście „Safety II”. Spośród możliwych metod, w podejściu tym, najpowszechniejsze w literaturze są systemowo-teoretyczny model wypadków i procesów (System-Theoretic Accident Model and Processes, STAMP) i metoda analizy rezonansu funkcjonalnego (Functional Resonance Analysis Method, FRAM). Metody te są wykorzystywane do modelowania i analizowania w jaki sposób różne funkcje danego systemu oddziałują na siebie i prowadzą do pozytywnych i negatywnych wyników. Metody te wpisują się w Safety II”, ponieważ pozwalają analizować, jak system funkcjonuje w normalnych warunkach (Altabbakh i in., 2014), (Salmon i in., 2012), (Patriarca i in., 2022). Aby określić, czy proces zarządzania ryzykiem na Lotnisku Chopina wymaga zmiany wykorzystano wspomniany powyżej i omówiony bardziej szczegółowo w rozdziale 3.1.13 FRAM. Wykorzystano podejście zaproponowane w (Tian i in., 2016), które pozwoliło przeanalizować, w jaki sposób przedmiotowy proces przebiega na lotnisku w normalnych warunkach i jaki ma to wpływ na zapewnienie bezpieczeństwa jego działalności operacyjnej. Model zbudowany zgodnie ze wskazaną metodą umożliwił formalne przeanalizowanie procesów zarządzania ryzykiem i zidentyfikowania ich słabości mogących prowadzić do błędnych ocen i decyzji dotyczących bezpieczeństwa. FRAM jest przydatny wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia ze złożonymi systemami, w których uczestniczą ludzie. Pozwala nam zobaczyć, w jaki sposób normalne działanie może prowadzić do nieoczekiwanych rezultatów. To podejście jest zgodne z proaktywną kulturą bezpieczeństwa wprowadzoną w lotnictwie. Model został opracowany z wykorzystaniem programu komputerowego FMV (FRAM Model Visualizer).

Odpowiadając na problem podnoszony w tej pracy w zakresie subiektywności ocen ryzyka i konieczności polegania wyłącznie na wiedzy eksperckiej (rozdział 1.2 oraz 2.1)

zaimplementowano metodę opartą na analizie danych – naiwny klasyfikator bayesowski. Metoda ta odpowiada także na potrzebę wdrażania rozwiązań częściowo automatycznych celem odciążenia specjalistów od wykonywania powtarzalnych czynności (rozdział 1.2). Klasyfikator wykorzystano jako narzędzie oceny ryzyka (rozdział 0) składające się na opracowaną holistyczną metodę zarządzania ryzykiem. Wykorzystano jego możliwości przyporządkowywania obserwacji do klas (Bishop, 2006), przyjmując, że obserwacjami są zdarzenia lotniskowe, a klasami indeksy ryzyka.

Stosowano także metody empiryczne, w szczególności prowadzono badania z wykorzystaniem techniki obserwacji uczestniczącej, metody indywidualnych przypadków oraz metodę sondażu. Wykorzystano technikę wywiadu eksperckiego przeprowadzając wywiady pogłębione z przedstawicielami różnego typu organizacji lotniczych (instytucji zapewniającej służby żeglugi powietrznej oraz zarządzającego lotniskami) oraz technikę ankietowania przeprowadzając ankietę wśród szerszego katalogu organizacji lotniczych.

Końcowym efektem zastosowania tych metod było opracowanie holistycznej metody zarządzania ryzykiem wykorzystującej wiedzę i procedury wnioskowania, pozyskane przy pomocy ekspertów dziedzinowych.

2.5 Struktura pracy

Niniejsza rozprawa składa się z 8 rozdziałów, z których każdy odpowiada kolejnemu etapowi realizacji celu badawczego.

W rozdziale 1 umieszczono opis podmiotu i przedmiotu badań, a także przegląd literatury wskazujący luki w istniejącej wiedzy oraz potwierdzenie potrzeby podjęcia badań. Rozdział 2 zapewnia opis celu pracy oraz przedstawia koncepcję rozwiązania problemu badawczego oraz przyjęte hipotezy. Kolejny, 3 rozdział prezentuje wyniki przeprowadzonej analizy w zakresie metod, które mogą być wykorzystywane do zarządzania ryzykiem w organizacjach lotniczych. Zawarto w nim także porównanie możliwości zastosowania tych metod przez zarządzających lotniskami. W rozdziale 4, na podstawie przeprowadzonych obserwacji, badań ankietowych, wywiadów oraz analiz omówiono przebieg procesu zarządzania ryzykiem, potrzeby i wyzwania w tym zakresie. Na tej podstawie zidentyfikowano możliwości doskonalenia przedmiotowego procesu. Rozdział 5 zawiera model FRAM procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina w Warszawie. Przedstawiono w nim wynikające z analizy zbudowanego modelu wnioski w zakresie zmienności procesu oraz rozważono możliwości zarządzania tą zmiennością. Wnioski te stanowiły podstawę opracowywania metody zarządzania ryzykiem. W rozdziale 6 przedstawiono opracowaną metodę zarządzania ryzykiem, składającą się z wielu elementów omówionych w kolejnych podrozdziałach. Jednym z nich jest automatyczna metoda

klasyfikacji zdarzeń pod względem indeksu ryzyka, do której opracowania użyto naiwnego klasyfikatora bayesowskiego. Rozdziały 7 i 8 zawierają odpowiednio omówienie przeprowadzonej weryfikacji modelu oraz wnioski podsumowujące przeprowadzone badania.

Struktura pracy została zaprojektowana w sposób umożliwiający logiczne przejście od identyfikacji problemu, poprzez analizę i rozwiązanie problemu badawczego.

3 Analiza wybranych metod zarządzania ryzykiem

Celem przedstawionej w niniejszym rozdziale części badań było znalezienie odpowiedzi na jeden ze szczegółowych problemów badawczych: jakie są dostępne narzędzia i metody zarządzania ryzykiem dla operacji lotniczych oraz jakie są ich cechy i możliwości zastosowania na lotnisku? Weryfikowano hipotezę wskazującą, że istnieje wiele metod i narzędzi zarządzania ryzykiem, jednak brak jest metody dedykowanej do zarządzania ryzykiem na lotniskach, w szczególności na Lotnisku Chopina w Warszawie. Wyniki niniejszej analizy planuje się wykorzystać podczas opracowywania metody zarządzania ryzykiem dla Lotniska Chopina.

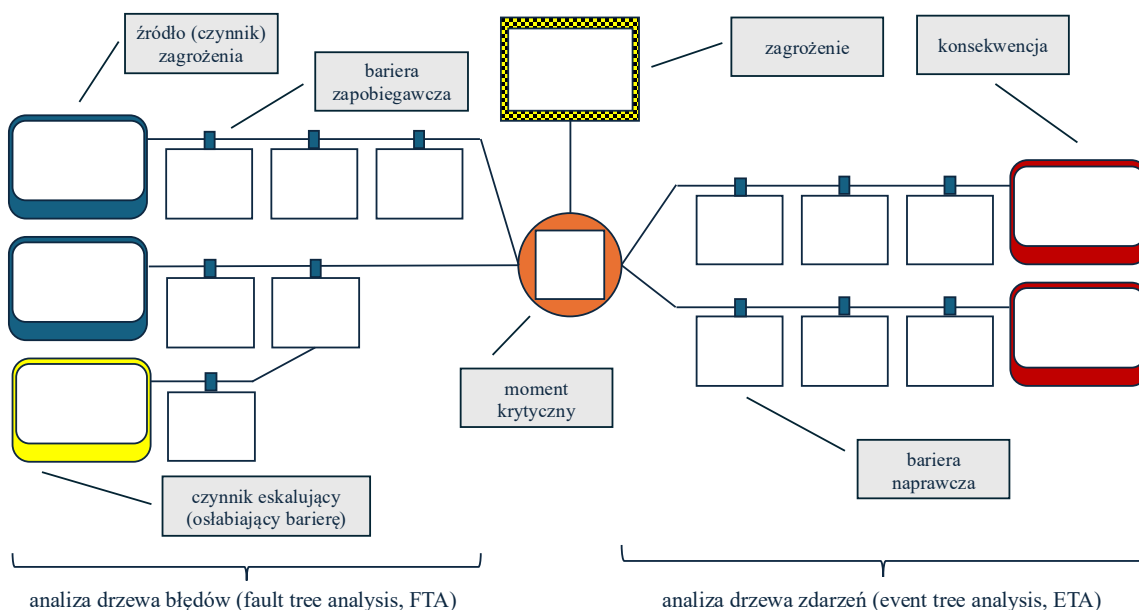
3.1 Opis wybranych metod zarządzania ryzykiem

W tym rozdziale zebrano opis kluczowych cech wybranych metod zarządzania ryzykiem. Ze względu na zakres pracy oraz potrzebę pogłębionej analizy, zdecydowano się na wybór ograniczonego zestawu metod, które najlepiej odpowiadają na problemy badawcze. W literaturze zidentyfikowano wiele potencjalnych metod, jednak wybór ograniczono do tych, które na podstawie obserwacji autorki mają możliwość zastosowania na lotnisku.

3.1.1 Bow-tie

Bow-tie jest jedną z technik analizy zagrożeń. Opiera się na opisaniu za pomocą diagramu ścieżki od źródła (czynników) zagrożenia, poprzez zagrożenie i powiązany z nim moment krytyczny aż po potencjalne konsekwencje. W diagramie odnotowuje się także bariery zapobiegawcze oraz bariery naprawcze. Diagramy bow-tie są łatwe do zrozumienia. Jest to jedna z wielu dostępnych metod przedstawiania modeli barier umożliwiających stopniową i ukierunkowaną eliminację lub izolację źródeł zagrożeń i minimalizację ryzyka.

Diagram bow-tie stanowi połączenie analizy drzewa błędów (lewa strona) oraz analizy drzewa zdarzeń (prawa strona). Konstrukcję diagramu zaprezentowano na rysunku (Rysunek 6).



Rysunek 6 Konstrukcja diagramu bow-tie (źródło: opracowanie własne).

Główną zaletą metody bow-tie jest wizualizacja poszczególnych ról, zadań, procedur i procesów łagodzenia ryzyka. Diagram pozwala nam spojrzeć na procesy organizacyjne przez pryzmat powiązania ich ze zidentyfikowanymi zagrożeniami. Metoda znajduje również zastosowanie w procesie badania zaistniałych zdarzeń oraz przeprowadzania audytów bezpieczeństwa (ULC, 2023). Modele bow-tie mogą wspierać (UK CAA):

- Ulepszoną, graficzną reprezentację ryzyka.
- Symetryczny i między domenowy przegląd ryzyka uwzględniający wewnętrznych i zewnętrznych interesariuszy.
- Zwiększoną świadomość i zrozumienie ryzyka prowadzące do kluczowych obszarów ryzyka określonych przez EASA.
- Kompleksowe wskazówki dotyczące zarządzania ryzykiem na poziomie operacyjnym i regulacyjnym.
- Identyfikację krytycznych barier ryzyka i ocenę ich skuteczności.
- Formułowanie wskaźników bezpieczeństwa w celu monitorowania skuteczności barier.

Tabela 7 przedstawia zadania, w których bow-tie znajduje zastosowanie wymienione przez UK CAA.

Tabela 7 Zadania związane z zarządzaniem bezpieczeństwem, dla których można wykorzystać diagramy bow-tie (źródło: (UK CAA).

Grupa zadań	Zadanie	Opis
Interfejsy	Rozwiązywanie problemów w złożonych i krytycznych tematach	Konstruowanie diagramów bow-tie w celu oceny konkretnego problemu/wydarzenia
	Audyty przeglądowe	Skupienie się na nieefektywnych barierach podczas audytów
	Wspieranie omówienia zdarzeń	„Przepuszczanie” zdarzeń przez diagram bow-tie w celu oceny ich dotkliwości
	Badanie zdarzeń lotniczych	Całościowe podejście systemowe podczas badania zdarzeń
Zgłaszanie spraw związanych z bezpieczeństwem oraz ich klasyfikacja	Klasyfikacja ryzyka	Określanie barier wysokiego poziomu w celu szacowania ryzyka do obowiązkowych raportów o zdarzeniach
	Zgłaszanie zdarzeń lotniczych	Wykorzystanie zidentyfikowanych barier do formułowania pytań do formularza zgłaszania zdarzeń
System Zarządzania Bezpieczeństwem	Identyfikacja zagrożeń	Identyfikowanie źródeł zagrożeń oraz momentów krytycznych
	Ocena ryzyka	Jakościowa ocena barier zapobiegawczych i naprawczych
	Mitygacja ryzyka	Ustalanie działań poprawiających skuteczność barier zapobiegawczych i naprawczych
	Zapewnianie bezpieczeństwa	Określanie i monitorowanie wskaźników poziomu bezpieczeństwa

Przykład zagrożenia, które można przeanalizować przy użyciu metody bow-tie podany przez brytyjski nadzór lotniczy to „Duży statek powietrzny operujący na ziemi lub w pobliżu chronionego obszaru czynnej drogi startowej”, gdzie krytycznym zdarzeniem jest „Nieprawidłowa obecność samolotu na chronionym obszarze”. Polski Urząd Lotnictwa Cywilnego również opublikował na swojej stronie internetowej materiał zachęcający do używania bow-tie (ULC, 2023), przywołując trzy przykłady użycia tej metody:

- Zagrożenie: „Zwierzęta: operacje lotnicze w obecności zwierząt”; krytyczne zdarzenie: „Ptaki na kursie kolizyjnym ze statkiem powietrznym”;
- Zagrożenie: „Materiały niebezpieczne w transporcie lotniczym”; krytyczne zdarzenie: „Transport / obsługa materiału niebezpiecznego niezgodnie z przepisami”;
- Zagrożenie: „Operacje lotnicze w obecności bezzałogowych statków powietrznych”; krytyczne zdarzenie: „Wystąpienie nieuprawnionego bezzałogowego statku powietrznego w otoczeniu portu lotniczego”.

Bow-tie nie wymaga wysokiego poziomu wiedzy specjalistycznej, aby go używać; jest łatwy do zrozumienia i daje klarowną reprezentację graficzną zdarzenia oraz jego przyczyn

i skutków. Jak każda metoda, bow-tie ma swoje ograniczenia: może nadmiernie uprościć analizowany problem i nie umożliwia przedstawienia sytuacji, w której ścieżki od przyczyn do krytycznego zdarzenia nie są niezależne.

3.1.2 Burza mózgów

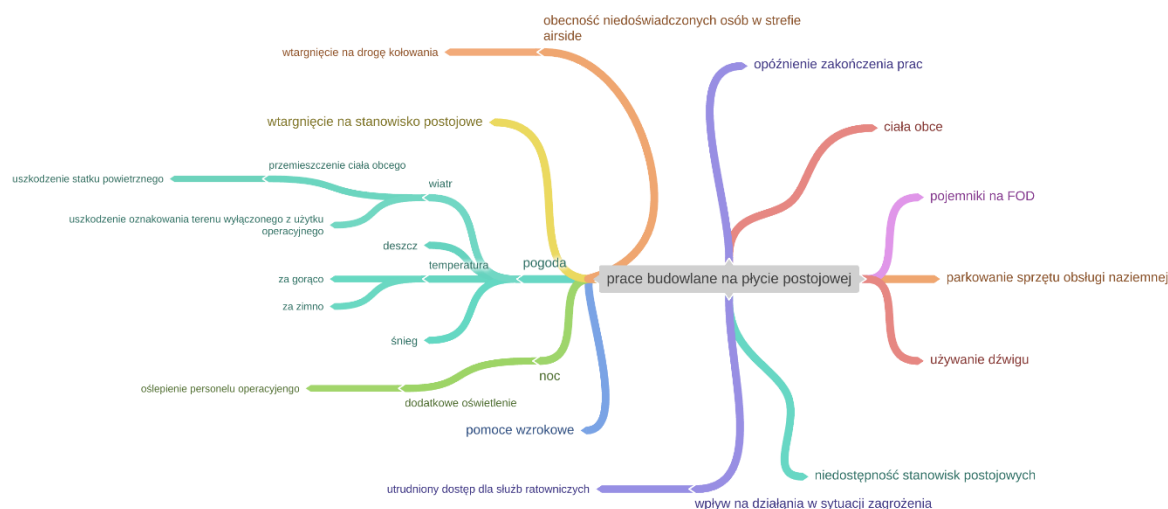
Burza mózgów służy do pozyskiwania opinii od interesariuszy i ekspertów; jest stosowana podczas dyskusji czy warsztatów, aby pobudzić kreatywne myślenie. Technika ta jest bardzo popularna, jednak często nie jest stosowana metodycznie (termin „burza mózgów” jest często używany do określenia każdego rodzaju dyskusji grupowej). Burza mózgów jest jedną z technik rekomendowanych w materiałach doradczych Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA, 2014).

Właściwie prowadzona burza mózgów zapewnia, że myśli członków grupy są wykorzystywane jako narzędzia stymulujące kreatywność pozostałych uczestników. Wszelkie analizy i krytyka pomysłów są przeprowadzane niezależnie od burzy mózgów. Technika uwzględnia, że niemoderowane grupy generują mniej pomysłów niż te same osoby pracujące indywidualnie. Celem sesji burzy mózgów jest zachęcenie osób pracujących w grupie do rozwijania indywidualnych pomysłów bez ograniczeń ze strony innych. Doświadczony moderator jest w stanie pozyskać wiele pomysłów i rozwiązań, stymulując kreatywność grupy osób, wykorzystując ich indywidualną wiedzę specjalistyczną, doświadczenie i szeroki wachlarz punktów widzenia. Różnorodność zastosowań tej techniki jest ogromna: można ją stosować na każdym szczeblu organizacji w celu identyfikacji przyczyn, skutków, mechanizmów prowadzących do niepowodzeń czy sposobów na osiągnięcie sukcesu (IEC, 2019).

Zwykle sesja burzy mózgów składa się z trzech etapów: przygotowania grupy, prezentacji problemu i dyskusji kierowanej. Bardzo ważną zasadą burzy mózgów jest niekrytykowanie ani nieanalizowanie pomysłów. Te czynności odbywają się niezależnie od sesji, co pomaga nie ograniczać myślenia.

Aby uporządkować i rozwinąć pomysły podczas burzy mózgów, można użyć map myśli. Pomagają one dokumentować wyniki i pozostać skupionym na problemie (Buzan i Buzan, 1996). Robienie notatek w formie mapy myśli pozwala analizować kilka pomysłów jednocześnie. Projekt mapy myśli odpowiada sposobowi działania ludzkiego mózgu. Ta forma notatek ze spotkań pozwala na rozwinięcie każdego pomysłu; eksperci mogą łatwo powrócić do poprzedniego wątku. Notowane są tylko pojedyncze słowa lub proste wyrażenia (oszczędzając czas), ale czytelnik może odtworzyć wniosek wyciągnięty przez grupę. Na poniższej mapie myśli (Rysunek 7) można zobaczyć, jak potencjalne uszkodzenie samolotu

zostało zidentyfikowane poprzez analizę możliwych warunków pogodowych podczas prac budowlanych na płycie postojowej.



Rysunek 7 Przykład mapy myśli stworzonej podczas burzy mózgów (źródło: opracowanie własne).

Burza mózgów pobudza kreatywność i wyobraźnię; pozwala oderwać się od schematów. Zawsze, gdy nie wiemy, „od czego zacząć”, z pomocą przychodzi sesja burzy mózgów. Jest przydatna w przypadku niewielkiej ilości danych lub ich braku oraz gdy poszukiwanie są nowatorskie rozwiązania. Angażuje kluczowych interesariuszy, a tym samym wspomaga komunikację i zaangażowanie. Ta metoda jest stosunkowo szybka i nie wymaga specjalnego przygotowania. Kluczem do sukcesu jest niedopuszczenie do tego, by osoby z wartościowymi pomysłami nie brały udziału w dyskusji – to jedno z zadań moderatora. Osoba ta powinna poświęcać czas i energię na wspieranie zespołu i kierowanie dyskusją (np. nakierowywanie grupy na inny temat, gdy ktoś straci zainteresowanie) (IEC, 2019).

3.1.3 Listy kontrolne

Listy kontrolne to jedna z technik identyfikacji zagrożeń oraz oceny ryzyka. Metodę tę wskazano w materiale doradczym Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA, 2014). Listy tworzy się w oparciu o doświadczenie lub koncepcje. Listy kontrolne to listy znanych zagrożeń, przyczyn zagrożeń czy czynników sprzyjających zwiększeniu dotkliwości lub prawdopodobieństwa materializacji zagrożenia opracowane na podstawie wcześniejszych doświadczeń. Doświadczenie to może pochodzić z poprzednich ocen ryzyka, podobnych systemów lub operacji, bądź z rzeczywistych zdarzeń, które miały miejsce w przeszłości. Technika ta polega na systematycznym stosowaniu odpowiedniej listy kontrolnej i rozważaniu każdej pozycji na liście kontrolnej pod kątem jej powiązaniu lub obecności w analizowanym zagadnieniu. Listy kontrolne powinny być zawsze walidowane pod kątem poprawności i przydatności przed użyciem (EASA, 2014).

Większość opublikowanej dotychczas literatury dotyczącej stosowania list kontrolnych w miejscu pracy dotyczy branży lotniczej i kosmicznej. Przede wszystkim ze względu na środowisko wysokiego ryzyka, w którym znajdują się piloci i astronauty, branże te zaadaptowały zarówno papierowe, jak i elektroniczne listy kontrolne jako narzędzia pomagające zmniejszyć liczbę błędów ludzkich (Hales i Pronovost, 2006). Listy kontrolne często są nazywane akronimami reprezentującymi rodzaje czynników uwzględnianych w liście kontrolnej, np. Lista kontrolna IM SAFE, z której mogą korzystać piloci:

- Choroba (Illness): Czy chorujesz obecnie lub niedawno chorowałeś na jakieś choroby, które mogą mieć wpływ na lot?
- Leki (Medication): Czy przyjmowałeś leki, które mogą utrudniać Ci latanie?
- Stres (Stress): Czy odczuwasz nietypową presję psychiczną i/lub lęk?
- Alkohol (Alcohol): Czy piłeś alkohol w ciągu ostatnich ośmiu godzin? Czy masz kaca?
- Zmęczenie (Fatigue): Czy jesteś zmęczony i/lub niewyspany?
- Emocje (Emotion): Czy jesteś czymś zdenerwowany?

Norma IEC 31010:2019 wymienia następujące mocne strony list kontrolnych (IEC, 2019):

- Promują one wspólne rozumienie ryzyka wśród interesariuszy,
- Dobrze zaprojektowane, wnoszą szeroką wiedzę specjalistyczną do łatwego w użyciu systemu dla osób niebędących ekspertami,
- Po opracowaniu wymagają niewielkiej specjalistycznej wiedzy.

Zgodnie z tą samą normą listy kontrolne są jednak obarczone pewnymi ograniczeniami:

- Ich zastosowanie jest ograniczone w nowych sytuacjach, kiedy brak jest historycznych danych lub w sytuacjach różniących się od tych, dla których zostały opracowane,
- Odnoszą się do tego, co jest już znane lub wyobrażone,
- Często są ogólne i mogą nie mieć zastosowania do konkretnych rozpatrywanych okoliczności,
- Złożoność może utrudniać identyfikację powiązań,
- Brak informacji może prowadzić do nakładania się i/lub luk,
- Mogą zachęcać do zachowań typu „odhaczanie pól” zamiast eksploracji pomysłów czy problemów.

3.1.4 Arkusz roboczy do analizy i mitygacji ryzyka

Jak wskazano w omówieniu wyników przeglądu uregulowań formalno-prawnych (rozdział 1.2.2) ICAO (ICAO, 2013b) proponuje stosowanie arkuszy roboczych do analizy i łagodzenia (mitygacji) ryzyka, zgodnie z Rysunkiem 8.

PRZYKŁAD ROBOCZEGO ARKUSZA ŁAGODZENIA RYZYKA DOTYCZĄCEGO BEZPIECZEŃSTWA

Uwaga. – dla łatwiejszego operowania arkuszem zaleca się używać osobnych kart dla poszczególnych: Zagrożeń>niebezpiecznych wydarzeń> kombinacji ostatecznych skutków.

Tabela 2-A2-1. Zagrożenie i Konsekwencja

Operacja/proces:	Opisz proces/operację/sprzęt/system będący przedmiotem tego ćwiczenia HIRM.
Zagrożenie [H]:	Jeśli operacji/procesowi przypisano więcej niż jedno zagrożenie użyj oddzielnych arkuszy dla każdego zagrożenia.
Niebezpieczne wydarzenie [UE]:	Jeśli zagrożeniu odpowiada więcej niż jedno UE użyj oddzielnych arkuszy dla każdej kombinacji UE-UC.
Ostateczna konsekwencja [UC]:	Jeśli zagrożeniu odpowiada więcej niż jedna UC użyj oddzielnych arkuszy dla każdej UC.

Tabela 2-A2-2. Indeks ryzyka i tolerowania konsekwencji / UE (patrz Dodatek 1):

	Tolerowanie bieżącego ryzyka (wzięcie pod uwagę wszelkich)				Indeks wypadkowy ryzyka i tolerowanie (wzięcie pod uwagę wszelkich nowych PC/RM/EC)		
	Dotkliwość	Prawdo- podobieństwo	Tolerancja		Dotkliwość	Prawdo- podobieństwo	Tolerancja
Niebezpieczne wydarzenie							
Ostateczna konsekwencja							

Tabela 2-A2-3. Łagodzenie ryzyka

Zagrożenie [H]	Środek Zapobiegawczy [PC]	Czynnik Eskalujący [EF]	Środek Zapobiegający Eskalacji [EC]		Środek Naprawczy [RM]	Czynnik Eskalujący [EF]	Środek Zapobiegający Eskalacji [EC]		
H	PC1 <i>(istniejący)</i>	EF <i>(istniejący)</i>	EC1 <i>(istniejący)</i>	NIEBEZPIECZNE WYDARZENIE [UE]	RM1	EF (do RM1)	EC (do EF)	OSTATECZNA KONSEKWENCJA [UC]	
			EC2 <i>(nowy)</i>						
	PC2 <i>(istniejący)</i>	EF1 <i>(nowy)</i>	EC <i>(nowy)</i>		RM2	EF (do RM2)	EC (do EF)		
		EF2 <i>(nowy)</i>	EC <i>(nowy)</i>						
	PC3 <i>(nowy)</i>	EF <i>(nowy)</i>	EC <i>(nowy)</i>		RM3	EF (do RM3)	EC (do EF)		

Rysunek 8 Przykład roboczego arkusza łagodzenia ryzyka (źródło: (ICAO, 2013b))

Do przedstawionego na Rysunku 8 arkusza dołączono notatki objaśniające:

1. Operacja/Proces (Tabela 2-A2-1). Opis operacji lub procesu, który jest przedmiotem niniejszej czynności łagodzenia zagrożenia/ryzyka dotyczącego bezpieczeństwa.

2. Zagrożenie (H – Hazard). Niepożądana okoliczność lub sytuacja, która może prowadzić do niebezpiecznego wydarzenia (wydarzeń) lub zdarzenia (zdarzeń). Czasami używa się określenia „niebezpieczeństwo” zamiennie z „zagrożeniem”.
3. Niebezpieczne wydarzenie (UE – Unsafe event). Możliwe niebezpieczne wydarzenie (UE), pośrednie przed ostateczną konsekwencją, wypadkiem lub najbardziej prawdopodobnym skutkiem. Identyfikacja niebezpiecznego wydarzenia ma zastosowanie tylko wtedy, gdy zachodzi potrzeba rozróżnienia i ustanowienia działań łagodzących przed i po zaistnieniu takiego pośredniego wydarzenia (przed ostateczną konsekwencją/wypadkiem, np. "wydarzenie zwiększona temperatura" przed "awarią silnika"). Jeśli ten pośredni stan UE nie dotyczy określonej operacji, wtedy może on zostać wykluczony.
4. Ostateczna konsekwencja (UC – Ultimate Consequence). Najbardziej wiarygodny skutek, ostateczne wydarzenie lub wypadek.
5. Środek zapobiegawczy (PC – Preventive Control). Minimalizujące działanie/mechanizm/element obronny mający na celu blokowanie lub zapobieganie przekształcaniu się zagrożenia/niebezpieczeństwa w niebezpieczne wydarzenie lub ostateczną konsekwencję.
6. Czynniki eskalujące (EF – Escalation factor). Prawdopodobna okoliczność/czynnik uśpiony, który może osłabiać skuteczność środka zapobiegawczego (lub środka naprawczego). Stosować tylko we właściwych przypadkach. Czynniki eskalujące może być czasem określany terminem „threat” (zagrożenie”).
7. Środek zapobiegający eskalacji (EC – Escalation control). Łagodzące działanie/mechanizm, mające na celu blokowanie lub zapobieganie naruszeniu lub osłabieniu czynnika zapobiegawczego (lub środka naprawczego) przez czynnik eskalujący. Stosować tylko we właściwych przypadkach.
8. Bieżący indeks ryzyka i tolerancji (Current risk index and tolerability). Akcja mająca na celu złagodzenie ryzyka (Tabela 2-A2-3), stosowana zawsze, gdy w Tabeli 2-A2-2 zostanie zidentyfikowany nieakceptowalny bieżący poziom tolerancji w wydarzeniu niebezpiecznym lub w ostatecznej konsekwencji. Indeks aktualnego ryzyka i tolerowania powinien uwzględniać, istniejące środki zapobiegawcze, o ile są dostępne.
9. Wypadkowy indeks ryzyka i tolerancji (Resultant risk index and tolerability). Wskaźnik wypadkowego ryzyka i tolerowania bazują się na aktualnych środkach zapobiegawczych, (jeśli istnieją) połączonych z nowymi środkami zapobiegawczymi

(środkami panowania nad eskalacją) i środkami naprawczymi, wdrożonymi w wyniku zakończenia czynności łagodzenia ryzyka.

3.1.5 Matryce oceny i tolerancji ryzyka

(ICAO, 2013b) oraz (ICAO, 2018) wskazują także inne narzędzie: matryce oceny i tolerancji ryzyka. Ocenę ryzyka należy prowadzić szacując dotkliwość oraz prawdopodobieństwo materializacji poszczególnych zidentyfikowanych konsekwencji zagrożeń. Skalę oceny tych dwóch aspektów ustalono w tabelach (Tabela 8 oraz Tabela 9).

Tabela 8 Tabela oceny dotkliwości materializacji zagrożeń (opracowanie własne na podstawie (ICAO, 2018))

Dotkliwość	Znaczenie	Wartość
Katastrofalna	Zniszczenie statku powietrznego / kadłuba Zniszczenie sprzętu Wiele ofiar śmiertelnych Rozległe straty / szkody Międzynarodowe implikacje	A
Niebezpieczna	Całkowita awaria znaczących / głównych systemów statku powietrznego Duże obniżenie marginesów bezpieczeństwa, wyczerpanie fizyczne lub obciążenie pracą tak, że uniemożliwia wykonanie powierzonych zadań w sposób pełny i dokładny Poważne obrażenia lub pojedyncze ofiary śmiertelne Poważne uszkodzenie sprzętu Znaczne straty / szkody Krajowe implikacje	B
Poważna	Częściowe zniszczenie znaczących / głównych systemów statku powietrznego Znaczne zredukowanie marginesów bezpieczeństwa, zmniejszenie możliwości podołania niekorzystnym warunkom operacyjnym, w rezultacie zwiększenie liczby zadań lub w rezultacie warunki obniżające wydajność Poważny incydent (wypadek) Odniesienie obrażeń ciała Niewielka szkoda / strata Regionalne implikacje	C
Niewielka	Obniża lub wpływa na normalne procedury operacyjne lub osiągi statku powietrznego Dokuczliwe ograniczenia operacyjne Wykorzystanie procedur awaryjnych Niewielki incydent Niewielkie obrażenia Niewielka szkoda / strata Ograniczone lokalne implikacje	D
Nieistotna	Bez znaczenia dla bezpieczeństwa operacyjnego związanego ze statkiem powietrznym Brak obrażeń / szkód Brak implikacji Niewielkie konsekwencje	E

Należy zaznaczyć, że wartości indeksu prawdopodobieństwa przyjęte przez ICAO nie są tożsame z naukową definicją prawdopodobieństwa (w tym rozumieniu prawdopodobieństwo przyjmuje wartości od 0 do 1).

Tabela 9 Tabela oceny prawdopodobieństwa materializacji zagrożeń (opracowanie własne na podstawie (ICAO, 2018))

Prawdopodobieństwo	Znaczenie	Wartość
Częste	Prawdopodobnie wystąpi wiele razy (występowało często). Oczekuje się, że wystąpi w większości sytuacji	5
Sporadyczne	Prawdopodobnie wystąpi od czasu do czasu (występowało niezbyt często).	4
Dalekie	Prawdopodobnie nie wystąpi, ale jest to możliwe (występowało rzadko).	3
Nieprawdopodobne	Bardzo mało prawdopodobne, że wystąpi. Jeżeli w ogóle wystąpiło, to jednostkowo.	2
Skrajnie nieprawdopodobne	Prawie niewyobrażalne, że kiedykolwiek może wystąpić. Może wystąpić tylko w wyjątkowych okolicznościach.	1

Na podstawie wartości oceny dotkliwości oraz prawdopodobieństwa, zgodnie z Tabelą 10, należy ustalić indeks ryzyka.

Tabela 10 Matryca oceny ryzyka (źródło: opracowanie własne na podstawie (ICAO, 2018))

		DOTKLIWOŚĆ				
		A - katastrofalna	B - niebezpieczna	C – poważna	D - niewielka	E - nieistotna
PRAWDOPODOBIENSTWO	5 -częste	5A ekstremalne	5B ekstremalne	5C wysokie	5D umiarkowane	5E umiarkowane
	4 - sporadyczne	4A ekstremalne	4B wysokie	4C umiarkowane	4D umiarkowane	4E niskie
	3 - dalekie	3A wysokie	3B umiarkowane	3C umiarkowane	3D niskie	3E niskie
	2 - nieprawdopodobne	2A umiarkowane	2B umiarkowane	2C niskie	2D niskie	2E nieistotne
	1 - skrajnie nieprawdopodobne	1A umiarkowane	1B niskie	1C nieistotne	1D nieistotne	1E nieistotne

Następnym krokiem jest przyporządkowanie ryzyka do odpowiedniego zakresu tolerancji, dzięki czemu można ustalić potrzebę wdrożenia działań mitygujących (Tabela 11).

Tabela 11 Tabela tolerancji ryzyka (opracowanie własne na podstawie (ICAO, 2018))

Znacznik oceny ryzyka	Ocena ryzyka	Zakres tolerancji	Wymagane działania
5A, 5B, 4A	ekstremalne ryzyko	nietolerowane	Natychmiast wstrzymaj działanie lub proces. Nieakceptowane w istniejących okolicznościach. Nie zezwalaj na żadne działanie do czasu wdrożenia wystarczających środków kontrolnych dla zredukowania ryzyka. Wymagana zgoda i decyzja najwyższego kierownictwa (Kierownika Odpowiedzialnego) przed rozpoczęciem operacji lub procesu. Podejmowane decyzje powinny być skoordynowane z instytucją zapewniającą służby ruchu lotniczego w razie takiej potrzeby.
3A, 4B, 5C	wysokie ryzyko	tolerowane przy akceptacji wyższego kierownictwa	Ostrożnie. Upewnij się, że ocena ryzyka została dokonana prawidłowo i że zadeklarowane środki zapobiegawcze zostały zastosowane. Wymagana zgoda i decyzja przez wyższe kierownictwo przed rozpoczęciem operacji lub procesu. W razie takiej potrzeby decyzja dot. tolerancji ryzyka powinna być podjęta w koordynacji z instytucją zapewniającą służby ruchu lotniczego.
1A, 2A, 2B, 3B, 3C, 4C, 4D, 5D, 5E	umiarkowane ryzyko	tolerowane	Opcjonalne łagodzenie ryzyka. Jeżeli możliwe / potrzebne wykonaj lub sprawdź łagodzenie ryzyka. Jeżeli jest taka potrzeba skoordynuj podejmowane decyzje dot. łagodzenia ryzyka z instytucją zapewniającą służby ruchu lotniczego.
1B, 2C, 2D, 3D, 3E, 4E	niskie ryzyko	akceptowalne	Opcjonalne łagodzenie ryzyka. Nie ma obowiązku dalszego łagodzenia ryzyka. Jeżeli jest taka potrzeba skoordynuj podejmowane decyzje dot. łagodzenia ryzyka z instytucją zapewniającą służby ruchu lotniczego.
1C, 1D, 1E, 2E	nieistotne ryzyko	akceptowalne	Nie ma potrzeby dalszego łagodzenia ryzyka.

3.1.6 FMEA

Analiza rodzajów i skutków awarii (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) to kolejna technika zarządzania ryzykiem, która jest wymieniona w materiale doradczym (EASA, 2014). Bierze ona pod uwagę sposoby, w jakie każdy komponent systemu może ulec awarii, a także przyczyny i skutki awarii (awaria oznacza brak realizacji zamierzeń projektowych). Danymi wejściowymi dla tej techniki jest szczegółowy opis systemu. System dzieli się na komponenty; dla każdego z nich podczas analizy FMEA rozważane są następujące aspekty:

- wszystkie potencjalne sposoby, w jakie komponent może ulec awarii (rodzaje awarii, failure modes);
- wpływ, jaki każda z tych awarii miałaby na zachowanie systemu;

- możliwe przyczyny poszczególnych rodzajów awarii; oraz
- sposoby ograniczania awarii w systemie lub jego otoczeniu.

W zależności od charakteru i stopnia złożoności systemu, analiza może być przeprowadzona przez pojedynczego eksperta z zakresu systemu, lub przez zespół ekspertów z zakresu systemu działających w sesjach grupowych (EASA, 2014). Aby przeprowadzić analizę FMEA, należy wykonać następujące kroki:

1. Szczegółowy opis/przegląd systemu/projektu/procesu/usługi/oprogramowania podlegającego analizie,
2. Identyfikacja potencjalnych rodzajów awarii,
3. Identyfikacja skutków każdego rodzaju awarii,
4. Ocena dotkliwości (severity, SEV) dla każdego rodzaju awarii,
5. Ocena częstości występowania (occurrence, OCC) dla każdego rodzaju awarii,
6. Ocena możliwości wykrycia (detection, DET) każdego rodzaju awarii,
7. Obliczenie numeru priorytetu ryzyka (risk priority number, RPN) dla każdego rodzaju awarii,
8. Ustalenie priorytetów rodzajów awarii pod względem konieczności podjęcia działań mitygujących,
9. Działania mające na celu wyeliminowanie lub ograniczenie awarii wysokiego ryzyka,
10. Obliczenie końcowego RPN w miarę zmniejszania lub eliminowania rodzajów awarii.

W dalszej części rozdziału zaprezentowano fragmenty przykładowego zastosowania FMEA do analizy procesu wykonania zdjęć lotniska za pomocą kamery wbudowanej w bezzałogowy statek powietrzny. W celu przeprowadzenia analizy metodą FMEA konieczne jest przyjęcie skali oceny dotkliwości (SEV), częstości występowania (OCC) oraz możliwości wykrycia lub wyeliminowania (DET) poszczególnych rodzajów awarii. Z wykorzystaniem przyjętej skali do oceny poszczególnych rodzajów awarii pod względem SEV (Tabela 12) oraz OCC (Tabela 13) eksperci opisują każdy zidentyfikowany rodzaj awarii (niepowodzenia) urządzenia (procesu).

Tabela 12 Przykładowa skala oceny dotkliwości (SEV) (źródło: opracowanie własne).

Wartość	Dotkliwość (SEV)	Znaczenie
1	Brak	Brak konsekwencji dla bezpieczeństwa lub rentowności
2	Nieistotne	Niewielkie konsekwencje dla bezpieczeństwa lub rentowności
3	Bardzo nieznaczne	Uciążliwości Ograniczenia operacyjne Stosowanie procedur awaryjnych Niewielki incydent Nieznaczne opóźnienie misji
4	Nieznaczne	Wiele uciążliwości Znaczne ograniczenia operacyjne
5	Umiarkowane	Opóźnienie misji Zastosowanie procedur awaryjnych Niewielki incydent
6	Poważne	Misja częściowo ukończona Zastosowanie procedur awaryjnych Zmniejszenie marginesów bezpieczeństwa, zmniejszenie zdolności personelu operacyjnego do radzenia sobie z niekorzystnymi warunkami operacyjnymi w wyniku wzrostu obciążenia pracą lub w wyniku warunków obniżających jego wydajność Niewielki incydent
7	Bardzo poważne	Misja nieukończona Znaczne zmniejszenie marginesów bezpieczeństwa, zmniejszenie zdolności personelu operacyjnego do radzenia sobie z niekorzystnymi warunkami operacyjnymi w wyniku wzrostu obciążenia pracą lub w wyniku warunków obniżających jego wydajność Poważny incydent Obrażenia osób
8	Niebezpieczne	Znaczne zmniejszenie marginesów bezpieczeństwa, cierpienie fizyczne lub obciążenie pracą, które uniemożliwiają dokładne lub kompletne wykonywanie zadań przez personel operacyjny Poważny uraz Poważne uszkodzenie infrastruktury lotniska/bezzałogowego statku powietrznego
9	Bardzo niebezpieczne	Częściowe zniszczenie infrastruktury lotniska Zniszczenie bezzałogowego statku powietrznego Niewielka liczba ofiar śmiertelnych
10	Katastrofalne	Zniszczenie infrastruktury lotniska/bezzałogowego statku powietrznego Wiele ofiar śmiertelnych

Tabela 13 Przykładowa skala oceny częstości występowania (OCC) (źródło: opracowanie własne).

Wartość	Częstość występowania (OCC)	Znaczenie
1	Niezwyczajnie nieprawdopodobne	Prawie nieprawdopodobne, że zdarzenie wystąpi
2		
3		
4	Nieprawdopodobne	Bardzo mało prawdopodobne (nie wiadomo, czy wystąpiło)
5		
6	Odległe	Mało prawdopodobne, ale możliwe (występowało rzadko)
7		
8	Sporadyczne	Prawdopodobnie wystąpi czasami (występowało rzadko)
9		
10	Częste	Prawdopodobnie wystąpi wiele razy (występowało często)

W dalszym kroku wylicza się RPN poprzez pomnożenie SEV i OCC. RPN o najwyższej wartości wskazuje rodzaj awarii, którym należy zająć się w pierwszej kolejności, planując działania mitygujące. Możliwość wykrycia lub wyeliminowania danego rodzaju awarii ocenia się z wykorzystaniem odpowiedniej skali (Tabela 14).

Tabela 14 Przykładowa skala oceny możliwości wykrycia lub wyeliminowania (DET) (źródło: opracowanie własne).

Wartość	Możliwość wykrycia / wyeliminowania (DET)
1	Doskonała; Mechanizmy kontroli są niezawodne
2	Bardzo wysoka; Pewne wątpliwości co do skuteczności kontroli
3	Wysoka; mało prawdopodobne, że przyczyna lub awaria pozostanie niewykryta
4	Umiarkowanie wysoka
5	Umiarkowana; kontrola skuteczna w pewnych warunkach
6	Niska
7	Bardzo niska
8	Słaba; kontrola jest niewystarczająca, a zapobieżenie przyczynom lub awariom lub ich wykrycie jest niezwykle mało prawdopodobne
9	Bardzo słaba
10	Nieskuteczna; prawie na pewno nie zapobiegnie się oraz nie wykryje się przyczyn lub awarii

Końcowy numer priorytetu ryzyka stanowi iloczyn:

$$SEV \cdot OCC \cdot DET = RPN$$

Tabela 15 przedstawia fragment arkusza analizy ryzyka dla przywołanego przykładu przeprowadzonej z wykorzystaniem FMEA.

Tabela 15 Fragment przykładowego arkusza FMEA dla procesu wykonania zdjęć lotniska za pomocą kamery wbudowanej w bezzalogowy statek powietrzny; BSP - bezzalogowy statek powietrzny (źródło: opracowanie własne).

Etap procesu	Rodzaj awarii	Potencjalny skutek	SEV	Potencjalna przyczyna	OCC	Mitygacja	DET	RPN
Przygotowanie lotu	Brak zezwolenia na lot	Naruszenie przestrzeni powietrznej lotniska	6	Operator BSP nie jest świadomy przepisów	5	Działania promujące bezpieczeństwo System szkoleń Radar dozoru wtórnego Obserwacja personelu służb lotniskowych Raport załóg innych statków powietrznych Detektor dronów Lista kontrolna przed lotem	2	60
				Operator statku powietrznego celowo narusza przepisy	6	Systemy ochrony lotniska Radar dozoru wtórnego Obserwacja personelu służb lotniskowych Raport załóg innych statków powietrznych Detektor dronów	5	180
Start statku powietrznego	Utrata kontroli nad BSP	Kolizja z infrastrukturą lotniska	8	Utrata przytomności przez operatora statku powietrznego	1	System wykrywania przeszkód Zapasowy operator Sprawdzenie stanu psychofizycznego operatora przed rozpoczęciem misji	6	48
Lot nad lotniskiem	Utrata minimalnej separacji pomiędzy BSP a innym statkiem powietrznym	Kolizja w locie	10	Niska widzialność	7	Uwzględnianie prognozy pogody podczas planowania lotu Pokładowe systemy unikania kolizji	6	420

Zgodnie z normą (IEC, 2019), do zalet analizy FMEA należą:

- Można ją szeroko stosować do systemów, sprzętu, oprogramowania i procedur, zarówno pod względem ludzkim, jak i technicznym.
- Identyfikuje ona rodzaje awarii, ich przyczyny i wpływ na system, prezentując je w czytelnej formie.
- Pozwala uniknąć konieczności kosztownych modyfikacji sprzętu w trakcie eksploatacji poprzez wczesną identyfikację problemów w procesie projektowania.
- Dostarcza danych wejściowych do programów konserwacji i monitorowania, wskazując kluczowe cechy, które należy monitorować.

Do jej ograniczeń należą:

- FMEA można stosować wyłącznie do identyfikacji pojedynczych trybów awarii, a nie ich kombinacji.
- Bez odpowiedniej kontroli i ukierunkowania, analizy mogą być czasochłonne i kosztowne.
- FMEA może być trudne i żmudne w przypadku złożonych systemów wielowarstwowych.

Po przeprowadzeniu analizy FMEA można przeprowadzić dodatkowo analizę krytyczności, która definiuje znaczenie każdego rodzaju awarii. FMEA uzupełnioną o analizę krytyczności nazywa się analizą rodzajów, skutków i krytyczności awarii (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis, FMECA).

Z obserwacji branży prowadzonych przez Autorkę wynika, że FMEA, w nieco zmodyfikowanej formie, zyskała dużą popularność w systemach zarządzania bezpieczeństwem organizacji lotniczych. Jest to powiązane z istnieniem matryc opisanych w poprzednim rozdziale (rozdział 3.1.5), które mogą stanowić przykłady skali oceny dotkliwości i prawdopodobieństwa, gotowych do użycia w opisywanej technice. W organizacjach lotniczych często arkusz analizy jest podobny do arkusza FMEA, z tym, że w miejsce rodzajów awarii wskazuje się zagrożenia.

3.1.7 HAZOP

Kolejną z metod wskazanych w materiale doradczym Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA, 2014) jest analiza zagrożeń i zdolności operacyjnych (Hazard and Operability, HAZOP). HAZOP to kreatywna technika identyfikacji zagrożeń. Polega na ustrukturyzowanym i systematycznym badaniu planowanego lub istniejącego procesu lub operacji w celu identyfikacji i oceny problemów, które mogą stanowić zagrożenie

dla personelu, sprzętu lub procesu, bądź uniemożliwiać ich sprawne działanie. HAZOP została zaprojektowana z myślą o analizie zagrożeń wynikających z modyfikacji – zarówno planowanych, jak i niezamierzonych – w systemach i procesach (IEC, 2019).

HAZOP wykorzystuje słowa kluczowe celem identyfikacji możliwych odchyłeń od normalnego działania. Technika ta opiera się na bardzo szczegółowym opisie systemu i zazwyczaj wymaga podziału systemu na dobrze zdefiniowane podsystemy oraz przepływy funkcjonalne lub procesowe między podsystemami. Każdy element systemu jest następnie omawiany w ramach wielodyscyplinarnej grupy ekspertów, w oparciu o różne kombinacje słów kluczowych i potencjalnych odchyłeń (EASA, 2014). Tabela 16 przedstawia możliwe słowa kluczowe dla potencjalnych odchyłeń zmiany wyposażenia lotniska, na przykładzie procesu wdrożenia nowego systemu łączności radiowej.

Tabela 16 Fragment arkusza HAZOP dla procesu wdrożenia nowego systemu łączności radiowej (źródło: opracowanie własne).

Element	Rodzaj odchylenia	Słowo kluczowe	Opis odchylenia
Radiotelefon	Negatywny	BRAK	Służby lotniskowe nie mają radiotelefonów.
Radiotelefon	Modyfikacja ilości	WIĘCEJ	Służby lotniskowe mają więcej radiotelefonów, niż to konieczne.
Radiotelefon	Modyfikacja ilości	MNIEJ	Służby lotniskowe mają mniej radiotelefonów, niż to konieczne.
Anteny	Modyfikacja ilości	MNIEJ	Słaby sygnał radiowy.
System łączności	Substytucja	INNE NIŻ	Częstotliwość emitowanego sygnału jest inna niż założona.
System łączności	Kolejność działań	PRZED	Dotychczasowy system łączności wycofany przed zakończeniem implementacji nowego.
Szkolenie	Kolejność działań	PO	Przeprowadzenie szkoleń z obsługi nowych urządzeń po zakończeniu implementacji nowego systemu.
Szkolenie	Negatywny	BRAK	Pominięcie etapu szkoleń.

Słowa kluczowe mogą być odmiennie interpretowane w analizach różnych systemów oraz na różnych etapach cyklu życia systemu. Niektóre z nich mogą nie mieć sensownych interpretacji dla danej analizy i należy je pominąć. Zazwyczaj osoba kierująca wstępnie definiuje odpowiednie słowa kluczowe dla analizy (IEC, 2016).

Dla poszczególnych odchyłeń wskazuje się możliwe przyczyny, skutki, istniejące zabezpieczenia oraz działania mitygujące. Ostateczny arkusz HAZOP zazwyczaj składa się z tabeli, w której każdy wiersz jest poświęcony jednemu słowu przewodniemu, a kolumny zawierają wyniki jego analizy, np.:

- Słowo kluczowe: BRAK,
- Element: radiotelefony,
- Odchylenie: brak radiotelefonów,

- Możliwe przyczyny: zakłócenia w dostawach,
- Skutki: brak możliwości wdrożenia nowego systemu łączności radiowej,
- Istniejące środki kontroli: utrzymanie poprzedniego systemu do czasu wdrożenia nowego,
- Uwagi: uznane za akceptowalne,
- Działanie mitygujące: rozważenie lokalnego dostawcy radiotelefonów,
- Działanie przypisane do: kierownika technicznego.

Metoda ma wiele zalet: przede wszystkim wspiera rzetelne i metodyczne analizowanie projektowanego lub istniejącego systemu, procesu lub procedury. Jest to czasochłonne, ale pozwala nam na etapie projektowania zidentyfikować potencjalne zagrożenia, nawet te rzadko występujące. Stosując tę technikę, należy pamiętać, że koncentruje się ona na szczegółach, a nie na szerszych lub zewnętrznych kwestiach.

3.1.8 SWIFT

Kolejną z metod wskazanych w materiale doradczym Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA, 2014) jest ustrukturyzowana technika “co będzie, jeśli” (Structured What-If Technique, SWIFT). Metoda SWIFT opiera się na ustrukturyzowanej burzy mózgów w formie warsztatów, podczas których ustalony wcześniej zestaw słów kluczowych (czas, ilość itp.) łączy się z podpowiedziami od uczestników, które często zaczynają się od fraz takich jak „co by było, gdyby?” lub „jak mogłoby?” (Investigations Quality, 2021). Metoda jest prostą i skuteczną alternatywą metody HAZOP czy FMEA i wymaga interdyscyplinarnego zespołu ekspertów. Zwykle jest prowadzona na wysokim poziomie ogólności opisu systemu, posiadając mniejszą wiedzę o elementach składowych, niż w przypadku HAZOP i zmniejszony zestaw podpowiedzi (EASA, 2014). Pozwala na identyfikację zagrożeń.

Słowa kluczowe zazwyczaj odnoszą się do (Investigations Quality, 2021):

- Błędne: Osoba lub osoby,
- Błędne: Miejsce, lokalizacja, teren lub środowisko,
- Błędne: Rzecz lub rzeczy,
- Błędne: Pomysł, informacja lub zrozumienie,
- Błędne: Czas, synchronizacja lub prędkość,
- Błędne: Proces lub Ilość,
- Awaria: Kontrola lub wykrywanie,
- Awaria: Sprzęt.

Lista słów kluczowych jest wykorzystywana przez moderatora do zarządzania dyskusją i proponowania dodatkowych zagadnień i scenariuszy do omówienia przez zespół. Zespół rozważa, czy środki kontroli są odpowiednie, a jeśli nie, rozważa potencjalne metody mitygacji. Podczas dyskusji zadawane są dalsze pytania „co by było, gdyby?”. Wygenerowana lista zagrożeń może posłużyć do opracowania jakościowej lub ilościowej metody oceny ryzyka.

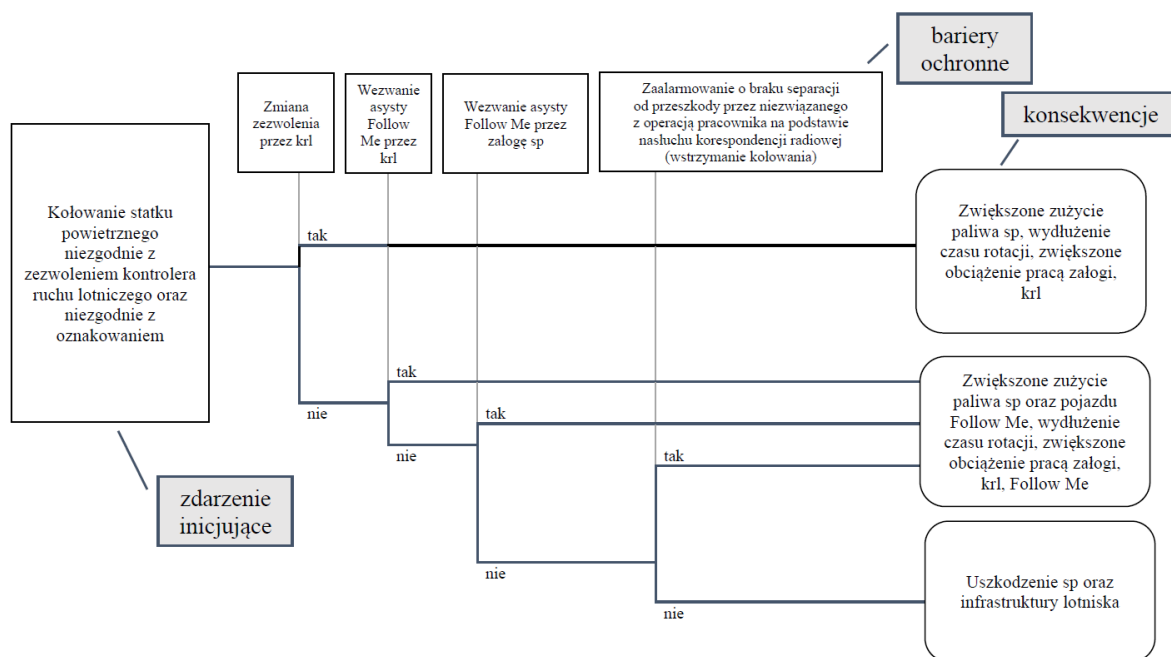
3.1.9 ETA

Analiza drzewa zdarzeń (Event Tree Analysis, ETA) służy do analizowania skuteczności barier zapobiegawczych. Jest techniką graficzną, która przedstawia wzajemnie wykluczające się sekwencje zdarzeń, które mogą wystąpić po zdarzeniu inicjującym, w zależności od tego, czy różne systemy zaprojektowane w celu zmiany konsekwencji (bariery ochronne) działają, czy nie. Możliwe jest, ale niewymagane, ilościowe ocenianie skuteczności barier (IEC, 2019).

Analizę prowadzi się w następujących krokach:

- Zidentyfikuj (zdefiniuj) zdarzenie inicjujące, które może skutkować niechcianymi konsekwencjami,
- Zidentyfikuj bariery, które chronią przed tymi konsekwencjami,
- Skonstruuuj drzewo zdarzeń,
- Opisz potencjalną serię zdarzeń,
- Określ częstotliwość zdarzenia inicjującego i (warunkowe) prawdopodobieństwa rozgałęzień w drzewie zdarzeń (w przypadku analizy ilościowej),
- Oblicz prawdopodobieństwo / częstotliwość zidentyfikowanych konsekwencji (w przypadku analizy ilościowej),
- Opracuj i zaprezentuj wyniki analizy.

ETA można wykorzystać jakościowo, aby pomóc w analizie potencjalnych scenariuszy i sekwencji zdarzeń po zdarzeniu inicjującym oraz w ocenie skuteczności barier ochronnych. Można ją stosować na każdym poziomie organizacji i do dowolnego rodzaju zdarzenia inicjującego. Rysunek 9 przedstawia przykład zastosowania ETA do badania zdarzenia lotniskowego.



Rysunek 9 Przykład jakościowej analizy ETA dot. zdarzenia (źródło: opracowanie własne).

Do mocnych stron metody ETA należą (IEC, 2019):

- Analiza potencjalnych scenariuszy po zdarzeniu inicjującym oraz przejrzysty diagram przedstawiający wpływ sukcesu lub porażki barier ochronnych, który w razie potrzeby można zmierzyć.
- Identyfikuje zdarzenia końcowe, których w innym przypadku nie można by przewidzieć.
- Identyfikuje potencjalne awarie pojedynczych punktów, obszary podatności systemu i środki zaradcze o niskiej opłacalności, a zatem może być wykorzystana do poprawy efektywności mechanizmów ochronnych.
- Technika uwzględnia czas i efekty domina, które są uciążliwe do modelowania w drzewach błędów.

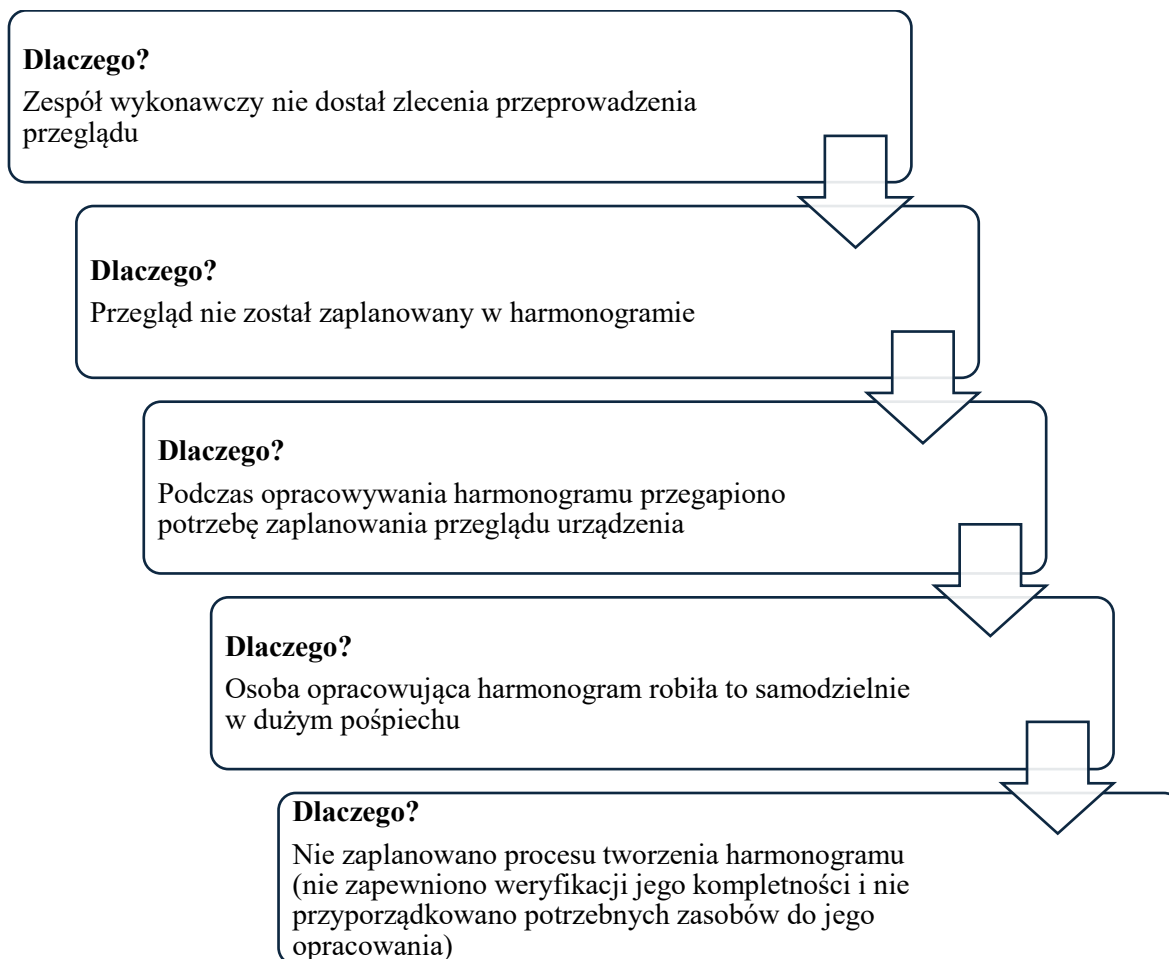
Do jej ograniczeń należą (IEC, 2019):

- Aby przeprowadzić kompleksową analizę, należy zidentyfikować wszystkie potencjalne zdarzenia inicjujące. Zawsze istnieje możliwość pominięcia ważnych zdarzeń inicjujących lub sekwencji zdarzeń.
- Analizowane są tylko stany sukcesu i awarii systemu, a uwzględnienie częściowo działających mechanizmów kontroli, opóźnionego sukcesu lub zdarzeń związanych z odzyskiwaniem sprawności systemu jest trudne.
- Każda ścieżka jest warunkowana zdarzeniami, które wystąpiły w poprzednich rozgałęzieniach na ścieżce. Niektóre zależności, takie jak wspólne komponenty czy

narzędzia, mogą zostać pominięte, co może prowadzić do zbyt optymistycznych szacunków prawdopodobieństwa wystąpienia konkretnych konsekwencji.

3.1.10 5 × dlaczego

Metoda „5 × dlaczego” jest bardzo prosta i szybka w zastosowaniu w praktyce, nie wymaga specjalistycznych narzędzi. Polega na zadaniu pytania „dlaczego?” pięć razy, możliwe w celu ustalenia przyczyny źródłowej (root cause) analizowanego zjawiska (wydarzenia lub potencjalnego wydarzenia) (Ohno, 1988). Liczba pięciu pytań „dlaczego” jest umowna: możliwe jest znalezienie przyczyny źródłowej po mniejszej liczbie pytań; czasem konieczne jest zadanie dodatkowych. Metoda ta nie służy do identyfikacji potencjalnych skutków danego zjawiska, skupia się wyłącznie na przyczynach. Rysunek 10 przedstawia użycie tej metody dla sytuacji nieprzeprowadzenia przeglądu urządzenia w wymaganym terminie.



Rysunek 10 Zastosowanie metody 5 × dlaczego dla nieprzeprowadzenia przeglądu urządzenia w wymaganym terminie (źródło: opracowanie własne).

Stosowanie metody „5 × dlaczego” nie wymaga specjalistycznego szkolenia ani przygotowania. Pozwala na lepsze zrozumienie źródeł zaistniałej lub potencjalnej sytuacji, co wspiera w ocenie ryzyka. Ułatwia także formułowanie działań mitygujących: skuteczne działania łagodzące ryzyko korespondują ze źródłami jego powstania.

3.1.11 ERCS

Europejski system klasyfikacji ryzyka (European risk classification scheme, ERCS) jest systemem dedykowanym do oceny ryzyka zdarzeń, które miały miejsce. Nie polega jednak na ocenie realnych skutków zdarzenia; służy on do określenia jego najgorszych możliwych (potencjalnych) skutków oraz prawdopodobieństwa przekształcenia się danego zdarzenia w te potencjalne skutki (wzrost przedmiotowego prawdopodobieństwa wskazują ciemniejsze odcienie szarości w górnej części matrycy) (Komisja Europejska, 2020). Matryca ERCS została przedstawiona w Tabeli 17.

Tabela 17 Matryca ERCS (źródło: (Komisja Europejska, 2020))

Dotkliwość			Klasyfikacja (skala ryzyka ERCS)										
Możliwe skutki wypadku	St. dotkl.												
Ekstremalny wypadek o charakterze katastrofy, który może skutkować znaczną liczbą ofiar śmiertelnych (ponad 100)	X	Bieżąca ocena ryzyka	X9	X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1		X0
Znaczący wypadek, który może skutkować ofiarami śmiertelnymi i osobami rannymi (od 20 do 100)	S		S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1		S0
Poważny wypadek z ograniczoną liczbą ofiar śmiertelnych (od 2 do 19) lub obrażeń skutkujących zmianą jakości życia lub prowadzący do zniszczenia statku powietrznego	M		M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1		M0
Wypadek obejmujący jedną ofiarę śmiertelną lub jeden przypadek obrażeń skutkujących zmianą jakości życia lub znaczne uszkodzenie statku powietrznego	I		I9	I8	I7	I6	I5	I4	I3	I2	I1		I0
Wypadek obejmujący pomniejsze i poważne obrażenia (nieskutkujące zmianą jakości życia) lub niewielkie uszkodzenie statku powietrznego	E		E9	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1		E0
Brak prawdopodobieństwa wypadku	A		Brak wpływu na bezpieczeństwo										
	Odpowiedni wynik dla bariery		9	8	7	6	5	4	3	2	1		0
	Suma wg barier		17-18	15-16	13-14	11-12	9-10	7-8	5-6	3-4	1-2		0
Prawdopodobieństwo możliwych skutków wypadku													

Metoda ERCS wprowadza m. in. wykaz kluczowych obszarów ryzyka (KRA), do których w ramach tej metody przypisuje się każde zdarzenie. KRA określa najbardziej prawdopodobny rodzaju wypadku, w który mogło przerodzić się zdarzenie będące przedmiotem oceny. Istnieją następujące kluczowe obszary ryzyka (Komisja Europejska, 2020):

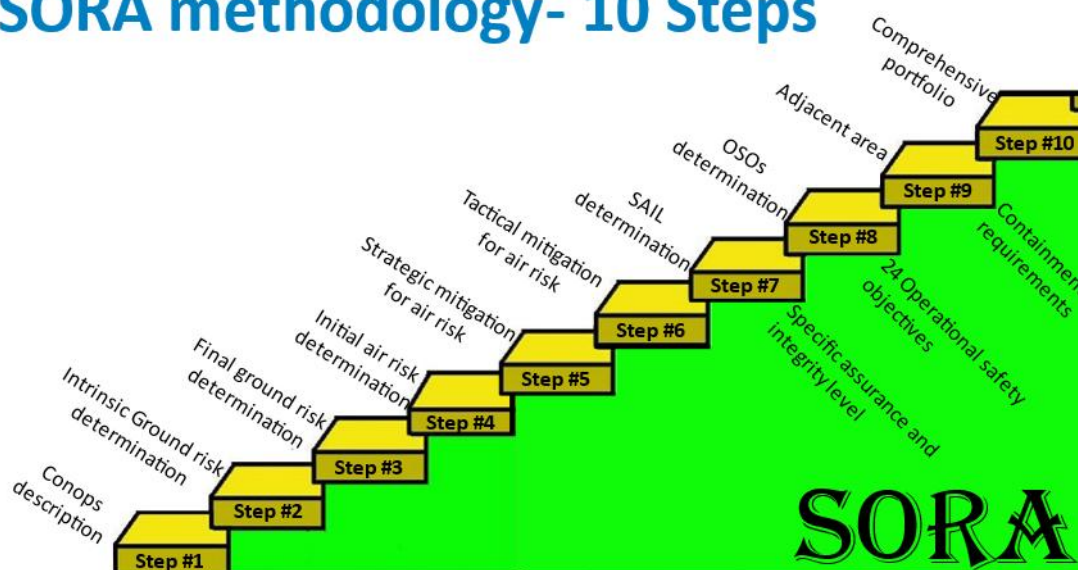
- kolizja w powietrzu: kolizja statków powietrznych, podczas której oba statki powietrzne znajdują się w powietrzu, lub kolizja statku powietrznego z innymi obiektami unoszącymi się w powietrzu (z wyjątkiem ptaków i wolno żyjących zwierząt);
- odejście od normalnych warunków eksploatacji statku powietrznego: niepożądany stan statku powietrznego charakteryzujący się niezamierzonymi różnicami w stosunku do parametrów normalnie występujących podczas operacji, który w ostatecznym efekcie może prowadzić do niekontrolowanego zderzenia z terenem;
- kolizja na drodze startowej: kolizja statku powietrznego z innym obiektem (innym statkiem powietrznym, pojazdem itp.) lub osobą, do której dochodzi na drodze startowej lotniska lub innego wyznaczonego pola wzlotów. Nie obejmuje to kolizji z ptakami lub wolno żyjącymi zwierzętami;
- wypadnięcie z drogi startowej: zdarzenie, w trakcie którego statek powietrzny opuszcza drogę startową lub pole ruchu naziemnego na lotnisku lub powierzchnię lądowania jakiegokolwiek innego wyznaczonego pola wzlotów, przy czym nie dochodzi do wzniesienia się statku powietrznego w powietrze. Obejmuje to pionowe lądowania z dużą siłą uderzenia w przypadku wiroplatów oraz pionowe starty i lądowania w przypadku statków powietrznych oraz balonów i sterowców;
- pożar, dym i zwiększone ciśnienie: zdarzenie obejmujące przypadki pożaru, pojawienia się dymu lub oparów lub zwiększenia ciśnienia, które to sytuacje mogą zagrażać ludzkiemu życiu. Obejmuje to zdarzenia, w trakcie których dochodzi do pożaru lub pojawienia się dymu lub oparów w dowolnej części statku powietrznego w trakcie lotu lub na ziemi i które nie są skutkiem uderzenia lub umyślnego działania;
- uszkodzenie naziemne: uszkodzenie statku powietrznego spowodowane wykonywaniem przez statek powietrzny operacji naziemnych na jakimkolwiek obszarze naziemnym innym niż droga startowa lub wyznaczone pole wzlotów, a także uszkodzenie powstałe podczas obsługi technicznej;

- kolizja z przeszkodą w trakcie lotu: kolizja statku powietrznego znajdującego się w powietrzu z przeszkodami wystającymi z powierzchni ziemi. Przeszkody te obejmują wysokie budynki, drzewa, kable elektryczne, kable telekomunikacyjne i anteny, a także obiekty na uwięzi;
- kolizja z terenem: zdarzenie, w trakcie którego statek powietrzny znajdujący się w powietrzu zderza się z terenem, przy czym nic nie wskazuje na to, by załoga lotnicza utraciła kontrolę nad statkiem powietrznym. Obejmuje to przypadki, w których załoga lotnicza doznaje złudzeń wzrokowych lub działa w warunkach pogorszonej widoczności;
- inne obrażenia: zdarzenie, w trakcie którego doszło do obrażeń śmiertelnych lub obrażeń innych niż śmiertelne i którego nie można przypisać do żadnego innego kluczowego obszaru ryzyka;
- ochrona: akt bezprawnej ingerencji w odniesieniu do lotnictwa cywilnego. Obejmuje to wszelkie incydenty i naruszenia związane z nadzorem i zabezpieczeniem, kontrolą dostępu, kontrolą bezpieczeństwa i wdrożeniem środków kontroli w zakresie ochrony, jak również wszelkie inne akty mające na celu spowodowanie dokonanego w złej wierze lub umyślnego zniszczenia statku powietrznego i mienia, które grożą lub skutkują bezprawną ingerencją w odniesieniu do lotnictwa cywilnego i jego obiektów. Obejmuje to zdarzenia związane zarówno z bezpieczeństwem fizycznym, jak i z cyberbezpieczeństwem.

3.1.12 SORA

SORA (Specific Operations Risk Assessment) to metoda opracowana przez JARUS (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems) w celu oceny ryzyka operacji wykonywanych przez bezzałogowe statki powietrzne. SORA jest metodą zalecaną do stosowania przez EASA. Rysunek 11 przedstawia schemat postępowania podczas prowadzenia oceny ryzyka metodą SORA.

SORA methodology- 10 Steps



Rysunek 11 Metoda SORA w 10 krokach (źródło: (EASA, 2025)).

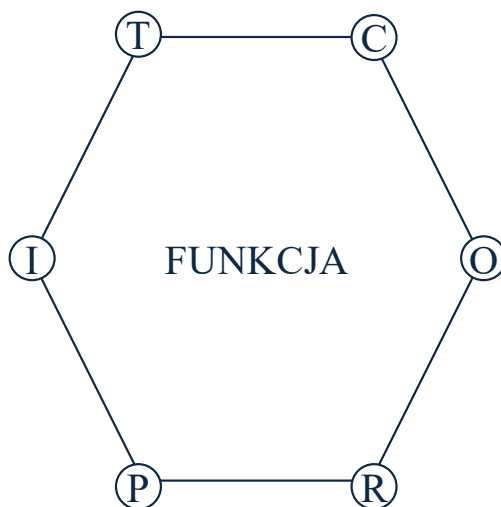
Jak przedstawiono na rysunku, metoda składa się z 10 kroków, rozpoczynających się od opisu operacji (conops description) i oceny ryzyka naziemnego i powietrznego. Ryzyko naziemne jest związane z ryzykiem uderzenia drona w osoby, mienie lub infrastrukturę krytyczną. Ocenia się je przed zastosowaniem działań mitygujących (Intrinsic Ground Risk Determination) oraz po ich wdrożeniu (Final Ground Risk Determination). Ryzyko powietrzne także w pierwszej kolejności ocenia się przed wdrożeniem działań mitygujących (Initial Air Risk Determination). Kolejne dwa kroki metody to ustalenie działań mitygujących względem ryzyka powietrznego: strategiczne (Strategic Mitigation for Air Risk), np. ograniczenie lotu do konkretnej strefy, godziny operacji, koordynacja z organem zarządzającym ruchem powietrznym, oraz taktyczne (Tactical Mitigation for Air Risk), dotyczące możliwości użycia rozwiązań w czasie rzeczywistym, np. systemu wykrywania i unikania przeszkód. Na podstawie oceny ryzyka naziemnego i powietrznego oraz zastosowanych działań mitygujących wyznacza się poziom wiarygodności i niezawodności operacji (Specific Assurance and Integrity Level, SAIL). Dla każdego poziomu SAIL przypisuje się odpowiedni zestaw celów bezpieczeństwa operacyjnego (OSO), które operator musi spełnić. Ostatnim krokiem jest wpływ operacji na obszary sąsiednie oraz potrzebę stosowania dodatkowych działań mitygujących ryzyko w tym zakresie (Adjacent Areas & Containment). Całość analizy, wraz z dowodami na spełnienie wymagań, jest zbierana w portfolio bezpieczeństwa (EASA, 2025).

3.1.13 FRAM

Metoda analizy rezonansu funkcjonalnego (FRAM) jest przeznaczona do modelowania i analizowania systemów; została opracowana w celu zapewnienia narzędzia do analizowania systemów zgodnie z koncepcją Safety II (Hollnagel, 2012), którą objaśniono w rozdziale 1.1.2. FRAM opiera się na czterech głównych zasadach:

1. Nieprawidłowe i prawidłowe zachowania systemu są sobie równoważne, co oznacza, że różne efekty operacyjne wynikają z tych samych wewnętrznych mechanizmów i zdarzeń.
2. Dopasowanie działań człowieka do bieżących warunków nigdy nie jest idealnie zgodne z tym, co zostało zaplanowane.
3. Nie da się zaplanować wszystkiego i mogą wystąpić nieprzewidziane zjawiska.
4. Sytuacja awaryjna wynika z rezonansu funkcjonalnego, co oznacza nieprzewidywalne nałożenie się wielu sygnałów.

Zasada FRAM polega na opisaniu funkcji systemu w sposób niezależny od tego, jak łączą się w danej sytuacji (Nouvel i in., 2007). Każda funkcja jest scharakteryzowana przez sześć cech, graficznie przedstawionych za pomocą sześciokąta (Rysunek 12).



Rysunek 12 Sześciokąt przedstawiający funkcję oraz jej cechy według metody FRAM. (źródło: opracowanie własne)

Konkretne wartości tych cech reprezentują rzeczywiste powiązanie funkcji w ramach badanego procesu (systemu). Aby zbudować model FRAM, musimy najpierw zdefiniować funkcje analizowanego systemu lub procesu. Należy przeanalizować dostępną dokumentację opisującą go oraz przeprowadzić obserwacje i wywiady. Cechy opisujące funkcje systemu są następujące:

- I (Input) — określa wartości, które funkcja przekształca;
- O (Output) — określa wartości, które funkcja generuje;

- P (Preconditions) — określa warunki wstępne, które muszą zostać spełnione, aby funkcja została zrealizowana;
- T (Time) — określa czasową dostępność funkcji;
- C (Control) — określa sygnały, które kontrolują lub modyfikują funkcję;
- R (Resources) — definiuje zasoby, których funkcja potrzebuje (lub które zużywa) podczas wykonywania.

Aby ustalić granice modelu, potrzebujemy funkcji z samymi wyjściami lub wejściami; są one nazywane funkcjami tła. Wszystkie inne funkcje są nazywane funkcjami pierwszego planu. Możemy również klasyfikować każdą funkcję, na podstawie jej typu jako funkcję organizacyjną, technologiczną lub ludzką. Funkcje, które muszą zostać zrealizowane, zanim inne będą mogły rozpocząć działanie, są nazywane funkcjami nadrzędnymi. Funkcje podrzędne zależą od funkcji nadrzędnych. Aby zbudować kompletny model, konieczne jest wskazanie sprzężeń w danym systemie (w jaki sposób funkcje się łączą). Po zbudowaniu modelu można przeanalizować zachowanie systemu.

Drugi krok, identyfikacja rzeczywistych lub potencjalnych zmienności funkcji, może opierać się na obserwacjach rzeczywistych lub symulacjach roboczych oraz na formalnym procesie. Proces formalny (proste rozwiązanie Hollnagela) polega na metodycznym kwestionowaniu wydajności każdej funkcji pod kątem terminowości i precyzji. Możliwe zmienności funkcji są następujące:

- Pod względem terminowości – za wcześnie, na czas, za późno, pominięcie;
- Pod względem precyzji – precyzyjnie, akceptowalnie, nieprecyzyjnie.

Należy również zidentyfikować źródło zmienności dla wszystkich wyników. Można je sklasyfikować jako endogeniczne (wewnętrzne) lub egzogeniczne (zewnętrzne). Eksperti merytoryczni (Subject Matter Experts, SMEs) przypisują rangę zmienności dla każdej funkcji, w oparciu o swoje doświadczenie w terenie i wiedzę uzyskaną na temat konkretnego przypadku, za pomocą prostej skali kolorystycznej opartej na trzech wartościach:

- Czerwony, synchronizacja funkcji i precyzja mają znaczący wpływ na sposób wykonywania funkcji podrzędnych.
- Żółty, synchronizacja funkcji i precyzja mają potencjalny wpływ na sposób wykonywania funkcji podrzędnych.
- Zielony, synchronizacja funkcji i precyzja mają ograniczony lub pomijalny wpływ na system, bez konsekwencji dla sposobu wykonywania funkcji podrzędnych (Patriarca i in., 2018).

Analiza FRAM jest przeprowadzana w kilku etapach (Hollnagel, 2012):

1. Zidentyfikuj podstawowe funkcje systemu i scharakteryzuj każdą z nich za pomocą sześciu podstawowych cech (Rysunek 12). Zastosowanie tego typu struktury pozwala na opis bardziej złożonych zależności, ponieważ powiązanie każdej funkcji z wieloma innymi jednocześnie umożliwia stworzenie struktury grafu o bardziej ogólnym charakterze. Umożliwia to systemowe podejście do analizy incydentów.
2. Określ rodzaj i zakres zmienności poszczególnych funkcji. Zakres zmienności można określić, definiując typowe warunki działania systemu. Należy przy tym uwzględnić, że funkcja może odzwierciedlać aspekt technologiczny systemu, aspekt organizacyjny i aspekt ludzki. Rodzaj i zakres zmienności mogą się różnić dla każdego rodzaju funkcji i są zazwyczaj definiowane opisowo. Funkcje o charakterze technicznym charakteryzują się zazwyczaj niską zmiennością i są stosunkowo niezależne od środowiska, ale wszelkie odchylenia od stanu nominalnego zazwyczaj następują bardzo szybko. Z drugiej strony, funkcje związane z człowiekiem charakteryzują się dużą zmiennością i są silnie zależne od środowiska, a odchylenia od stanu nominalnego następują powoli.
3. Określ tzw. rezonans funkcjonalny, który może wystąpić w wyniku nakładania się odchyleń wynikających ze zmienności wszystkich funkcji jednocześnie i istniejących między nimi relacji. W ramach tworzenia struktury grafu, w pierwszym kroku analizy definiuje się relacje między funkcjami systemu. Zaobserwowana zmiana w jednej funkcji spowoduje zmianę danych wejściowych (warunków wstępnych, zasobów, czasu, sterowania) dla innej funkcji. To z kolei może spowodować odchylenie w wynikach jej funkcji. Zatem każde odchylenie może rozprzestrzeniać się w sieci i wzmacniać się lub wygasać, w zależności od rodzaju powiązań między funkcjami. Jeśli stwierdzimy, że dane wyjściowe przesuwają się w niedopuszczalne obszary, wskazuje to na możliwość nieakceptowalnego wyniku procesu (np. wypadku lotniczego) i wymaga dalszej analizy.
4. Zidentyfikuj bariery zmienności w poszczególnych funkcjach i monitoruj, w jakim stopniu proponowane bariery poprawiają wydajność systemu. Ogólnie rzecz biorąc, bariery bezpieczeństwa można opisać poprzez ich strukturę fizyczną lub organizację oraz poprzez sposób, w jaki bariera osiąga cel, dla którego została ustanowiona. FRAM rozróżnia cztery rodzaje barier: (i) fizyczne, które uniemożliwiają wykonanie czynności lub uniemożliwiają wystąpienie niepożądanych skutków; (ii) funkcjonalne, które określają dodatkowe warunki niezbędne do wykonania

czynności; (iii) symboliczne, odpowiadające fizycznie istniejącym elementom, które nakładają ograniczenia na wykonywanie funkcji; oraz (iv) niematerialne, które również nakładają ograniczenia na wykonywanie funkcji, ale nie istnieją w sensie fizycznym.

Podsumowując, FRAM pozwala nam lepiej zrozumieć, jak system działał (lub jak mógł działać) w przypadku wystąpienia nieprawidłowości lub nieefektywnego działania. Takie ujęcie problemu jest szczególnie korzystne w przypadku procesów, które nie prowadzą bezpośrednio do niebezpiecznych incydentów lotniczych. FRAM pozwala nam wstępnie określić warunki, w jakich system może działać w przypadku wystąpienia nieprawidłowości, a następnie, po określeniu rodzaju i zakresu odchyłeń sygnałów oraz sposobu działania funkcji, określić inne możliwe skutki działania systemu, zarówno pozytywne, jak i negatywne.

Metoda analizy rezonansu funkcjonalnego ma szeroki zakres zastosowań. Początkowo była wykorzystywana w lotnictwie i ochronie zdrowia, a później rozpowszechniła się w innych branżach. FRAM może być wykorzystywany zarówno do analizy retrospektywnej, jak i prospektywnej.

3.1.14 Metody oparte na danych

Uwzględniając wyniki przeglądu literatury (rozdział 1.2.4), w szczególności fakt, że coraz częściej sięga się po metody oparte o sztuczną inteligencję czy uczenie maszynowe, szukając rozwiązań do zarządzania ryzykiem, zdecydowano o uwzględnieniu tej grupy metod w niniejszym przeglądzie. Niniejsza analiza ma na celu identyfikację możliwych rozwiązań ograniczających subiektywność ocen ryzyka (ta potrzeba jest także opisana w rozdziale 1.2.4). Metody oparte na danych (ang. data-driven methods) to podejście analityczne i decyzyjne, w którym podstawą działania są realne dane empiryczne, a nie wyłącznie założenia teoretyczne, ekspercka intuicja czy symulacje oparte na modelach matematycznych. Ich głównym celem jest wydobycie informacji, wzorców i zależności z danych, by podejmować trafniejsze decyzje, przewidywać zdarzenia lub optymalizować procesy (Lawrence, 2024). Przeanalizowano jedną z metod opartych na danych: wnioskowanie bayesowskie.

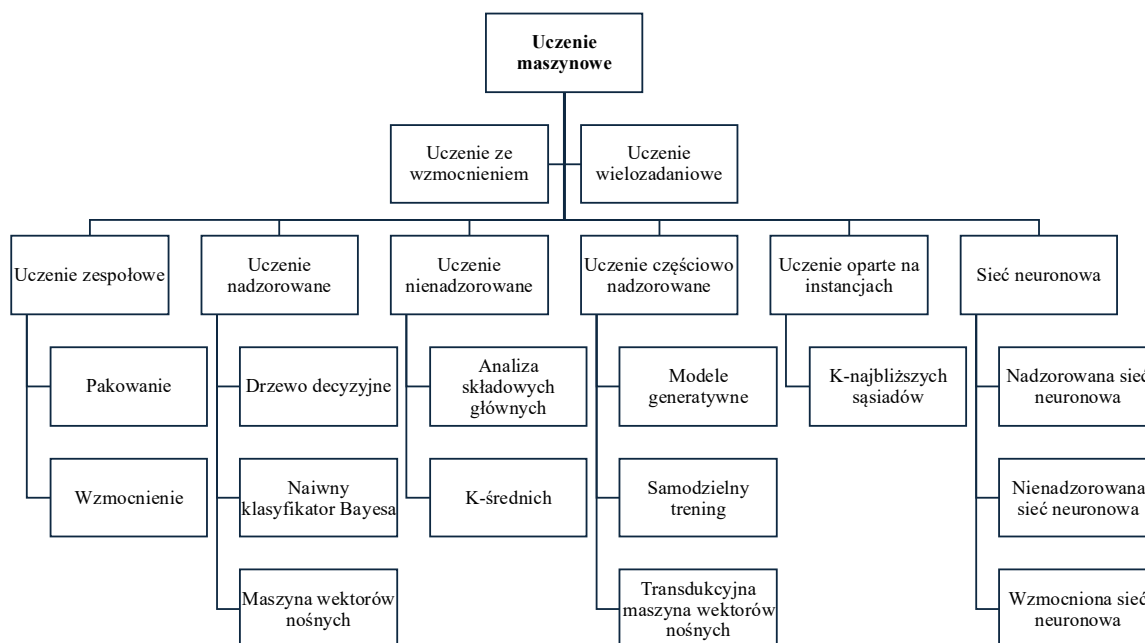
Wnioskowanie bayesowskie stanowi metodę wnioskowania statystycznego. Klasyfikator pozwala na prognozowanie *a priori*, tj. na podstawie posiadanych, wcześniejszych (*a priori*) obserwacji. Najczęściej stosuje się go względem nieznanymi przypadków, zanim one się pojawią. Obserwacje opisuje się za pomocą atrybutów (zmiennych niezależnych), tworząc bazę wiedzy, na której klasyfikator *uczy się*. Model ten opiera się na twierdzeniu Bayesa i zakłada, że atrybuty są warunkowo niezależne od etykiety klasy (Tomaszewska, 2024). Pomimo swojej koncepcyjnej prostoty, naiwny klasyfikator bayesowski często osiąga porównywalne,

a niekiedy nawet lepsze wyniki niż znacznie bardziej złożone modele klasyfikacyjne, co zostało potwierdzone w licznych badaniach empirycznych (Domingos i Pazzani, 1997) (Rish, 2001).

W ramach niniejszej pracy nie prowadzono dalszych badań związanych z porównywaniem możliwości zastosowania innych narzędzi AI. Zagadnienie porównywania różnych narzędzi sztucznej inteligencji stanowi odrębny i złożony obszar badawczy, wymagający pogłębionej analizy, czego przykładem jest cykl publikacji z zakresu zastosowania narzędzi wnioskowania statystycznego, modelowania matematycznego oraz uczenia maszynowego jako wsparcia lotnictwa w ocenie ryzyka (Żurek i Tomaszewska, 2016), (Żyłuk i in., 2021), (Zieja i in., 2021), (Wawrzyński i in., 2022), (Tomaszewska, 2024). Cykl ten poświęcony jest systematycznemu porównywaniu algorytmów AI.

Nie stwierdzono, czy klasyfikator bayesowski jest najlepszym narzędziem do analizowanego w pracy problemu. Przyjęto ten algorytm jako narzędzie potencjalnie odpowiadające celowi niniejszej pracy. Autorka planuje kontynuację badań w tym zakresie.

Zgodnie z (Bishop, 2006) badania związane z rozpoznawaniem wzorców (pattern recognition) zajmują się automatycznym odkrywaniem prawidłowości w danych za pomocą algorytmów komputerowych i wykorzystaniem tych prawidłowości do podejmowania działań, takich jak klasyfikowanie danych do różnych kategorii. Uczenie maszynowe (machine learning) stanowi odpowiedź na potrzebę rozpoznawania wzorców w danych. Uczenie maszynowe pozwala nam rozwiązywać zadania, które są zbyt trudne do rozwiązania za pomocą stałych programów napisanych i zaprojektowanych przez ludzi. Z naukowego i filozoficznego punktu widzenia uczenie maszynowe jest interesujące, ponieważ jego zgłębianie wiąże się z pogłębianiem naszego rozumienia zasad leżących u podstaw inteligencji (Goodfellow i in., 2016). Klasyfikator Bayesa (np. naiwny klasyfikator Bayesa) to jedna z podstawowych metod uczenia maszynowego, zaliczana do metod uczenia nadzorowanego (supervised learning), a konkretnie do metod klasyfikacyjnych. Podział algorytmów uczenia maszynowego przedstawia Rysunek 13.



Rysunek 13 Podział algorytmów uczenia maszynowego (źródło: opracowanie własne na podstawie (Tomaszewska, 2024)).

Planuje się wykorzystać naiwny klasyfikator bayesowski do opracowania metody zarządzania ryzykiem (rozdział 6).

3.2 Analiza możliwości zastosowania metod zarządzania ryzykiem na lotnisku

Jak wskazano w przeglądzie literatury (rozdział 1.2), norma (IEC, 2019) zawiera wykaz technik zarządzania ryzykiem wraz z ich charakterystyką. Przytoczona norma charakteryzuje poszczególne techniki biorąc pod uwagę poniższe aspekty:

- Zastosowanie (w jaki sposób technika jest wykorzystywana w ocenie ryzyka): zebranie opinii, identyfikacja i analiza przyczyn, analiza mechanizmów kontroli itp.;
- Zakres (dotyczy ryzyka na poziomie całej organizacji, komórki organizacyjnej, projektu lub poszczególnych procesów lub wyposażenia): poziom organizacji (org), projekt/komórka org. (proj), wyposażenie/proces (wyp/proc);
- Horyzont czasowy (dotyczy ryzyka krótkoterminowego, średnioterminowego lub długoterminowego lub ma zastosowanie do dowolnego horyzontu czasowego): krótki, średni, długi, dowolny;
- Poziom decyzyjny (dotyczy ryzyka na poziomie strategicznym, taktycznym lub operacyjnym): strategiczny (strat), taktyczny (takt), operacyjny (oper), dowolny;
- Poziom potrzebnych początkowych informacji lub danych: wysoki, średni, niski;
- Wiedza specjalistyczna (poziom wiedzy wymagany do prawidłowego użycia): niski: intuicyjny lub szkolenie trwające od jednego do dwóch dni, umiarkowany: kurs

szkoleniowy trwający ponad dwa dni, wysoki: wymaga znacznego przeszkolenia lub specjalistycznej wiedzy;

- Jakościowa/ ilościowa (czy metoda jest jakościowa, półilościowa czy ilościowa): ilościowa (ilość), jakościowa (jakość), półilościowa (semi-ilość), może być stosowana jakościowo lub ilościowo (dowolnie);
- Konieczny wysiłek celem zastosowania (czas i koszt wymagany do zastosowania techniki): wysoki, średni, niski

Wykorzystując przytoczone parametry dokonano szczegółowej analizy metod opisanych w rozdziale 3.1, które mają wiele możliwych zastosowań, aby w dalszej części pracy dostosować ich wykorzystanie do potrzeb oraz okoliczności zarządzania ryzykiem na lotnisku. Tabela 18 przedstawia charakterystykę wybranych w oparciu o analizę uregulowań formalno-prawnych technik zarządzania ryzykiem.

Tabela 18 Charakterystyka wybranych technik zarządzania ryzykiem (źródło: opracowanie własne na podstawie: (Marzec i Fellner, 2023), (IEC, 2019), (Ohno, 1988)).

	Bow-tie	Burza mózgów	Listy kontrolne	FMEA	HAZOP	SWIFT	ETA	5 × dlaczego
Zastosowanie	Analiza ryzyka, mechanizmów kontroli, opisywanie ryzyka	Zebranie opinii	Identyfikacja ryzyka oraz mechanizmów kontroli	Identyfikacja ryzyka	Identyfikacja i analiza ryzyka	Identyfikacja ryzyka	Analiza konsekwencji i mechanizmów kontroli	Analiza przyczyn
Zakres	Proj, wyp/proc	Dowolny	Proj, wyp/proc	Proj, wyp/proc	Wyp/proc	Org, proj	Proj, wyp/proc	Dowolny
Horyzont czasowy	Krótki, średni	Dowolny	Dowolny	Dowolny	Średni, długi	Średni, długi	Dowolny	Dowolny
Poziom decyzyjny	Dowolny	Dowolny	Dowolny	Takt, oper	Takt, oper	Strat, takt	Dowolny	Dowolny
Poziom potrzebnych początkowych informacji lub danych	Niski	Żaden	Wysoki do stworzenia, niski do użytkowania	Zależy od zastosowania	Średni	Średni	Niski, średni	Średni
Wiedza specjalistyczna	Niski, umiarkowany	Niski, umiarkowany	Niski, umiarkowany	Umiarkowany	Prowadzący: wysoki; Uczestnicy: umiarkowany	Niski, umiarkowany	Umiarkowany	Niski
Jakościowa/ ilościowa	Jakość, semi-ilość	Jakość	Jakość	Jakość, semi-ilość, ilość	Jakość	Jakość	Jakość, ilość	Jakość
Konieczny wysiłek celem zastosowania	Niski	Niski	Niski / średni	Niski, wysoki	Średni	Niski, średni	Średni	Niski

W kolejnym kroku, na podstawie wymagań UE dla zarządzających lotniskami oraz analizy dokumentacji Lotniska Chopina przeprowadzonej przez autorkę wylistowano siedem przykładowych analiz ryzyka, które mogą być prowadzone w ramach systemu zarządzania lotniska (Tabela 19). Każdy z przykładów stanowi zagadnienie mieszczące się w zakresie systemu zarządzania bezpieczeństwem (SMS), więc koncentruje się na zagrożeniach bezpośrednio istotnych dla bezpieczeństwa lotnictwa, a nie na zagrożeniach ogólnych, finansowych i innych.

Tabela 19 Przykłady ocen ryzyka prowadzonych przez zarządzającego lotniskiem (źródło: (Marzec i Fellner, 2023)).

L.p.	Opis	Cel
1.	Zmiana wyposażenia lotniska – wprowadzenie nowego systemu łączności radiowej, wycofanie obecnego systemu łączności radiowej	Ocena wpływu zmiany wyposażenia lotniska na zidentyfikowane zagrożenia i strategie łagodzenia ryzyka przed jej wdrożeniem.
2.	Zmiana wyposażenia lotniska – proces przejścia na nowy system łączności radiowej	Ocena zagrożeń bezpieczeństwa związanych z procesem wprowadzania nowego systemu łączności radiowej.
3.	Wykazanie zgodności w przypadku, gdy operator lotniska stosuje alternatywne sposoby zapewnienia zgodności w stosunku do tych przyjętych przez Agencję Bezpieczeństwa Lotniczego Unii Europejskiej	Ocena powinna wykazać, że osiągnięto poziom bezpieczeństwa równoważny poziomowi ustalonym w akceptowalnych sposobach spełniania wymagań (AMC) przyjętych przez Agencję
4.	Ocena ryzyka dot. przyrody ożywionej	Ocena ryzyka związanego ze przyrodą ożywioną na terenie lotniska i w jego okolicy
5.	Zmiana projektu płyty postojowej	Ocena wpływu zmiany układu płyty postojowej na zidentyfikowane zagrożenia i strategie ograniczania ryzyka przed jej wdrożeniem.
6.	Prace remontowo-budowlane na płycie postojowej	Ocena zagrożeń bezpieczeństwa związanych z pracami remontowo-budowlanymi na płycie postojowej
7.	Analiza zdarzenia dotyczącego niepoprawnego kołowania statku powietrznego	Badanie zdarzenia. Ocena barier bezpieczeństwa

Ocenę przydatności technik i narzędzi dla operatora lotniska przeprowadzono poprzez szczegółowe porównanie przykładów analiz ryzyka rzeczywiście realizowanych na lotnisku (Tabela 19) z charakterystyką wybranych technik i narzędzi (Tabela 18). Proces ten wymagał nie tylko analizy danych literaturowych, ale także gruntownego zrozumienia specyfiki operacyjnej portu lotniczego. Oceny dokonano w oparciu o krytyczny przegląd literatury przedmiotu oraz własne obserwacje i doświadczenie autorki, zdobyte zarówno podczas analizy dokumentacji, samodzielnej pracy w zakresie zarządzania ryzykiem jak i konsultacji z praktykami. Wyniki prezentuje Tabela 20.

Tabela 20 Przydatność technik do poszczególnych ocen ryzyka prowadzonych przez zarządzających lotniskami (źródło: opracowanie własne na podstawie: (Marzec i Fellner, 2023), (IEC, 2019), (Ohno, 1988))

L.p.	Opis	Bow-tie	Burza mózgów	Listy kontrolne	FMEA	HAZOP	SWIFT	ETA	5 × dlaczego
1.	Zmiana wyposażenia lotniska – wprowadzenie nowego systemu łączności radiowej, wycofanie obecnego systemu łączności radiowej		X		X	X	X		
2.	Zmiana wyposażenia lotniska – proces przejścia na nowy system łączności radiowej	X	X	X	X	X	X		
3.	Wykazanie zgodności w przypadku, gdy operator lotniska stosuje alternatywne sposoby zapewnienia zgodności w stosunku do tych przyjętych przez Agencję Bezpieczeństwa Lotniczego Unii Europejskiej		X		X		X		
4.	Ocena ryzyka dot. przyrody ożywionej	X	X		X	X	X		
5.	Zmiana projektu płyty postojowej		X				X		
6.	Prace remontowo-budowlane na płycie postojowej	X	X	X	X	X	X		
7.	Analiza zdarzenia dotyczącego niepoprawnego kołowania statku powietrznego	X	X		X	X	X	X	X

Niektóre metody opisane w rozdziale 3.1, nie zostały ujęte w porównaniu. Zarówno arkusz roboczy oraz matryce oceny i tolerancji ryzyka proponowane przez ICAO, jak i metody ERCS oraz SORA są metodami dedykowanymi dla lotnictwa, a ich zastosowanie jest ściśle określone w regulacjach formalno-prawnych, co wskazano wyżej. Z kolei FRAM oraz metody oparte na danych nie są metodami zarządzania ryzykiem w tradycyjnym sensie, ale mogą być używane do lepszego rozumienia i zarządzania ryzykiem w złożonych systemach. Dlatego uznano za niezasadne ujmowanie ich w przedstawionym porównaniu dotyczącym przydatności poszczególnych metod.

3.3 Omówienie wyników analizy i wnioski w zakresie metod zarządzania ryzykiem

Analiza ujawnia, że istnieje wiele technik i narzędzi oceny ryzyka bezpieczeństwa. Przeanalizowano wybrane z nich, skupiając się na ich przydatności dla potrzeb operatorów lotnisk. Zaproponowano dobór techniki dla wybranych zagadnień mogących podlegać analizie ryzyka w ramach systemu zarządzania bezpieczeństwem lotniska. Nie zidentyfikowano całościowej metody zarządzania ryzykiem dedykowanej zarządzającym lotniskami. Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki, należy wskazać, że podręcznik dotyczący sposobu doboru narzędzi i technik oceny ryzyka dedykowany operatorom lotnisk byłby przydatny. Operatorzy lotnisk mogliby skorzystać z łatwych do wdrożenia narzędzi i rozwiązań zarządzania ryzykiem; pomogłoby to zapewnić zgodność z wymogami i ułatwienie przebiegu procesów zarządzania ryzykiem. Przytoczone wnioski planuje się uwzględnić podczas opracowywania metody zarządzania ryzykiem dla Lotniska Chopina.

Wyżej przytoczone wyniki badań były częściowo publikowane przez autorkę w 2023 r. (Marzec i Fellner, 2023).

4 Zarządzanie ryzykiem w wybranych organizacjach lotniczych

Problemem, którego rozwiązanie było celem tej części badań, jest określenie jakie są potrzeby Zarządzających lotniskami w celu poprawy efektywności zarządzania ryzykiem w ich organizacjach? Podjęto próbę uzupełnienia luki badawczej związanej z brakiem precyzyjnej diagnozy potrzeb Zarządzających lotniskami w zakresie zarządzania ryzykiem. Ustalano także, jakie są możliwości doskonalenia zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina w Warszawie.

Weryfikowano hipotezy wskazujące, że:

- Zarządzający lotniskami potrzebują zwiększenia wydajności systemu zarządzania bezpieczeństwem, ograniczenia liczby powtarzalnych, dających się zmechanizować

zadań dla personelu oraz sposobu na uniknięcie większości pomyłek i przeoczeń człowieka z zachowaniem obecnego osobowego charakteru zarządzania ryzykiem.

- Zarządzanie ryzykiem na Lotnisku Chopina można udoskonalić w zakresie zmniejszenia subiektywności tego procesu, podniesienia kultury bezpieczeństwa w organizacji oraz uzyskiwania dających się porównać danych dotyczących poziomu bezpieczeństwa.

Potrzeby operacyjne w tym obszarze są często nieuświadomione lub wynikają z przyzwyczajień organizacyjnych, które nie zawsze odpowiadają aktualnym wyzwaniom funkcjonowania lotniska. Identyfikowane potrzeby bywają niekiedy projekcją doraźnych problemów, a nie odzwierciedleniem rzeczywistych braków systemowych. Dlatego konieczne jest przeprowadzenie niezależnej, systematycznej analizy potrzeb — opartej na danych oraz przeglądzie praktyk. Wyniki analizy mają posłużyć opracowaniu metod i narzędzi pomagających w zaspokojeniu tych potrzeb, a tym samym pozytywnie wpływających na efektywność lotniskowych systemów zarządzania bezpieczeństwem.

4.1 Zarządzanie ryzykiem na Lotnisku Chopina w Warszawie

W niniejszym rozdziale zawarto opis procesu zarządzania ryzykiem na Lotnisku Chopina skonstruowany w oparciu o wyniki obserwacji uczestniczącej oraz przeprowadzonych wywiadów z przedstawicielami Lotniska Chopina w Warszawie (4.1.1), oraz wyniki wywiadów pogłębionych i analizy danych dotyczących konkretnych metod zarządzania ryzykiem stosowanych na lotnisku (4.1.2).

4.1.1 Opis procesu

Istotną cechą procesu zarządzania ryzykiem jest różnorodność okoliczności, w których jest realizowany. Ryzykiem w ramach SMS zarządza się zarówno w odniesieniu do krótkotrwałych, określonych w czasie zagadnień ściśle związanych z operacjami lotniczymi (np. remont nawierzchni na skrzyżowaniu dróg startowych prowadzony w nocy, przez ok. 5 godzin) jak i wobec bardziej ogólnych, niesprecyzowanych w czasie zagadnień (np. problem dużej fluktuacji personelu prowadzącego obsługę naziemną na lotnisku). Duża część analiz ryzyka dotyczy planowanych zmian:

- zmian procedur operacyjnych, np. umożliwienie prowadzenia tankowania statku powietrznego z pasażerami na pokładzie,
- zmian organizacyjnych, np. zmiana personalna na stanowisku kierownika ds. technicznych,
- zmian infrastrukturalnych, np. budowa nowej płyty postojowej.

Stwierdzono, że analiza ryzyka opiera się na analizie danego zagadnienia przy użyciu dostępnych informacji i danych, które stanowią dane wejściowe do procesu. Opisując i analizując problem, wykorzystuje się między innymi wyniki badań wcześniejszych zdarzeń lotniczych (zwłaszcza tych, które miały miejsce na lotnisku, na którym przeprowadzana jest analiza), wyniki audytów i inspekcji, wyniki przeglądów bezpieczeństwa, raporty z systemów raportowania bezpieczeństwa lub wcześniej przeprowadzone analizy ryzyka. Konieczne jest również posiadanie odpowiednich zasobów do przeprowadzenia procesu: kompetentnego personelu, procedur organizacji, rejestru ryzyka i narzędzi informatycznych. Ustalono, że przeprowadzając analizę ryzyka dla konkretnego lotniska, konieczna jest znajomość procedur i ograniczeń, które obowiązują na lotnisku. Wielu ekspertów podkreśla, że bardzo ważne jest uwzględnienie lokalnych warunków: ryzyka wynikające z materializacji tych samych zagrożeń dla dwóch różnych lotnisk mogą być zupełnie różne. Przykładem może być zdarzenie polegające na wypadnięciu statku powietrznego z drogi startowej na lotnisku zlokalizowanym w terenie silnie zurbanizowanym. W takich przypadkach dotkliwość skutków może być istotnie wyższa niż w przypadku analogicznego incydentu na lotnisku otoczonym terenami niezabudowanymi. Za ogrodzeniem lotniska mogą bowiem znajdować się gęsto uczęszczane drogi publiczne, obiekty infrastruktury krytycznej lub skupiska ludności, co zwiększa ryzyko wtórnych kolizji z pojazdami, budynkami lub osobami postronnymi. Obserwacje wykazały, że na różnych etapach proces oceny ryzyka angażuje zarówno personel SMS, jak i osoby, które go wspierają, np. poprzez konsultacje. Konsultanci to często specjaliści w zakresie analizowanego zagadnienia, tj. pracownicy jednostek organizacyjnych lotniska innych niż SMS lub pracownicy organizacji zewnętrznych współpracujących z lotniskiem. Przeprowadzenie skutecznych konsultacji jest często wyzwaniem. Ich wynik ma istotny wpływ na jakość wyników oceny ryzyka. Wszystkie opisane aspekty zdecydowano się uwzględnić opracowując metodę zarządzania ryzykiem (rozdział 6).

Jako pierwszy krok procesu zarządzania ryzykiem zidentyfikowano analizę zagadnienia podlegającego procesowi. Procedury SMS zawierają opis przebiegu procesu zarządzania ryzykiem, jednak w praktyce rzadko się do nich sięga, opierając się na własnym doświadczeniu i wzorując się na dokumentacji dotychczasowych analiz. Kolejnym krokiem jest identyfikacja zagrożeń związanych z tematem. Zagrożenia związane z budową nowej płyty postojowej na lotnisku to np. użycie dźwigów, które mogą być przeszkodą lotniczą lub przeorganizowanie ruchu naziemnego. Konsultacje ze specjalistami (praktykami) z analizowanej dziedziny mają bardzo duży wpływ na prawidłową identyfikację zagrożeń. Problemem wskazywanym przez analityków SMS jest niedostateczne zaangażowanie w proces tychże specjalistów. Następnie

oceniane są ryzyka związane z wymienionymi zagrożeniami. Ocena ryzyka obejmuje oszacowanie prawdopodobieństwa i dotkliwości potencjalnych konsekwencji materializacji danego zagrożenia. W przypadku przytoczonego przykładu zagrożenia „obecność dźwigów na terenie lotniska” możliwym skutkiem jest „zderzenie lądującego samolotu z dźwigiem”, którego wystąpienie charakteryzuje się pewnym prawdopodobieństwem i dotkliwością. W celu przeprowadzenia oceny ryzyka należy dokonać wyboru metody (lub metod) do tego celu. Jakość przedmiotowego wyboru zależy przede wszystkim od kompetencji osób i cech procedur systemu zarządzania bezpieczeństwem. W praktyce do oceny ryzyka przeszkolony personel stosuje metodę określoną w dokumentacji SMS. Zidentyfikowano, że najczęściej stosowana jest metoda oceny eksperckiej opartej na matrycach oceny i tolerancji ryzyka proponowanych przez ICAO (opisano je w rozdziale 3.1.5). Produktem oceny ryzyka jest indeks ryzyka (litera oznaczająca dotkliwość i liczba oznaczająca prawdopodobieństwo). Ponadto dostarcza ona informacji o potrzebie łagodzenia ryzyka (czy konieczne jest wdrożenie środków łagodzących ryzyko, aby utrzymać odpowiedni poziom bezpieczeństwa?). Informacje te są przekazywane kierownictwu (w postaci dokumentu elektronicznego), które akceptuje (lub nie) wskazane ryzyka (poprzez złożenie swojego podpisu na tym dokumencie).

Jeśli kierownictwo akceptuje ryzyka pod warunkiem ich złagodzenia to konieczne jest zdefiniowanie działań łagodzących ryzyko. Działania te mogą powodować zmniejszenie prawdopodobieństwa lub dotkliwości materializacji zagrożenia. Zaobserwowano przypadki, w których działania mitygujące są wyznaczane w sposób nadmiarowy, mimo braku rzeczywistej potrzeby ich wdrożenia. W takich sytuacjach dochodzi m.in. do powielania istniejących procedur w ramach nowych działań mitygujących lub do formułowania ogólnikowych zaleceń, które nie prowadzą do rzeczywistych zmian w funkcjonowaniu organizacji. Przyczyny takiego stanu rzeczy obejmują m.in. brak świadomości, że etap mitygacji nie zawsze jest obligatoryjny, presję na udokumentowanie aktywności w zakresie zarządzania ryzykiem, a także rutynowe, niekrytyczne podejście do wypełniania formularzy oceny ryzyka. Na tej podstawie zidentyfikowano potrzebę uwzględnienia etapu formułowania działań mitygujących w planowanej metodzie zarządzania ryzykiem (rozdział 6.10).

Jeśli potrzeba opracowania działań łagodzących ryzyko nie została wskazana (ryzyka są akceptowane bez łagodzenia), wówczas określony indeks ryzyka jest ostateczny. Jeśli ustalono działania łagodzące ryzyko, ryzyko musi zostać ponownie ocenione. Ryzyko, które jest produktem tego działania, nazywane jest w literaturze ryzykiem rezydualnym. Najczęściej analizy prowadzone na lotnisku Chopina są uzupełniane o propozycje działań łagodzących przez specjalistę prowadzącego proces przed udostępnieniem wyników pierwszej oceny.

W związku z tym rzadko zdarza się, aby kierownictwo odmówiło akceptacji ryzyka, ponieważ zwykle ryzyko jest obniżane do możliwie niskiego poziomu przed jego przekazaniem do decydentów.

Wraz z ostatecznymi indeksami ryzyka formułowane są wnioski, które pomagają kierownictwu podejmować decyzje, przyczyniające się do poprawy (lub przynajmniej nie osłabiające) bezpieczeństwa operacji lotniskowych. Ponadto, postępując zgodnie z opisanym procesem, można sformułować zalecenia dotyczące poprawy systemu zarządzania bezpieczeństwem, które można wykorzystać podczas przeprowadzania kolejnych ocen ryzyka (celem jest ulepszenie SMS). Ze względu na liczbę zadań, presję czasu i nieobowiązkowość tego elementu, nieczęsto korzysta się z tej możliwości doskonalenia SMS. Odnotowano możliwy potencjał rozwoju SMS poprzez uzupełnienie planowanej metody o tę funkcję (rozdział 6.12).

Istotne jest udokumentowanie przeprowadzonej oceny ryzyka w sposób wiarygodny. Dokumentacja ta jest wprowadzana do SMS i stanowi jedno ze źródeł danych dla przyszłych ocen ryzyka. Istotne jest uwzględnienie wyników każdej przeprowadzonej oceny w rejestrze ryzyka lotniska (który jest wykorzystywany jako dane wejściowe w procesie oceny ryzyka). Trudności w realizacji tego etapu wynikają z faktu prowadzenia obszernego rejestru ryzyka w prostym pliku MS Office, bez wykorzystania bardziej zaawansowanych narzędzi.

4.1.2 Metody wykorzystywane na Lotnisku Chopina w Warszawie

W 2022 r. przeprowadzono wywiady dotyczące metod zarządzania ryzykiem stosowanych na Lotnisku Chopina w Warszawie (Wywiad nr 1), (Wywiad nr 2).

Ustalono, że stosowanych jest kilka z metod proponowanych przez EASA (GM1 ADR.OR.D.005(b)(3)). Najczęściej używane są metody wymienione w Safety Management Manual publikowanym przez ICAO. Poza najnowszą, czwartą edycją tego podręcznika, sięga się także po poprzednią, w której zagadnienia dotyczące SRM (safety risk management) są szerzej opisane (Wywiad nr 1). Do oceny ryzyka na Lotnisku Chopina stosuje się matryce, które są opisane w tym dokumencie. Ich stosowanie jest korzystne, ponieważ są one powszechnie stosowane w lotnictwie, co np. ułatwia komunikację z innymi organizacjami, z którymi lotnisko współpracuje. Ponadto stosowana jest burza mózgów (szczególnie do identyfikacji zagrożeń) oraz HAZOP (jako metoda pomocnicza). Najczęściej jednak stosowana jest metoda delficka, tj. ocena ekspercka. Wyniki wywiadu wskazują, że ze względu na to, że jest jedną z najłatwiejszych i najszybszych metod, jest stosowana najczęściej. Opiera się na opinii i doświadczeniu jednego człowieka. Wynika to z częstego braku danych dot. naszego lotniska, ponieważ, szczęśliwie rzadko dochodziło do niebezpiecznej

materializacji zagrożeń. Posiadanie danych, konkretnych wartości dotyczących liczby i przebiegu zdarzeń to niewątpliwie czynnik wspierający dokładność szacunku przy ocenie ryzyka. Eksperci podkreślają, że należy pamiętać, że ta metoda może być obciążona dużym ryzykiem błędu. Jedyną stosowaną metodą ilościową na Lotnisku Chopina są wskaźniki bezpieczeństwa.

Według wskazania jednego z ekspertów (Wywiad nr 1) metoda bow-tie jest warta szerszego zastosowania w organizacji, którą zarządza; zaznaczył on jednak, że nie należy jej łączyć z matrycami ICAO, ponieważ utrudniałoby to porównywanie wyników poszczególnych analiz ryzyka. Należałoby zapewnić, że do podobnych zagadnień stosuje się tę samą metodę. Przed rozpoczęciem stosowania bow-tie na pewno konieczne byłoby dokonanie analizy, aby świadomie zdecydować dla jakich zagadnień której metody należy używać.

Wskazał także na potrzebę doskonalenia ilościowych metod, zaznaczając, że cały system zarządzania bezpieczeństwem wymaga nieustannego doskonalenia. Wskazał, że zarządzający bezpieczeństwem miewają wątpliwości, czy na pewno przyjęte SPI dają prawdziwy obraz stanu bezpieczeństwa. Mierzac ten sam element „z różnej strony” można wysnuć różne wnioski. Zastrzeżono jednak, że dla SMS częste zmiany SPI nie są korzystne, ponieważ prowadzą do utraty wartości, jaką jest posiadanie historycznych danych. Ewentualne zmiany SPI Lotniska Chopina wymagałyby dogłębnej analizy. Na podstawie swoich doświadczeń ekspert potwierdził (Wywiad nr 1), że SPI narzucone przez Krajowy Plan Bezpieczeństwa publikowany przez Urząd Lotnictwa Cywilnego, dają dość ogólny obraz stanu bezpieczeństwa i nie są wystarczające dla organizacji takiej jak Lotnisko Chopina. Zaznaczył, że wynika to z faktu, że muszą one pasować do wszystkich lotnisk.

Zidentyfikowano także brak rzetelnych przeglądów bezpieczeństwa, które byłyby danymi wejściowymi do SRM. Aby przeglądy były wartościowe, muszą się w nie zaangażować przedstawiciele obszarów, które są przeglądane (a nie tylko, jak dzieje się to dziś, personel zarządzający bezpieczeństwem). Zachowanie ‘no blame culture’ (kultura braku obwiniania, zakładająca, że w sytuacjach popełnienia błędów nie koncentruje się na wskazywaniu winnych, lecz na zrozumieniu przyczyn i zapobieganiu podobnym sytuacjom w przyszłości) oraz przekonanie personelu, że dogłębny przegląd jest wspólną korzyścią pozwoliłby na uzyskanie wartościowych danych dot. stanu bezpieczeństwa. Wskazano także na ogólny problem w branży z rozróżnianiem kontroli, audytów i przeglądów (Wywiad nr 1).

Identyfikacja zagrożeń odbywa się z użyciem źródeł wewnętrznych jak i zewnętrznych. Można wśród nich wyodrębnić zarówno metody reaktywne, proaktywne, jak i predyktywne. Poniższa lista wskazuje na podejmowane w tym zakresie działania (Wywiad nr 2):

- Monitorowanie rutynowych operacji (codzienna analiza raportów służb lotniskowych),
- Dobrowolne i obowiązkowe systemy zgłaszania zdarzeń dotyczących bezpieczeństwa,
- Przeglądy bezpieczeństwa, kontrole oraz audyty (wykonywane przez wewnętrzną komórkę ds. monitorowania zgodności, jak również kontrole zewnętrzne – prowadzone przez ULC lub inne organizacje)
- Badanie zdarzeń (wewnętrzne lub wyniki badań udostępniane przez inne organizacje),
- Pozyskiwanie informacji od użytkowników lotniska, w tym wymiana doświadczeń podczas spotkań zespołów ds. bezpieczeństwa,
- Wymiana informacji z innymi podmiotami poza określonymi strukturami organizacyjnymi,
- Proces zarządzania zmianą.

Ekspert (Wywiad nr 2) wnioskuje na podstawie analiz dokumentacji SMS, że najczęściej wykorzystywaną strategią redukcji ryzyka jest jego segregacja lub minimalizacja, podczas gdy strategia unikania występuje najrzadziej. Zauważalnie ograniczona rola strategii unikania może wynikać z faktu, iż potencjalnie ryzykowne działania są identyfikowane i eliminowane już na etapie wstępnej analizy – w oparciu o obowiązujące przepisy, wytyczne oraz ugruntowane procedury operacyjne – przez co ich unikanie nie zawsze znajduje odzwierciedlenie w udokumentowanej formie, mimo że de facto bardzo często jest stosowane, czasem w sposób nieuświadomiony.

Wyżej przytoczone wypowiedzi ekspertów będących przedstawicielami Lotniska Chopina w 2022 r. (Wywiad nr 1), (Wywiad nr 2) potwierdzają, że najczęściej wykorzystywaną metodą oceny ryzyka jest ocena ekspercka i wskazują, że korzystnym dla bezpieczeństwa byłoby ograniczenie jej stosowania lub taka modyfikacja, aby ograniczyć ryzyko błędu ludzkiego. Potwierdziły także rozpowszechnienie matryc oceny ryzyka proponowanych przez ICAO. Wskazuje się także na potrzebę rozszerzenia wachlarza stosowanych metod, zapewniając jednak by zapewnione były standardy w zarządzaniu ryzykiem dla podobnych zagadnień. Rozmówcy wskazali także na potrzebę zaangażowania przedstawicieli komórek realizujących procesy oceniane przez SMS, aby wyniki zarządzania bezpieczeństwem były oparte na wiarygodnych danych. Opinie ekspertów w tym zakresie uwzględniono przy tworzeniu metody zarządzania ryzykiem, w szczególności zdecydowano o zachowaniu

stosowania matryc do oceny ryzyka opracowanych przez ICAO (rozdział 6.9) i o wdrożeniu innych niż ocena ekspercka metod oceny ryzyka (np. proponowanej przez jednego z ekspertów metody bow-tie) w rozdziale 6.3.

4.1.2.1 Stosowanie wskaźników bezpieczeństwa

Ze względu na to, że narzędzie zarządzania ryzykiem, jakim są wskaźniki poziomu bezpieczeństwa, jest jedynym obligatoryjnym do stosowania na lotnisku oraz zważając na ustalenia z analiz empirycznych wskazujące, że jest to jedyna ilościowa technika stosowana na Lotnisku Chopina, zdecydowano o przeprowadzeniu pogłębionej analizy w tym zakresie. Narzędzie to służy przede wszystkim do monitorowania poziomu bezpieczeństwa i oceny osiągnięcia celów poziomu bezpieczeństwa (safety performance target) oraz oceny osiągnięcia celów bezpieczeństwa (safety objective). Przywołane procesy mieszczą się w innym niż zarządzanie ryzykiem komponencie SMS – stanowią narzędzie monitorowania i mierzenia poziomu bezpieczeństwa. Wskaźniki mogą jednak być wykorzystywane do procesów zarządzania ryzykiem, np. identyfikacji zagrożeń lub monitorowania skuteczności działań mitygujących ryzyko. Na Lotnisku Chopina w Warszawie mierzy się wskaźniki poziomu bezpieczeństwa wynikające z bieżącego Krajowego Planu Bezpieczeństwa publikowanego przez Urząd Lotnictwa Cywilnego, a także dodatkowe, lokalnie ustalone wskaźniki.

Przeprowadzono analizy przypadków przekroczenia poziomów alarmowych (poziom alarmowy to ustalony próg (wartość graniczna), którego przekroczenie sygnalizuje, że poziom bezpieczeństwa w danym systemie, procesie lub obszarze działalności spada poniżej wartości akceptowalnej i wymaga natychmiastowej reakcji lub interwencji) wskaźników Lotniska Chopina:

- przekroczenie poziomu alarmowego kilku wskaźników w II kwartale 2020 r.,
- przekroczenie III poziomu alarmowego dotyczącego liczby zderzeń ptaków ze statkami powietrznymi w przeliczeniu na 10 000 operacji lotniczych w lipcu 2022,
- przekroczenie III poziomu alarmowego ustalonego dla wartości wskaźników dot. FOD.

Ponadto przeprowadzono wywiady ze specjalistami zajmującymi się liczeniem i raportowaniem wartości SPI z wielu polskich lotnisk oraz prowadzono obserwację uczestniczącą w trakcie warsztatów organizowanych przez Urząd Lotnictwa Cywilnego m. in. z zakresu raportowania wartości wskaźników bezpieczeństwa.

Na tej podstawie ustalono, że obraz bezpieczeństwa wynikający z wartości wskaźników bezpieczeństwa może być zafałszowany ze względu na:

- Konstrukcję wskaźnika, opierającą się na średniej oraz odchyleniu standardowym liczonych dla trzech poprzednich okresów. Na skutek takiej konstrukcji wskaźnika, okoliczności powodujące nagłą zmianę liczby operacji lub liczby zdarzeń, wynikające z przyczyn niezależnych od Zarządzającego lotniskiem, mogą mieć duży wpływ na wartości poziomów alarmowych, a tym samym powodować ich zbyt późne lub zbyt szybkie aktywacje.
- Zmiany w sposobie raportowania (cykliczności raportowania). Poziom alarmowy ustalany na podstawie danych raportowanych miesięcznie nie może być stosowany dla danych raportowanych kwartalnie. Zmiana cykliczności raportowania wartości wskaźnika stanowi fundamentalną zmianę tego wskaźnika, uniemożliwiającą korzystanie z jego danych historycznych.
- Okoliczności niespodziewane, np. pandemia COVID-19, przekładająca się na długotrwałe, znaczące ograniczenie liczby operacji lotniczych. Niska liczba operacji może powodować niekorzystne dla pomiarów statystycznych ograniczenie próby badawczej, a tym samym zakłócić proces z uwagi na efekt prawa małych liczb².
- Nieprecyzyjnie określone zasady uznawania zdarzenia jako zaliczanego do wskaźnika. Występują liczne i fundamentalne różnice w zrozumieniu definicji poszczególnych wskaźników bezpieczeństwa.

Trzecią ze wskazanych przyczyn potwierdza zapis Załącznika E do Krajowego Planu Bezpieczeństwa 2019 – 2022: *wychylenia niektórych wskaźników spowodowane są pojedynczymi zdarzeniami, które miały miejsce w podmiotach o niewielkiej liczbie operacji lub występowały pojedynczo na przestrzeni całego przedziału czasu.*

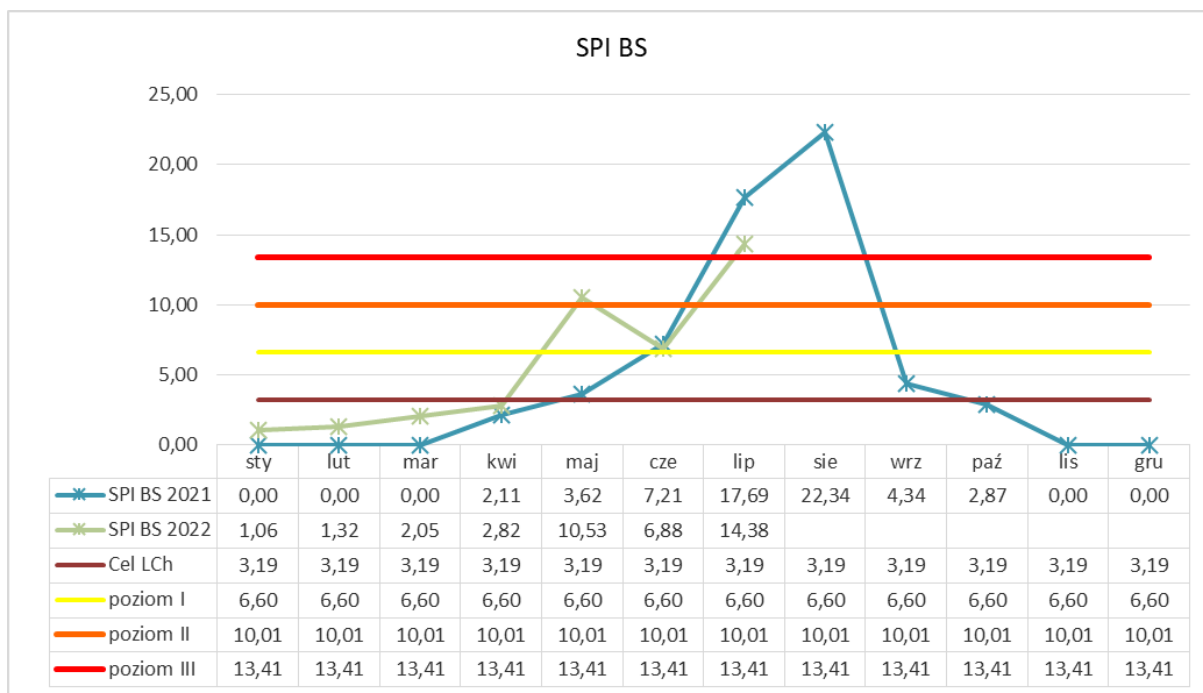
Z kolei autorzy artykułu (Kobaszyńska-Twardowska i Gill, 2025) potwierdzają, że opieranie poziomów alarmowych na zmieniających się danych może prowadzić do błędnych wniosków dot. poziomu bezpieczeństwa. Każda duża (znacznie większa w stosunku do pozostałych) wartość SPI, nawet występująca pojedynczo w analizowanym okresie, znacznie podnosi poziomy alarmowe, co przekłada się na potencjalnie błędne wnioski dotyczące stanu bezpieczeństwa (pomimo wzrostu liczby zdarzeń monitorowanych za pomocą danego wskaźnika poziom alarmowy może być nieprzekroczony).

² Efekt prawa małych liczb polega na błędnym przekonaniu, że małe próby statystyczne (niewielkie liczby danych) będą dobrze odzwierciedlały właściwości całej populacji — czyli że "mała próbka reprezentuje populację równie dobrze jak duża". To złudzenie prowadzi do przeszacowywania znaczenia przypadkowych wyników (Tversky i Kahneman, 1971).

Poniżej omówiono kilka analizowanych przykładów.

Analizując wartości wskaźników bezpieczeństwa dot. II kwartału 2020 r. ustalono, że przekroczenie poziomów alarmowych (lub zbliżenie się do ich wartości) wynikało ze znacznego spadku liczby operacji lotniczych (związanego z obostrzeniami obowiązującymi w związku z zagrożeniem epidemicznym COVID-19), w stosunku do liczby operacji w okresie, na podstawie którego zostały ustanowione poziomy alarmowe (poziomy na kolejny okres – np. rok wyznacza się na podstawie danych za okres wcześniejszy, jak czytamy w Załączniku E do Krajowego Planu Bezpieczeństwa 2019 – 2022 (ULC, 2019). Ponadto zwrócono uwagę na sposób przekazywania wartości wskaźników bezpieczeństwa, a mianowicie raportowanie kwartalne z podziałem miesięcznym w miejsce kwartalnego bez podziału miesięcznego. Przykładowo, wskaźnik powiązany z kolizjami naziemnymi, którego wartość w poszczególnych miesiącach II kwartału 2020 r. wynosiła: kwiecień - 0, maj - 4,1, czerwiec – 0; w przeliczeniu na liczbę operacji z całego kwartału wynosi 2,18. Wartość 2,18 nie przekracza III poziomu alarmowego określonego w Załączniku E do Krajowego Planu Bezpieczeństwa 2019 –2022, jednak wartość majowa owszem. Zważając, że poziomy alarmowe zostały wyznaczone na podstawie dotychczasowych danych (przekazywanych w podziale na kwartały), stwierdza się, że niemiarodajnym jest porównywanie danych obecnych (przekazywanych w podziale na miesiące) do tych poziomów alarmowych.

W lipcu 2022 roku odnotowano przekroczenie III poziomu alarmowego dla wskaźnika liczby zderzeń z ptakami w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych (SPI BS). Zachowanie wskaźnika w okresach poprzedzających, jak również w odniesieniu do 2021 roku zostało zobrazowane na wykresie (Rysunek 14).



Rysunek 14 Wartości wskaźnika bezpieczeństwa „liczba zderzeń z ptakami w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych” Lotniska Chopina w Warszawie w 2022 r. (źródło: Polskie Porty Lotnicze S. A.).

Poziomy bezpieczeństwa widniejące na wykresie oparte są na średniej za poprzednie 3 lata, uzupełnionej o odchylenie standardowe zgodnie z zapisami Instrukcji Operacyjnej Lotniska Chopina:

- I poziom = „Średnia 2018-2021” + odchylenie standardowe
- II poziom = „Średnia 2018-2021” + 2 x odchylenie standardowe
- III poziom = „Średnia 2018-2021” + 3 x odchylenie standardowe

Dane statystyczne odnośnie do liczby zderzeń oraz liczby zderzeń w oparciu o liczbę operacji z poprzedzających 7 lat kształtują się w sposób przedstawiony w Tabeli 21.

Tabela 21 Liczba zderzeń z ptakami oraz wartości wskaźnika „liczba zderzeń z ptakami w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych” Lotniska Chopina w Warszawie od 2015 r. do 2022 r. (źródło: Polskie Porty Lotnicze S. A.).

Miesiąc	Liczba zderzeń SP z ptakami - bird strikes									SPI BS							
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
sty	5	2	2	2	1	0	0	1		4,65	1,84	1,61	1,45	0,67	0,00	0,00	1,06
lut	2	1	1	0	1	0	0	1		1,97	0,94	0,87	0,00	0,73	0,00	0,00	1,32
mar	10		3	3	2	1	0	2		8,58	0,00	2,27	2,07	1,31	1,22	0,00	2,05
kwi	9	4	5	6	2	1	1	3		7,83	3,22	3,77	4,06	1,26	10,29	2,11	2,82
maj	3	11	5	8	5	0	2	14		2,37	8,12	3,39	4,97	2,94	0,00	3,62	10,53
cze	14	9	7	9	3	0	6	10		10,57	6,17	4,51	5,25	1,75	0,00	7,21	6,88
lip	15	20	16	7	5	9	19	21		11,23	13,74	9,74	3,90	2,75	13,24	17,69	14,38
sie	8	21	16	6	10	7	26			6,15	14,17	9,62	3,29	5,53	8,24	22,34	
wrz	8	4	5	1	4	8	5			6,15	2,78	3,05	0,56	2,27	10,41	4,34	
paź	8	4	1	2	1	1	3			6,62	2,92	0,63	1,19	0,58	1,57	2,87	
lis	2	5	1	1	2	0	0			1,88	3,99	0,73	0,68	1,31	0,00	0,00	
gru	4	5		0	3	1	0			3,88	4,07	0,00	0,00	1,95	2,12	0,00	
Suma	88	86	62	45	39	28	62	52		6,18	5,52	3,58	2,38	1,99	3,45	6,46	6,51

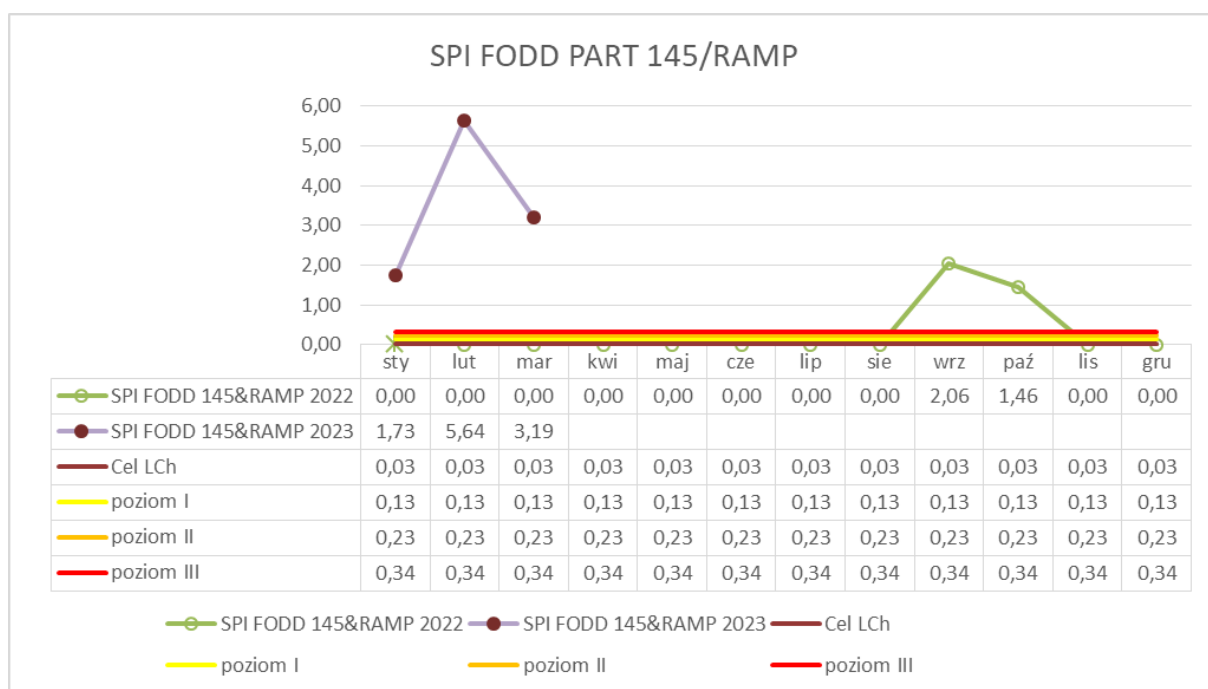
Zaobserwowano, że znacznie wyższe wartości SPI BS, niż w lipcu 2022 r., wystąpiły w lipcu oraz sierpniu poprzedniego roku. Sierpień 2021 r. był miesiącem, kiedy bezwzględna liczba zderzeń była najwyższa w dotychczas prowadzonej statystyce. Jednak wówczas

przekroczenie III poziomu alarmowego było nieznaczne i miało miejsce tylko w odniesieniu do sierpnia - III poziom alarmowy na koniec III kwartału 2021 r. wynosił 20,6 (ULC, 2021). Potwierdza to wniosek, że opieranie poziomów alarmowych na zmieniających się danych może prowadzić do błędnych wniosków dot. poziomu bezpieczeństwa.

Od sierpnia 2022 odnotowane zostały (z wyłączeniem listopada/grudnia) przekroczenia poziomów alarmowych dla wskaźników liczby zdarzeń dotyczących FOD w odniesieniu do liczby operacji lotniczych. Dotyczy to zarówno „Liczby zidentyfikowanych zdarzeń z powodu FOD”, jak również „Liczby zdarzeń FOD związanych z obsługą techniczną/naziemną statków powietrznych”. Zachowanie wskaźników zostało zobrazowane na wykresach (Rysunek 15, Rysunek 16).



Rysunek 15 Wartości wskaźnika bezpieczeństwa „Liczba zdarzeń z powodu FOD w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych” Lotniska Chopina w Warszawie w 2022 r. (źródło: Polskie Porty Lotnicze S. A.).



Rysunek 16 Wartości wskaźnika bezpieczeństwa „Liczby zdarzeń FOD związanych z obsługą techniczną/naziemną statków powietrznych w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych” Lotniska Chopina w Warszawie w 2022 r. (źródło: Polskie Porty Lotnicze S. A.).

Dane statystyczne odnośnie do liczby zdarzeń oraz liczby zdarzeń w oparciu o liczbę operacji z poprzedzających 7 lat przedstawiono w Tabelach 22 oraz 23.

Tabela 22 Liczba zdarzeń z powodu FOD oraz wartości wskaźnika „Liczba zdarzeń z powodu FOD w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych” Lotniska Chopina w Warszawie od 2015 r. do 04.2023 r. (źródło: Polskie Porty Lotnicze S. A.)

Miesiąc	Liczba zidentyfikowanych zdarzeń z powodu FOD										SPI FODD (foreign object debris damage)									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023		
sty					0	0	0	0	2					0,00	0,00	0,00	0,00	1,73		
lut					0	0	0	0	2					0,00	0,00	0,00	0,00	1,88		
mar					0	0	0	1	4					0,00	0,00	0,00	1,03	3,19		
kwi					0	0	0	0	2					0,00	0,00	0,00	0,00	1,51		
maj					0	0	0	0						0,00	0,00	0,00	0,00			
cze					0	0	0	0						0,00	0,00	0,00	0,00			
lip					0	0	1	0						0,00	0,00	0,93	0,00			
sie					0	0	2	0						0,00	0,00	1,72	0,00			
wrz					0	0	1	3						0,00	0,00	0,87	2,06			
paź					0	0	0	2						0,00	0,00	0,00	1,46			
lis					0	1	0	0						0,00	2,27	0,00	0,00			
gru					0	0	0	1						0,00	0,00	0,00	0,85			
Suma	0	0	0	0	0	1	4	7	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,42	0,48	2,09		

Tabela 23 Liczba zdarzeń FOD związanych z obsługą techniczną / naziemną statków powietrznych oraz wartości wskaźnika „Liczby zdarzeń FOD związanych z obsługą techniczną / naziemną statków powietrznych w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych” Lotniska Chopina w Warszawie od 2015 r. do 04.2023 r. (źródło: Polskie Porty Lotnicze S. A.)

Miesiąc		Liczba zidentyfikowanych zdarzeń z powodu FOD (technicznych i związanych z obsługą naziemną / ground-handlingowych).									SPI FOD PART145/RAMP (zdarzenie FOD wynikające z obsługi technicznej/naziemnej)									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
sty					0	0	0	0	2						0,00	0,00	0,00	0,00	1,73	
lut					0	0	0	0	6						0,00	0,00	0,00	0,00	5,64	
mar					0	0	0	0	4						0,00	0,00	0,00	0,00	3,19	
kwi					0	0	0	0	3						0,00	0,00	0,00	0,00	2,27	
maj					0	0	0	0	0						0,00	0,00	0,00	0,00		
cze					0	0	0	0	0						0,00	0,00	0,00	0,00		
lip					0	0	0	0	0						0,00	0,00	0,00	0,00		
sie					0	0	0	0	0						0,00	0,00	0,00	0,00		
wrz					0	0	0	0	3						0,00	0,00	0,00	2,06		
paź	1				0	0	0	0	2						0,00	0,00	0,00	1,46		
lis					0	0	0	0	0						0,00	0,00	0,00	0,00		
gru		2			1	0	0	0	0						0,65	0,00	0,00	0,00		
Suma	1	2	0	0	1	0	0	0	5	15	0,07	0,13	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,34	3,13	

Przekroczenie poziomu alarmowego nastąpiło bardzo szybko, ponieważ jego wartość była bardzo niska z uwagi na praktycznie całkowity brak aktywności wskaźnika w przeszłości. Jest to kolejny przykład potwierdzający, że opieranie poziomów alarmowych na zmieniających się danych może prowadzić do błędnych wniosków dot. poziomu bezpieczeństwa.

W trakcie prowadzonych badań zidentyfikowano także istotne rozbieżności pomiędzy przedstawicielami lotnisk w zakresie interpretacji definicji wskaźników bezpieczeństwa. Dyskusje wywołuje na przykład wskaźnik „liczba zdarzeń związanych z rozlaniem paliwa / 10 000 operacji”, który jest doprecyzowany o definicję operacji; brak jest jednak definicji rozlania paliwa. Skutkuje to sytuacją, w której rozlewisko o określonej powierzchni i w określonym miejscu na lotnisku, wg SMS jednego lotniska zostanie wliczone do wskaźnika, a na innym nie. Ponadto zrozumienie tego wskaźnika przez przedstawicieli ULC również jest odmienne niż zrozumienie części lotnisk. Sytuacja ta prowadzi do utraty wartości gromadzonych danych dot. bezpieczeństwa, a w szczególności może prowadzić do błędnego funkcjonowania procesów zarządzania ryzykiem na lotniskach. Przedstawiciel lotniska Chopina (Wywiad nr 2) wskazał, że na skutek podejścia bardziej restrykcyjnego niż dotychczasowe jednego z pracowników nastąpiło „ożywienie wskaźnika” od sierpnia 2022, co w sposób oczywisty spowodowało wzrost wartości SPI dotychczas osiągających wartości zerowe.

Przeprowadzona analiza wykazała, że wskaźniki poziomu bezpieczeństwa obarczone są licznymi ograniczeniami. Uzyskane wyniki planuje się uwzględnić przy opracowywaniu proponowanej metody zarządzania ryzykiem (rozdział 6). Dostrzega się potencjał i celowość przeprowadzenia pogłębionych analiz konstrukcji wskaźników bezpieczeństwa oraz ustalania ich celów i/lub poziomów alarmowych, jednak ze względu na ograniczenia objętościowe niniejszego opracowania, nie zostały one w nim uwzględnione.

4.2 Zarządzanie ryzykiem w PAŻP

W celu w celu szerszego spojrzenia na problematykę poruszaną w pracy, przeprowadzono wywiad dotyczący metod stosowanych do zarządzania ryzykiem w Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej (Wywiad nr 3). PAŻP zapewnia służbę ruchu lotniczego na wszystkich lotniskach certyfikowanych wg przepisów UE w Polsce (w tym na Lotnisku Chopina), w związku z czym ma istotny wpływ na bezpieczeństwo tych lotnisk. Wielokrotnie proces zarządzania ryzykiem prowadzony na lotnisku angażuje przedstawicieli PAŻP (i odwrotnie), dlatego zdecydowano, że istotnym jest uwzględnienie tej organizacji w badaniach.

W PAŻP (Wywiad nr 3) w celu zarządzania ryzykiem stosuje się m. in. symulacje związane z pojemnościami, przepustowością, ograniczeniami przestrzeni powietrznych lotnisk

czy obciążeniem pracą kontrolerów ruchu lotniczego i informatorów służby informacji powietrznej. Ponadto korzysta się z analiz danych z baz zgłoszeń zdarzeń lotniczych oraz wskaźników bezpieczeństwa. Przeprowadza się także oceny eksperckie i burze mózgów. Stosowanie metod ilościowych jest bardziej obiektywne niż jakościowych, jednak ich stosowanie jest ograniczone ze względu na utrudniony dostęp do danych. Wskazano także (Wywiad nr 3), że czasami rozpatrywany problem jest na tyle nietypowy, że wymaga abstrakcyjnego podejścia, które wymaga kreatywnego podejścia ekspertów.

4.3 Identyfikacja i definiowanie zagrożeń w organizacjach lotniczych

Dokonano dodatkowej analizy potrzeb lotnisk związanych z procesem zarządzania ryzykiem, w szczególności tych związanych z identyfikacją i definiowaniem zagrożeń. Na przełomie 2021 i 2022 roku przeprowadzono badanie ankietowe dotyczące metod identyfikacji zagrożeń w lotnictwie cywilnym - jednego z procesów systemu zarządzania bezpieczeństwem. Zebrano odpowiedzi od 41 respondentów, spośród których 78% było przedstawicielami polskich lotnisk, niecałe 10% instytucji zapewniających służby żeglugi powietrznej, a pozostali reprezentowali organizację obsługową, agenta obsługi naziemnej, nadzór lotniczy, organizację zarządzającą ciągłą zdadnością do lotu oraz firmę oferującą usługi prawne dla lotnictwa. Doświadczenie oraz stanowiska respondentów w pracy zawodowej w branży lotniczej pozwalają określić badania jako wysoko wiarygodne:

- 27 % respondentów pracuje w branży od 4 do 10 lat; blisko połowa od 10 do 15 lat; a ponad 20% z nich ponad 16 lat;
- ponad 25% respondentów zajmuje stanowiska kierownicze w swoich organizacjach; ok. 30% z nich to personel operacyjny (pilot/ kontroler ruchu lotniczego/ mechanik lotniczy/ personel operacyjny lotniska); pozostali zajmują stanowiska specjalistyczne związane z lotniczą działalnością firmy.

Także doświadczenie organizacji, których przedstawicielami byli respondenci potwierdza wiarygodność badań: 72,5 % respondentów pracuje w firmach funkcjonujących w branży dłużej niż 20 lat; pozostali w działających od 4 do 19 lat. 40 respondentów potwierdziło, że SMS jest systemem formalnie (w sposób udokumentowany) wdrożonym w ich organizacjach. Celem przeprowadzonego badania było zdiagnozowanie problemów występujących w codziennej pracy organizacji lotniczych w zakresie identyfikowania zagrożeń.

W ankiecie poproszono przedstawicieli branży o ocenę funkcjonowania wybranych procesów SMS w ich organizacjach: procesu identyfikacji zagrożeń oraz zgłaszania informacji

dotyczących bezpieczeństwa. W tabeli (Tabela 24) zaprezentowano skalę przyjętą do dokonania tej oceny oraz wyniki ankiet.

Tabela 24 Ocena procesów identyfikacji zagrożeń oraz zgłaszania informacji dotyczących bezpieczeństwa (źródło: opracowanie własne).

	Proces identyfikacji zagrożeń	Proces zgłaszania informacji dotyczących bezpieczeństwa
1 obecny	Proces jest udokumentowany 8% wskazań	Proces jest udokumentowany 10% wskazań
2 odpowiedni	Proces jest udokumentowany i odpowiedni dla wielkości, charakteru i złożoności organizacji 38% wskazań	Proces jest udokumentowany i odpowiedni dla wielkości, charakteru i złożoności organizacji 28% wskazań
3 sprawny	Proces jest wykorzystywany i daje efekty - zagrożenia są identyfikowane i dokumentowane 41% wskazań	System zgłaszania jest łatwy w obsłudze; personel jest jego świadomy i wykonuje swoje obowiązki związane ze zgłaszaniem 46% wskazań
4 skuteczny	Nieprzerwanie i proaktywnie identyfikuje się zagrożenia; proces obejmuje wszystkich kluczowych pracowników i odpowiednie zainteresowane strony; zagrożenia są oceniane w sposób systematyczny i terminowy 13% wskazań	Personel ma zaufanie do systemu zgłaszania; decyzje kierownictwa są oparte na informacjach z systemu zgłaszania; strony trzecie są zaangażowane w system zgłaszania 15% wskazań

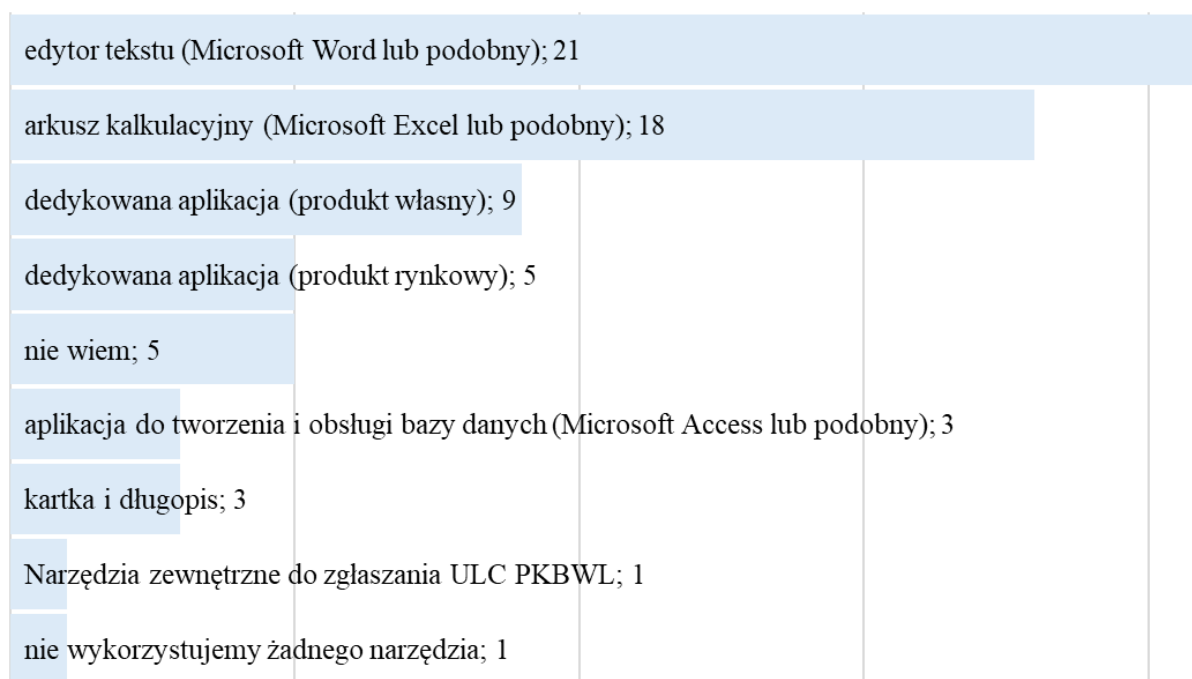
Oceny Respondentów wskazują, że istnieje możliwość i potrzeba dalszego rozwoju procesów identyfikacji zagrożeń i raportowania spraw związanych z bezpieczeństwem wdrożonych w organizacjach, które reprezentują.

Zebrano także informacje o metodach oraz narzędziach, które są wykorzystywane w procesie identyfikacji zagrożeń. Wskazując metody identyfikacji zagrożeń respondenci w dużej mierze mylili je ze źródłami danych o zagrożeniach. Rysunek 17 prezentuje udzielane odpowiedzi; pogrubieniem czcionki wyróżniono odpowiedzi wskazujące na metody identyfikowania zagrożeń (pozostałe to źródła danych o zagrożeniach).



Rysunek 17 Metod wykorzystywane do identyfikacji zagrożeń w badanych organizacjach lotniczych (źródło: opracowanie własne).

Rysunek 18 przedstawia podsumowanie odpowiedzi na pytanie o narzędzia wykorzystywane w procesie identyfikacji zagrożeń.



Rysunek 18 Narzędzia wykorzystywane do identyfikacji zagrożeń w badanych organizacjach lotniczych (źródło: opracowanie własne).

4.4 Potrzeby lotnisk w zakresie zarządzania ryzykiem

Zapytano respondentów o trudności występujące podczas identyfikacji zagrożeń. Poniżej wylistowano pozyskane odpowiedzi w kolejności od najczęściej wskazywanej:

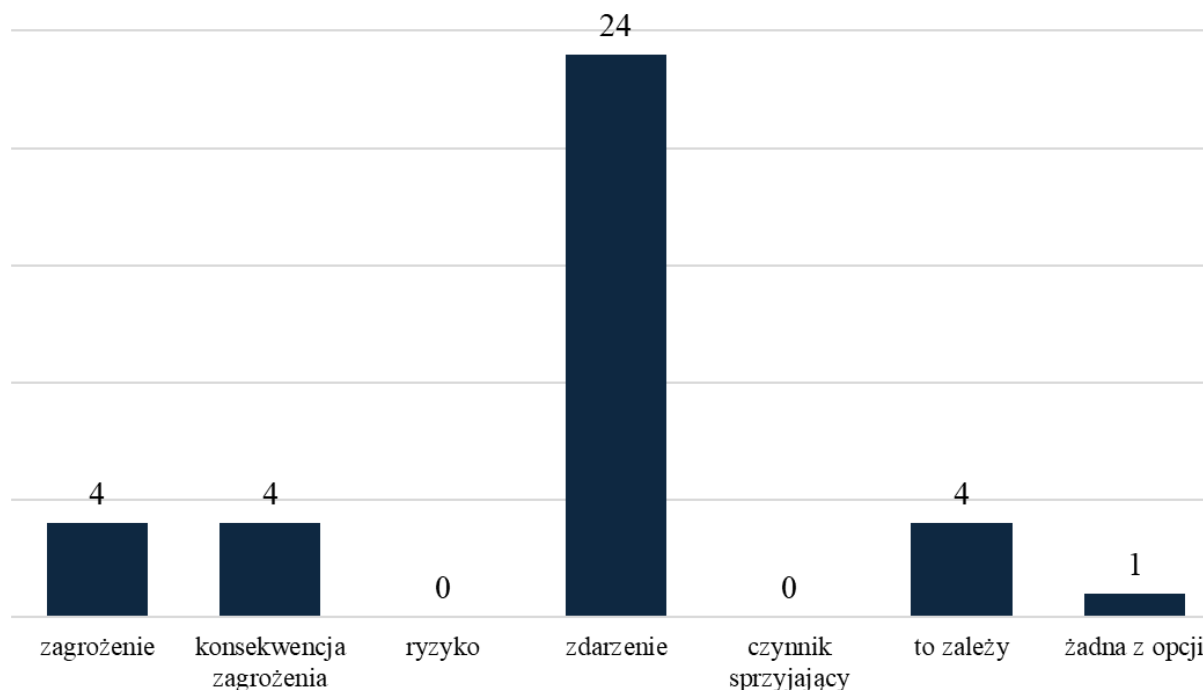
- brak zaangażowania kierownictwa w identyfikowanie zagrożeń (14 wskazań),

- brak zaangażowania personelu organizacji współpracujących w identyfikowanie zagrożeń (14 wskazań),
- określenie czy dane zagrożenie jest zagrożeniem operacyjnym (czy powinno być identyfikowane w ramach SMS) (11 wskazań),
- systematyczność identyfikowania zagrożeń (11 wskazań),
- brak porównania do identyfikowania zagrożeń w innych organizacjach (8 wskazań),
- określenie czy dane zagrożenie było już zidentyfikowane czy jest nowym (7 wskazań),
- brak zaangażowania personelu operacyjnego w identyfikowanie zagrożeń (7 wskazań),
- wskazywanie potencjalnych konsekwencji zagrożeń (6 wskazań),
- brak kompetencji/ odpowiedniego przeszkolenia osób uczestniczących w identyfikowaniu zagrożeń (6 wskazań),
- nazywanie (definiowanie) zagrożeń (5 wskazań),
- rozróżnianie zagrożeń i czynników sprzyjających (5 wskazań),
- rozróżnianie zagrożeń i konsekwencji ich wystąpienia (4 wskazania),
- utrzymanie aktualnego rejestru zagrożeń (4 wskazania),
- zachowanie tego samego stopnia szczegółowości podczas identyfikowania (określania) zagrożeń (3 wskazania),
- brak/ niewłaściwe standardy ogólnokrajowe dotyczące identyfikowania zagrożeń (2 wskazania),
- brak/ niewłaściwe narzędzie wykorzystywane do identyfikowania zagrożeń (1 wskazanie).

Dwie osoby stwierdziły, że identyfikowanie zagrożeń w ich organizacjach jest bezproblemowe.

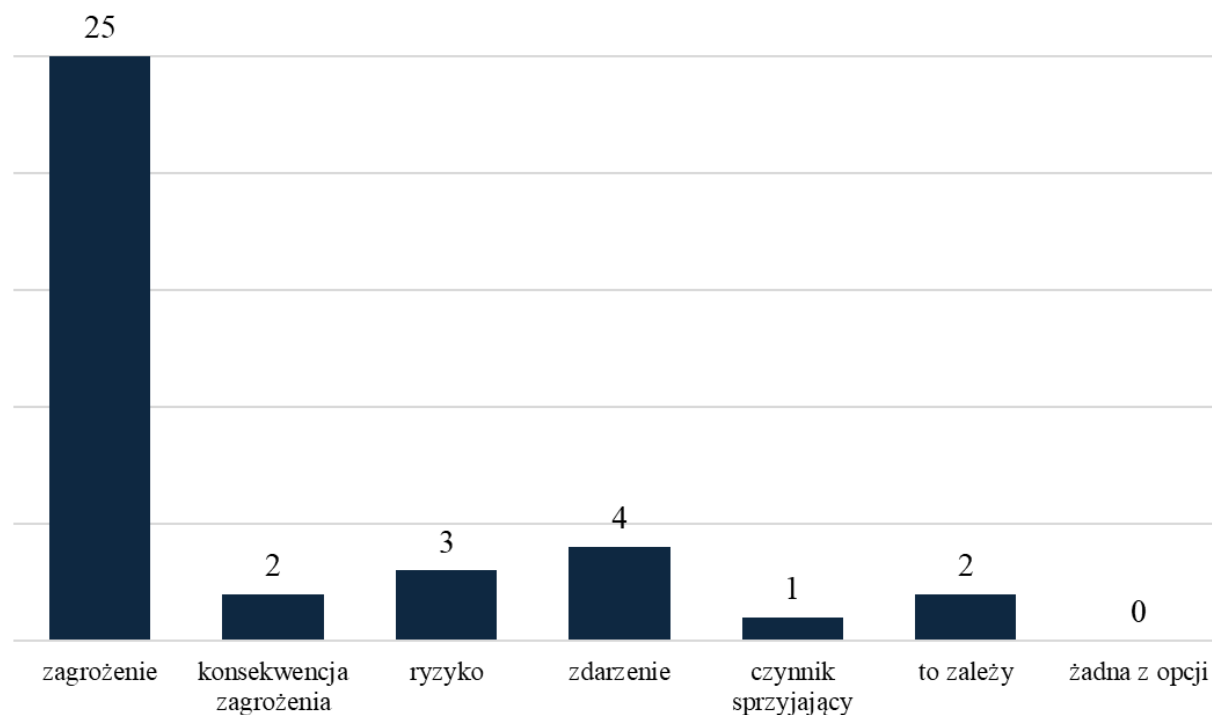
Częstym problemem w procesie identyfikacji zagrożeń jest klasyfikacja sytuacji/wydarzeń/okoliczności/przedmiotów mających wpływ na bezpieczeństwo. Zrozumienie pojęć: zagrożenie, konsekwencja, ryzyko, zdarzenie czy czynnik sprzyjający stanowi wyzwanie nawet dla doświadczonych specjalistów branży lotniczej. W celu analizy tego problemu poproszono respondentów o klasyfikację losowo wybranych przykładów. Spośród 10 wybranych przykładów tylko dla dwóch wskazanie respondentów jest zdecydowane. Respondenci w znacznej większości zaklasyfikowali „lądowanie statku powietrznego na lotnisku poza drogą startową w RESA (runway end safety area)” jako

zdarzenie (Rysunek 19). Może to wskazywać na brak wspólnego zrozumienia przytoczonych pojęć wśród przedstawicieli lotnisk.



Rysunek 19 Klasyfikacja „lądowanie statku powietrznego na lotnisku poza drogą startową w RESA (runway end safety area)” (źródło: opracowanie własne).

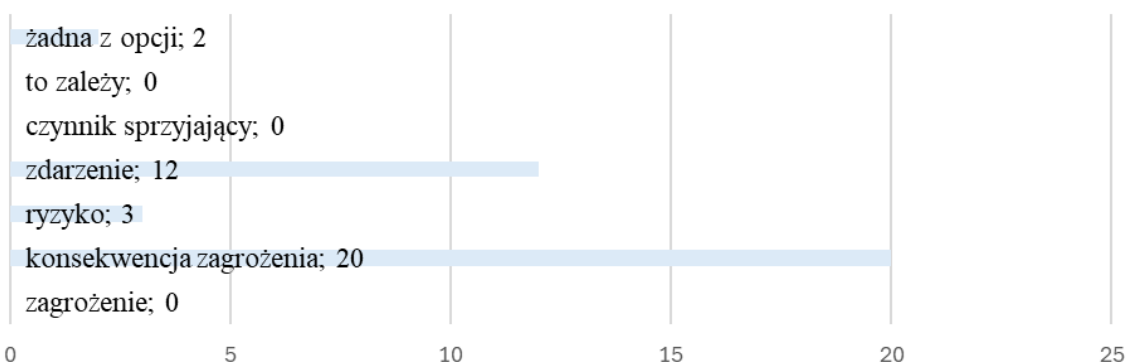
Drugim przykładem, w którym klasyfikacja jest zdecydowana jest „ciało obce (pojedynczy przedmiot $> 5\text{cm}$, $\leq 20\text{ cm}$) na drodze startowej” (Rysunek 20).



Rysunek 20 Klasyfikacja „ciało obce (pojedynczy przedmiot $> 5\text{cm}$, $\leq 20\text{ cm}$) na drodze startowej” (źródło: opracowanie własne).

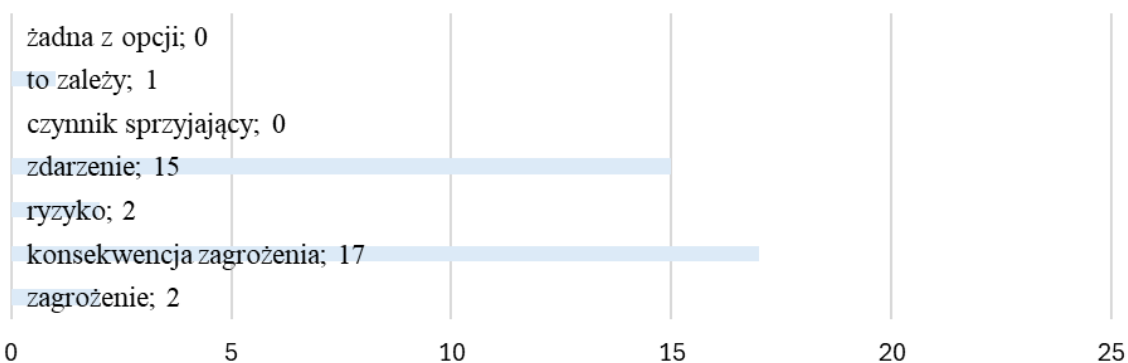
Kolejne przykłady były klasyfikowane w sposób bardziej niejednoznaczny, co przedstawiają Rysunki od 21 do 28. Warto zwrócić uwagę, że respondenci rzadko wybierali odpowiedź „to zależy”, co sugeruje, że poszczególne osoby nie miały wątpliwości do dokonanej przez siebie klasyfikacji. Jednak niektórzy Respondenci swoje wątpliwości (lub kontekst udzielonej odpowiedzi) wyjaśniali w polu na uwagi. Ustalono, że brak jest w branży wspólnego zrozumienia pojęć: zagrożenie, konsekwencja zagrożenia, ryzyko, zdarzenie i czynnik sprzyjający. Zidentyfikowano użyteczność uwzględnienia w planowanej metodzie mechanizmu weryfikacji poprawnego formułowania zagrożeń poddawanych analizie (rozdział 6.8.1).

śmierć pasażera z powodu pożaru silnika statku powietrznego
w wyniku jego uszkodzenia zassanym ciałem obcym w trakcie
kołowania do startu na drodze startowej



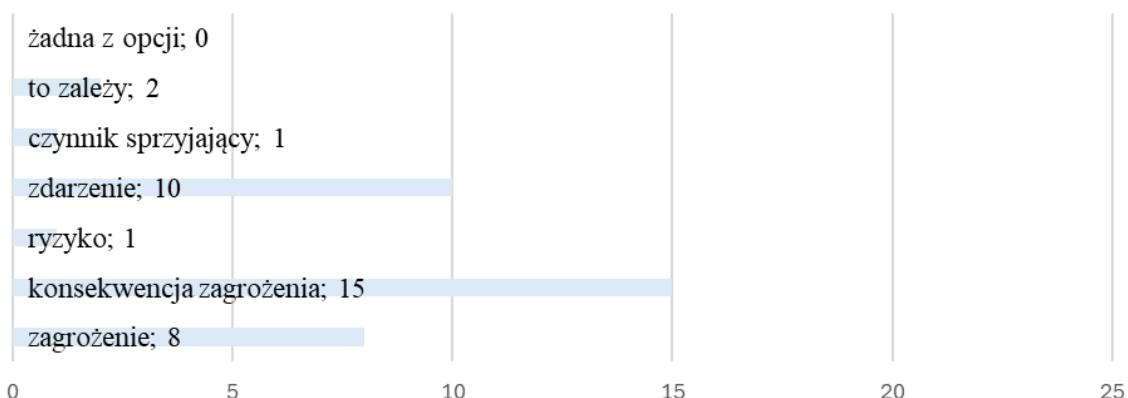
Rysunek 21 Przykład 1 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).

pożar silnika statku powietrznego w wyniku jego uszkodzenia
zassanym ciałem obcym w trakcie kołowania do startu na
drodze startowej



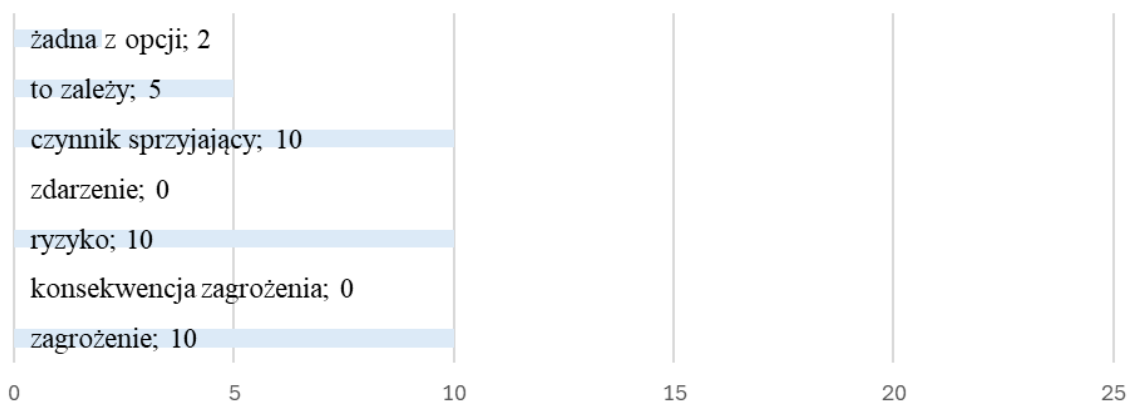
Rysunek 22 Przykład 2 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).

Zassanie do silnika statku powietrznego ciała obcego w trakcie kołowania do startu na drodze startowej



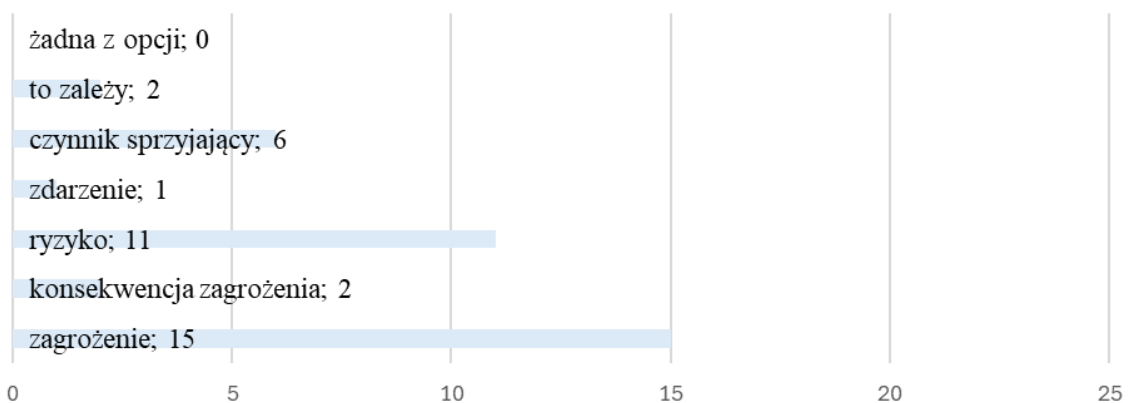
Rysunek 23 Przykład 3 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).

Prowadzenie prac remontowo-budowlanych na czynnym lotnisku użytku publicznego



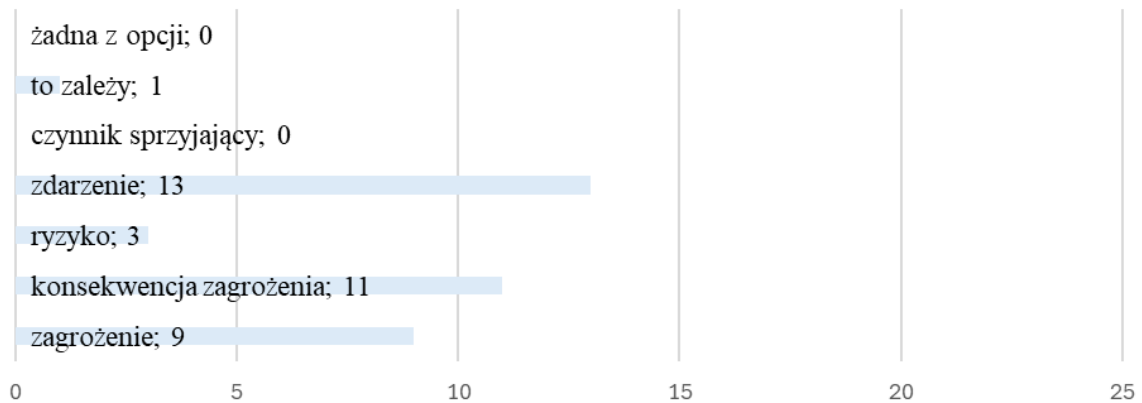
Rysunek 24 Przykład 4 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).

Prowadzenie obsługi naziemnej podczas występowania niekorzystnych zjawisk / warunków atmosferycznych



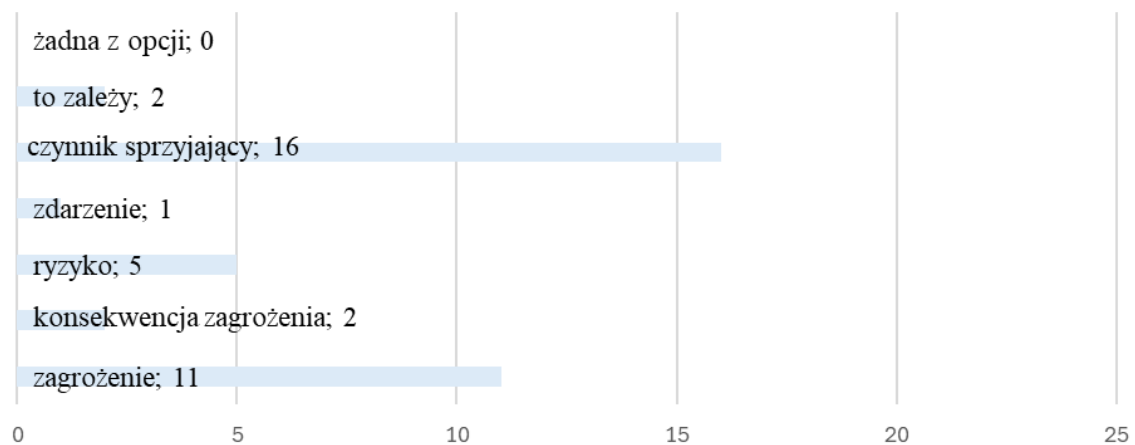
Rysunek 25 Przykład 5 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).

Uderzenie pioruna w statek powietrzny podczas obsługi naziemnej



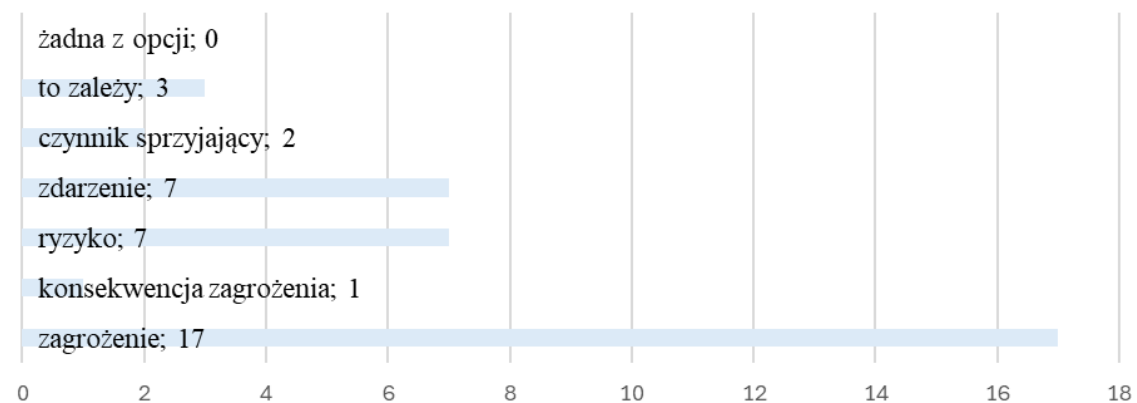
Rysunek 26 Przykład 6 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).

Nieefektywny proces szkoleniowy w organizacji lotniczej



Rysunek 27 Przykład 7 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).

Przeprowadzanie prób silników statku powietrznego w miejscu do tego nieprzeznaczonym



Rysunek 28 Przykład 8 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).

Ankieta została skonstruowana w taki sposób, że po dokonaniu klasyfikacji powyższych przykładów, serii szczegółowych pytań ich dotyczących oraz przypomnieniu definicji rozważanych pojęć Respondent miał możliwość dokonania ponownej klasyfikacji. Jeden z badanych skorzystał z tej możliwości: zmienił swoje odpowiedzi dotyczące 8 z 10 przykładów (niezmienione odpowiedzi dotyczyły ciała obcego na drodze startowej oraz zassania ciała obcego do silnika).

Jak wspomniano wcześniej, niektórzy Respondenci uzupełniali swoje odpowiedzi w sposób opisowy. Wybrane wypowiedzi zebrano w Tabeli 25.

Tabela 25 Wybrane uzasadnienia odpowiedzi Respondentów (źródło: opracowanie własne).

Przykład z badania	Wybrane uzasadnienia respondentów
Lądowanie statku powietrznego na lotnisku poza drogą startową w RESA (runway end safety area)	„W zależności od sytuacji, może to być traktowane zarówno jako zdarzenie (wymagające zgłoszenia), jako konsekwencja innego zdarzenia, jak i zagrożenie poddawane analizie.” „Lądowanie (rozumiane jako faza lotu zakończona dobiegiem na drodze startowej) skutkujące wypadnięciem poza koniec drogi startowej jest zarówno konsekwencją zagrożenia (np. Zanieczyszczenia drogi startowej), jak i jest zdarzeniem podlegającym obowiązkowi zgłoszenia, zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 376/2014.” „Zdarzenie (tu wyjazd poza rwy) rozumiem jako coś przewidywalnego, co może nastąpić w wyniku zidentyfikowanego zagrożenia (tu np. Śliski pas) i którego skutkiem (uszkodzenia maszyny, ofiary wśród pax) można zapobiegać lub je minimalizować (zapewnienie RESA)”
Przeprowadzanie prób silników statku powietrznego w miejscu do tego nieprzeznaczonym	„w zależności od sytuacji, może to być traktowane zarówno jako zdarzenie (wymagające zgłoszenia), jako czynnik sprzyjający, jak i zagrożenie poddawane analizie” „brak negatywnych skutków dla życia i zdrowia personelu lotniczego oraz pasażerów, statku powietrznego oraz infrastruktury lotniska.” „ma charakter zdarzenia bo się dokonało i mogło mieć niekorzystny wpływ na bezpieczeństwo” „coś, co stwarza potencjał do zaistnienia zdarzenia”
Nieefektywny proces szkoleniowy w organizacji lotniczej	„może być konsekwencją zdarzenia (np. Zwolnienia kadry instruktorskiej), zagrożeniem, czynnikiem sprzyjającym.”
Uderzenia pioruna w statek powietrzny podczas obsługi	„jest to konsekwencja zagrożenia jakim jest prowadzenie obsługi statku powietrznego w niekorzystnych warunkach atmosferycznych. Z opisu zdarzenia nie sposób określić czy zdarzenie samo w sobie wygenerowało jakieś konsekwencje.” „w zależności od sytuacji, może to być traktowane zarówno jako zdarzenie (wymagające zgłoszenia), jako czynnik sprzyjający, zagrożenie poddawane analizie.” „konsekwencją zagrożenia - zagrożeniem jest burza” „ryzyko, jakie może wystąpić w odpowiednich warunkach” „incydent, czyli zdarzenie.”

Przykład z badania	Wybrane uzasadnienia respondentów
Prowadzenie obsługi naziemnej podczas występowania niekorzystnych zjawisk /warunków atmosferycznych	„istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia negatywnych skutków, ale się nie wydarzyły.” „zagrożenie, które może doprowadzić do zdarzenia” „zdarzenie regulowane procedurami” „zagrożenie, czynnik sprzyjający”
Prowadzenie prac remontowo-budowlanych na czynnym lotnisku użytku publicznego	„Z zachowaniem wszelkich procedur bezpieczeństwa prowadzenie przedmiotowych prac jest bezpieczne.” „Szereg możliwych zagrożeń mogących mieć wpływ na bezpieczeństwo” „Może prowadzić do powstania zdarzenia” „Zagrożenie, czynnik sprzyjający”
Ciało obce (pojedynczy przedmiot > 5cm, ≤ 20 cm) na drodze startowej	„zagrożenie, zdarzenie konsekwencja zagrożenia czynnik sprzyjający” „przedmiot stanowi potencjalne zagrożenie”
Zassanie do silnika statku powietrznego ciała obcego w trakcie kołowania do startu na drodze startowej	„samo zassanie nie koniecznie musi spowodować zdarzenie ale na pewno jest czynnikiem sprzyjającym” „to już zdarzenie będące konsekwencją zagrożenia” „zagrożenie, zdarzenie, konsekwencja zagrożenia, czynnik sprzyjający” „zdarzenie wystąpiło”
Śmierć pasażera z powodu pożaru silnika statku po-wietrznego w wyniku jego uszkodzenia zassanym ciałem obcym w trakcie kołowania do startu na drodze startowej	„Konsekwencja czegoś, co już jest konsekwencją czegoś innego” „konsekwencja zdarzenia, jakim jest zassanie FOD” „konsekwencja zagrożenia”

Przytoczone odpowiedzi wskazują, że respondenci przyznają, że klasyfikacja podanych przykładów nie jest jednoznaczna i zależy od kontekstu, w którym się je rozpatruje. Większość odpowiedzi wskazuje jednak, że pojęcia są różnie rozumiane przez przedstawicieli branży; brak jest wspólnej interpretacji pojęć, których formalne definicje przytoczono poniżej:

- zagrożenie oznacza sytuację lub przedmiot z potencjałem możliwości spowodowania śmierci lub urazów ciała osoby, uszkodzeń sprzętu lub konstrukcji, straty materiału lub zmniejszenia możliwości wypełnienia przez osobę określonych funkcji (Parlament Europejski i Rada, 2014),
- konsekwencja zagrożenia wynik, który może zostać wywołany przez zagrożenie (ICAO, 2018),
- ryzyko oznacza przewidywane prawdopodobieństwo i dotkliwość konsekwencji lub skutków zagrożenia (ICAO, 2018),
- zdarzenie oznacza każde związane z bezpieczeństwem wydarzenie, które naraża na niebezpieczeństwo lub które — jeżeli nie podjęto w odniesieniu do niego działań naprawczych lub nie zajęto się nim — mogłoby narazić na niebezpieczeństwo statek powietrzny, znajdujące się w nim osoby lub jakiegokolwiek inne osoby; zdarzenie

obejmuje w szczególności wypadek lub poważny incydent (Parlament Europejski i Rada, 2014),

- czynnik sprzyjający oznacza okoliczności organizacyjne, które mogą przyczynić się do wystąpienia konsekwencji zagrożenia (definicja własna na podstawie (ICAO, 2018)).

W ankietach zapytano także o rejestr ryzyka prowadzony w organizacji. Respondenci zwracali uwagę na nieprzydatność tego dokumentu w codziennej pracy: „Spełnia wymogi, jest dość prosty w obsłudze i wydajny, niestety brakuje elementu nadzoru nad realizacją zaleceń”, „Rejestr pełni funkcję "dowodu" w trakcie kontroli ULC. Poza kontrolą to martwy dokument.”, „Nie jest czytelny dla osób spoza organizacji bez wytłumaczenia.”, „Do niczego nie służy poza spełnieniem wymagań.”, „Wiem, że jest, ale chyba mało kto go widział.”, „Brak zrozumienia co to jest i do czego służy.” czy „Jest niezły, ale wymaga dopracowania.”.

Wyżej zidentyfikowane zjawisko może negatywnie wpływać na system zarządzania bezpieczeństwem (zarówno w skali organizacji jak i kraju): może dochodzić do nieporozumień, wyniki SMS mogą być sfalszowane i nieobiektywne, a podejmowane na rzecz bezpieczeństwa działania mogą być nietrafne lub nieoptymalne.

Na podstawie wyżej przedstawionych wyników identyfikuje się potrzebę wprowadzenia w ramach SMS lotnisk odpowiednich metod i narzędzi, które właściwie pokierują osobami realizującymi procesy zarządzania ryzykiem (lub w jakimkolwiek stopniu w nich uczestniczącymi). Wiele czynności wykonywanych w ramach SMS jest powtarzalnych lub mających potencjał do, chociaż częściowego, zautomatyzowania. Poprzez wprowadzenie metod i narzędzi w tym zakresie, możliwym jest odciążenie personelu lotniska, uniknięcie ewentualnych błędów i pomyłek i wykorzystanie odzyskanego w ten sposób czasu i energii do spraw związanych z bezpieczeństwem, które potrzebują indywidualnego rozpatrzenia.

Zarządzanie ryzykiem w organizacjach lotniczych, które jest oparte w dużej mierze na wiedzy eksperckiej jego kadry, można usystematyzować i ustandaryzować zmniejszając negatywny wpływ czynnika ludzkiego na jakość wyników SMS oraz w większym stopniu wykorzystując doświadczenie organizacji. Skutkiem braku odpowiedniej dla danego lotniska metody zarządzania ryzykiem jest wysoka subiektywność tego procesu, obniżona kultura bezpieczeństwa w organizacji oraz brak dających się porównać danych dotyczących poziomu bezpieczeństwa.

Poprzez opracowanie i wdrożenie nowych metod zarządzania ryzykiem możliwe jest zwiększenie wydajności systemu, ograniczenie liczby powtarzalnych, dających się zmechanizować zadań dla personelu oraz uniknięcie większości pomyłek i przeoczeń

człowieka z zachowaniem osobowego charakteru zarządzania ryzykiem. Systematyzacja i standaryzacja identyfikacji zagrożeń pomoże także rozwiązać zidentyfikowany problem niedostatecznego zaangażowania personelu własnego oraz organizacji współpracujących z Zarządzającym lotniskiem.

Metody zarządzania ryzykiem organizacji lotniczych powinny być dostosowane do ich potrzeb i specyfiki działalności. Transparentność i standaryzacja przyczynią się do wzmocnienia kultury bezpieczeństwa firmy oraz na styku jej działalności z działalnością innych podmiotów, także tych niezobowiązanych prawem do wdrożenia SMS.

Wyżej przytoczone wyniki badań były publikowane przez autorkę w 2023 r. (Marzec, 2023).

4.5 Wyzwania w zakresie zarządzania ryzykiem

W niniejszym rozdziale opisano wyniki obserwacji uczestniczącej prowadzonej przez Autorkę od 2016 r. w organizacjach branży lotniczej (u zarządzających lotniskami oraz w instytucji zapewniającej służby żeglugi powietrznej, podczas pracy na stanowiskach: asystent ds. operacyjnych, asystent kierownika bezpieczeństwa, specjalista / kierownik bezpieczeństwa oraz specjalista / kierownik zgodności).

Zidentyfikowano, że powszechnie mylone jest bezpieczeństwo i higiena pracy (BHP) z bezpieczeństwem, którym zarządza się w ramach SMS. Ustalenie tego czy zagrożenie odnosi się do lotnictwa czy BHP będzie zależało od jego potencjalnych konsekwencji. Każde zagrożenie, które może mieć wpływ (bezpośredni czy pośredni) na bezpieczeństwo operacyjne statku powietrznego lub bezpieczeństwo lotniczego sprzętu, produktu lub usługi związanej z bezpieczeństwem lotniczym powinno być uznane za mające związek z SMS. Zagrożeniem skutkującym wyłącznie konsekwencjami dla BHP (tj. bez jakiegokolwiek wpływu na bezpieczeństwo lotnicze) należy się zająć oddzielnie w ramach systemu/procedury BHP, zgodnie z właściwymi wymaganiami. Zagrożenia dla BHP i ich konsekwencje, które nie mają wpływu na bezpieczeństwo lotnictwa nie są przedmiotem zainteresowania SMS (ICAO, 2018).

Z obserwacji Autorki prowadzonych w organizacjach prowadzących działalność lotniczą wynika, że zakres SMS przenika się także z innymi systemami zarządzania wprowadzonymi w tych firmach, np.: zarządzanie jakością (np. ISO), zarządzanie kryzysowe, zarządzanie ochroną, zarządzanie środowiskiem czy zarządzanie zgodnością. Warto jest zadbać o to, aby procesy zarządzania tymi aspektami działalności były w miarę możliwości zintegrowane, a na pewno, żeby nie były wzajemnie wykluczające się lub powielające pewne czynności.

Obserwacja wskazuje, że istniejące metody zarządzania ryzykiem są oparte wyłącznie na uśrednionych danych i uogólnionych opisach zagrożeń, które pomijają odchylenia wynikające

z cech charakterystycznych lotniska, jego doświadczeń, unikalnego otoczenia czy natężenia ruchu lotniczego. Metody zarządzania ryzykiem, które można znaleźć w literaturze są opisywane za pomocą słów, których interpretacja zależy od perspektywy i doświadczenia czytelnika. W wynikach SMS można dopatrzeć się znaczącego wpływu charakteru osób realizujących poszczególne jego procesy, co sprawia, że dane bezpieczeństwa nie są obiektywne i nie dają się porównać. Równocześnie należy zwrócić uwagę, że skuteczność procesów zarządczych zależy od stopnia ich dopasowania do organizacji: system zarządzania i jego narzędzia powinny rozwijać się razem z nią oraz dopasowywać do jej bieżących potrzeb. Nie opracowano dotychczas rozwiązań wspomagających realne uzależnienie decyzji zarządczych od ich wpływu na bezpieczeństwo lotnicze.

Osoby wyznaczone w organizacji do realizacji procesu zarządzania ryzykiem stają przed trudnym zadaniem pogodzenia interesów zarządzającego, swojej odpowiedzialności za bezpieczeństwo, osobistych ambicji oraz spełnienia wymogów prawa (z uwzględnieniem ich interpretacji) przy wciąż zmieniającym się otoczeniu. Liczne obowiązki, długie procesy decyzyjne i administracyjne, a także brak ergonomicznych narzędzi zniechęcają do zaangażowania w SMS.

4.6 Omówienie wyników analiz i wnioski w zakresie potrzeb zarządzających lotniskami oraz możliwości doskonalenia zarządzania ryzykiem

Analiza możliwości zastosowania poszczególnych metod wskazywanych w literaturze przez zarządzających lotniskami (3.2) oraz badania empiryczne dotyczące organizacji lotniczych (rozdział 4) potwierdziły wiele wniosków wynikających z przeprowadzonego przeglądu literatury (1.2.4). Przede wszystkim potwierdzają one potrzebę wprowadzenia zmian w podejściu do zarządzania ryzykiem na lotnisku.

Ponadto analizy opisane w niniejszym rozdziale pozwoliły na weryfikację, które z metod opisywanych w literaturze są stosowane w praktyce. Oceniono, że wiele istniejących rozwiązań jest słusznych i należy kontynuować ich stosowanie. Zidentyfikowano także korzyści z ograniczenia stosowania pewnych metod lub zmiany sposobu korzystania z nich. W szczególności autorka pracy sformułowała następujące wnioski:

- Literatura dostarcza wielu różnorodnych metod do zarządzania ryzykiem, jednak w codziennej pracy lotniska najczęściej używane jest niewiele z nich, co wynika z pośpiechu i braku przygotowania do stosowania różnych metod. Przydatnym będzie stworzenie algorytmu ułatwiającego dobór i stosowanie poszczególnych istniejących metod zarządzania ryzykiem. Ustalenie algorytmu postępowania podczas zarządzania ryzykiem pozwoli na zachowanie metodycznego podejścia specjalistów SMS.

- Należy utrzymać stosowanie odmiennych metod zarządzania ryzykiem związanego ze zdarzeniami, co zostanie uwzględnione w opracowywanej metodzie.
- Jedną z używanych metod, matryce oceny ryzyka proponowane przez ICAO, są powszechnie stosowane w branży lotniczej, co ułatwia komunikację z innymi organizacjami, z którymi lotnisko współpracuje. W związku z tym zdecydowano o zachowaniu stosowania tego narzędzia w rozwiązaniu proponowanym w niniejszej pracy.
- Należy dbać o poprawne stosowanie metod zarządzania ryzykiem pod względem natury zagrożeń, tj. należy ustalić i przestrzegać zakresu zagadnień, które są objęte systemem zarządzania bezpieczeństwem. Na tej podstawie ustalono potrzebę każdorazowej weryfikacji słuszności objęcia zagadnienia systemem zarządzania bezpieczeństwem, co zostanie uwzględnione w opracowywanej metodzie.
- Wszystkie metody dotychczas wykorzystywane do analizy ryzyka obciążone są subiektywnością eksperta, który prowadzi daną analizę. Ocena eksperta silnie zależy od jego perspektywy i doświadczenia; jest obciążona dużym ryzykiem błędu. Subiektywności nie można i nie należy wyeliminować całkowicie, jednak należy ją ograniczać i monitorować. Istnieją jednak przypadki (zagadnienia nietypowe, nieznane wcześniej, innowacyjne), dla których korzystne jest stosowanie wyłącznie metody oceny eksperckiej. Zidentyfikowano także, że ocena ekspercka jest najczęściej stosowaną metodą, ponieważ jest jedną z najłatwiejszych i najszybszych metod. Zdecydowano, że w budowanej metodzie zarządzania ryzykiem ograniczone będzie stosowanie jako jedynej, metody oceny eksperckiej ze względu na jej wysoką subiektywność; zachowana będzie jednak możliwość ingerencji eksperta w przebieg procesu na każdym jego etapie.
- Eksperci wskazują, że przydatną metodą do zarządzania ryzykiem może być bow-tie, jednak w rzeczywistości jest rzadko używana. Zaznaczają, że jej wdrożenie do stosowania musiałoby być poprzedzone wytypowaniem do której grupy zagadnień byłaby stosowana, w taki sposób, aby utrzymać możliwość porównywania wyników analiz ryzyka dotyczących podobnych problemów. Na tej podstawie zdecydowano, że zaimplementowana będzie metoda bow-tie w sposób precyzyjny, do jakich zagadnień należy ją stosować.
- Stosowanie listy kontrolnej weryfikującej prawidłowość sformułowania zagrożenia może pomóc w niwelowaniu zmienności przebiegu procesu zarządzania ryzykiem.

W związku z tym zdecydowano o włączeniu jej jako element opracowywanej metody zarządzania ryzykiem.

- Należy wprowadzić mechanizm zapewniający minimalizowanie nadmiarowego wyznaczania działań mitygujących (np. polegającego na powielaniu istniejących procedur lub formułowaniu ogólnikowych zaleceń). Planuje się uwzględnienie etapu formułowania działań mitygujących w planowanej metodzie zarządzania ryzykiem.
- Należy utrzymać lub rozszerzać stosowanie wskaźników bezpieczeństwa, jako narzędzia pozwalającego na prowadzenie ilościowych analiz ryzyka. Wskaźniki poziomu bezpieczeństwa obarczone są jednak licznymi ograniczeniami, co należy uwzględniać podczas ich stosowania.
- Należy monitorować odchylenia wartości wskaźników bezpieczeństwa wynikające z niedoskonałości ich konstrukcji oraz z wpływu czynnika ludzkiego na ich wartości (różnice w interpretacjach definicji wskaźników).
- Zmiany wskaźników bezpieczeństwa są niekorzystne pod względem budowania zbiorów ich historycznych wartości. Należy jednak zwrócić uwagę, że pomimo braku zmian ich opisu, gromadzone dane mogą być niewiarygodne, np. ze względu na różnice w zrozumieniu ich definicji wśród osób odpowiadających za ich monitorowanie.
- Należy wprowadzać dodatkowe ilościowe metody zarządzania ryzykiem oraz uzupełniać braki danych dot. danego lotniska (konkretnych wartości dotyczących liczby i przebiegu zdarzeń), zawsze, gdy to możliwe. Na tej podstawie zdecydowano o włączeniu metod ilościowych w opracowywaną metodę. W szczególności podjęto się zbudowania klasyfikatora bayesowskiego w oparciu o dane pochodzące z analizy często powtarzających się zdarzeń.
- Skuteczność procesów zarządczych zależy od stopnia ich dopasowania do organizacji: system zarządzania i jego narzędzia powinny rozwijać się razem z nią oraz dopasowywać do jej bieżących potrzeb.

5 Model FRAM procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina

W niniejszym rozdziale zastosowano metodę FRAM (opisaną w rozdziale 3.1.13) do stworzenia modelu procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina w Warszawie (rozdział 4.1.1). Celem tej części badań było przeprowadzenie oceny przebiegu procesu zarządzania ryzykiem tego lotniska. Podjęcie tego zadania wiąże się z wnioskiem z przeglądu literatury

(rozdział 1.2.4) wskazującym, że istnieje luka badawcza w zakresie badań skuteczności procesu zarządzania ryzykiem. Wyniki tych badań mogą stanowić podstawę proaktywnego wdrażania zmian w systemie bezpieczeństwa lotniska. Wszelkie problemy występujące w procesie analizy ryzyka przekładają się na niewłaściwe (lub nieskuteczne) działania operatora lotniska w celu utrzymania niemniejszego niż obecny poziomu ryzyka.

FRAM jest z powodzeniem stosowany do analizy problemów ruchu lotniczego, w szczególności operacji ruchu lotniskowego. W niniejszej pracy wykorzystano go do zbadania procedury związanej z zarządzaniem lotniskiem, zagadnieniem znacznie szerszym niż problemy operacyjne. FRAM został wykorzystany do oceny projektu procesu zarządzania ryzykiem; ocena projektu to jedna z form podejścia prospektywnego, do którego przeznaczona jest ta metoda (patrz rozdział 3.1.13). Pozwala on na analizę skomplikowanych socjotechnicznych systemów (rozdział 1.2.4). Warto jednak zauważyć, że zgodnie z zasadami Safety II i FRAM analiza ta musi mieć charakter pośredni. Wynika to z faktu, że jej celem jest badanie poprawności działania, natomiast wnioski dotyczące ewentualnych nieprawidłowości można wyciągnąć na podstawie obserwacji skutków odchylenia od stanów nominalnych. Celem jest znalezienie warunków lub czynników, które mogą przeciwdziałać lub uniemożliwiać zamierzone funkcjonowanie wybranego systemu. Analiza pozwoliła na sprawdzenie czy kombinacja wielu warunków wstępnych i zasobów może osłabić zaprojektowany proces lub czy brak kontroli lub ograniczenia czasowe mogą utrudnić zamierzone funkcjonowanie.

Omówiono funkcje realizowane w lotniskowym procesie zarządzania ryzykiem, wskazując czynniki determinujące ich wykonanie. Następnie przedstawiono możliwą zmienność tych funkcji, wynikającą z typowych odchylenia w realizacji procesu. Na podstawie analizy wzajemnych powiązań między funkcjami, po uwzględnieniu wpływu zmienności poszczególnych funkcji na ich wykonanie, zidentyfikowano kluczowe ryzyka i przedstawiono sekwencje funkcji tworzące rezonans funkcjonalny. Poszukiwano zmienności, które mogą uniemożliwiać działanie zgodnie z przeznaczeniem. Na tej podstawie wskazano możliwości zwiększenia odporności procesu poprzez zaproponowanie działań łagodzących, mających na celu przerwanie takich sekwencji i usunięcie niebezpiecznego rezonansu funkcjonalnego. Hipotezą, którą weryfikowano, jest stwierdzenie, że proces zarządzania ryzykiem na Lotnisku Chopina można ulepszyć, aby zmniejszyć negatywny wpływ czynnika ludzkiego, który może pogarszać jakość wyników SMS, i lepiej wykorzystać wiedzę i doświadczenie organizacji. Założono, że możliwe jest wprowadzenie zmian w procesie, które poprawią jego wydajność poprzez jego standaryzację i stabilizację.

Do opracowania modelu (rozdział 5.1) wykorzystano narzędzie FRAM Model Visualizer (FMV). Narzędzie to umożliwia graficzną reprezentację modelu FRAM. FMV został opracowany i napisany przez Reesa Hilla (Hill, 2024). Jego kluczowe cechy to:

- Graficzne tworzenie modeli; oprogramowanie umożliwia intuicyjne rozmieszczanie i łączenie funkcji, zapewniając przejrzystość i logiczną strukturę modelu.
- Definiowanie i dostosowywanie atrybutów funkcji.
- Dynamiczna wizualizacja ułatwiająca identyfikację kluczowych interakcji lub potencjalnych słabych punktów.
- Skalowalność.
- Import i eksport danych.
- Wsparcie dla symulacji.
- Raportowanie wyników modelu, w tym diagramów wizualnych i podsumowań zależności między funkcjami.
- Kompatybilność międzyplatformowa.

W rozdziale 5.2 omówiono wyniki analizy przeprowadzonej z wykorzystaniem zbudowanego modelu.

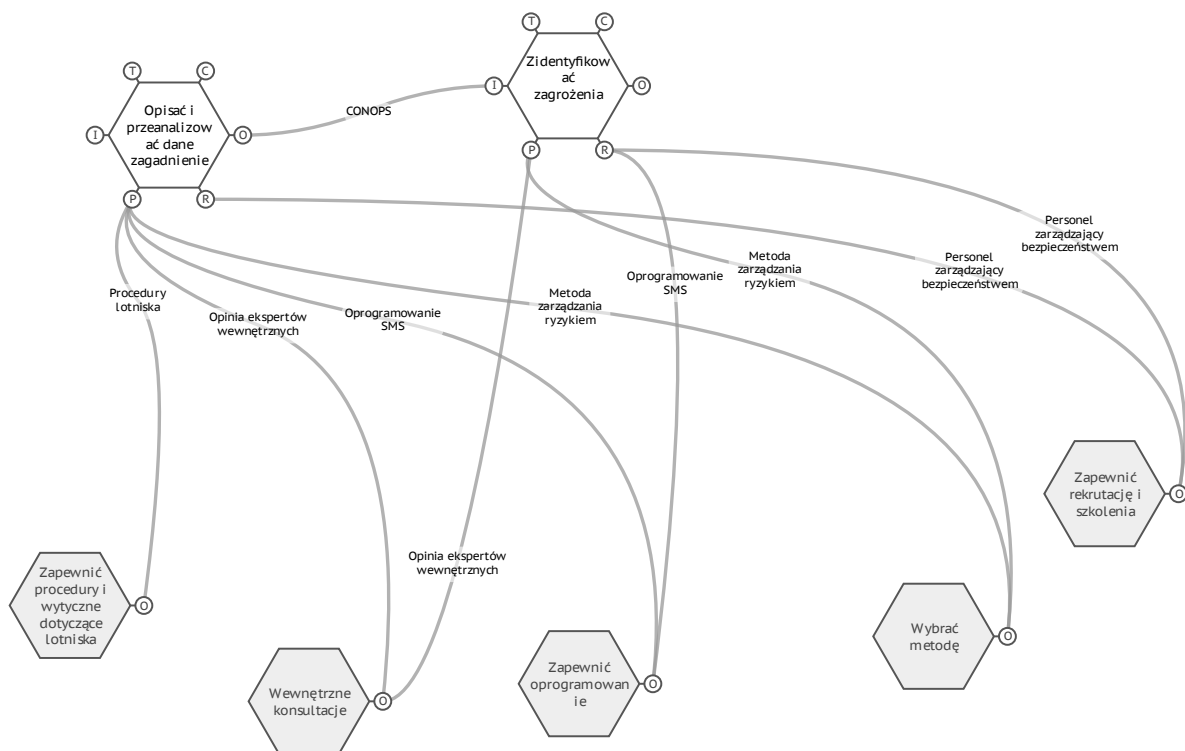
5.1 Model

5.1.1 Kluczowe funkcje procesu

Wybierając kluczowe funkcje procesu zarządzania ryzykiem na lotnisku, skorzystano z dokumentacji systemu zarządzania bezpieczeństwem oraz skonsultowano się z ekspertami merytorycznymi (SMEs), uwzględniono także opis procesu zawarty w rozdziale 4.1.1. Skorzystano również z doświadczenia własnego Autorki, która zawodowo zajmuje się analizą i oceną ryzyka na Lotnisku Chopina w Warszawie.

Po identyfikacji kluczowych funkcji przeanalizowano je zgodnie z FRAM, wykazując ich wzajemne powiązania. Jako pierwszą funkcję składającą się na proces zarządzania ryzykiem zidentyfikowano opisanie i przeanalizowanie zagadnienia. Wynikiem realizacji tej funkcji jest CONOPS (konceptcja operacji (concept of operation) tj. dokument opisujący, w jaki sposób system, proces lub operacja ma funkcjonować z perspektywy użytkownika). Żeby dostarczyć ten dokument muszą być spełnione warunki wstępne, tj. muszą być zapewnione procedury lotniska, oprogramowanie, opinia ekspertów wewnętrznych oraz metoda zarządzania ryzykiem. Konieczne jest także zapewnienie zasobów do realizacji tej funkcji w postaci personelu zarządzającego bezpieczeństwem. Dokument opracowany w ramach tej funkcji (CONOPS) jest niezbędny do zidentyfikowania zagrożeń (identyfikacja zagrożeń

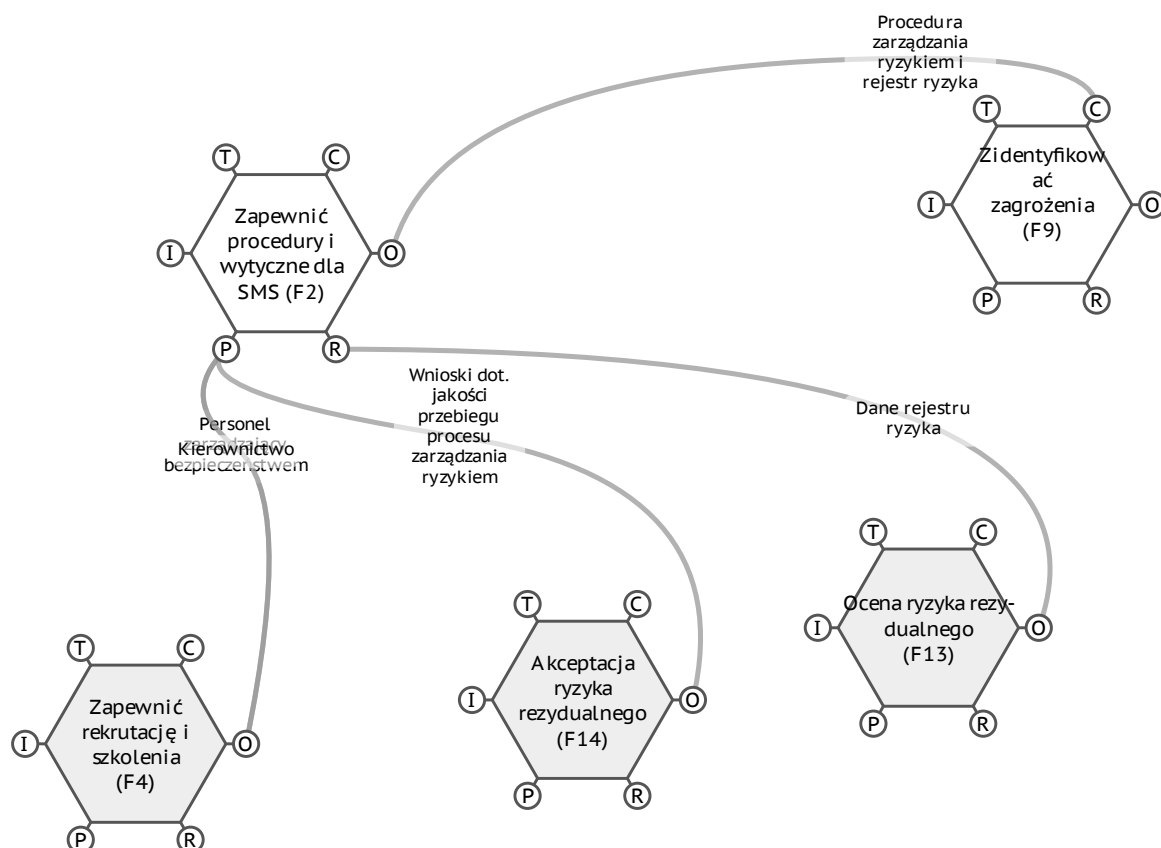
stanowi jedną z kolejnych funkcji procesu zarządzania ryzykiem). Ponadto do zidentyfikowania zagrożeń konieczne są te same warunki wstępne co dla funkcji opisanie i przeanalizowanie zagrożenia (opinia ekspertów wewnętrznych, metoda zarządzania ryzykiem) oraz m. in. te same zasoby (personel zarządzający bezpieczeństwem, oprogramowanie). Opisanie powiązanie między tymi funkcjami przedstawia Rysunek 29.



Rysunek 29 Powiązanie pomiędzy opisaniem i przeanalizowaniem zagrożenia a identyfikacją zagrożeń w procesie zarządzania ryzykiem (źródło: opracowanie własne).

Jako kolejną funkcję procesu wskazano zapewnianie procedur i wytycznych funkcjonowania SMS. W wyniku realizacji tej funkcji powstaje procedura zarządzania ryzykiem wraz z rejestrem ryzyka oraz metoda konsultacji analiz ryzyka. Aby możliwym było realizowanie tej funkcji konieczny jest udział personelu zarządzającego bezpieczeństwem oraz kierownictwa o odpowiednim poziomie decyzyjności. Ustalając sposób działania SMS wykorzystuje się także wnioski dot. jakości przebiegu procesu zarządzania ryzykiem, które mogą być formułowane każdorazowo podczas jego realizacji. Zasobem niezbędnym do utrzymywania procedur i wytycznych SMS są dane zasilające rejestr ryzyka. Opisana funkcja jest powiązana z wieloma innymi; przykładem jest stosowanie powstających w jej wyniku procedur i wytycznych funkcjonowania SMS jako środka kontroli przebiegu wspomnianej wyżej funkcji związanej z identyfikacją zagrożeń. Warunki wstępne oraz zasoby niezbędne do zapewnienia procedur i wytycznych SMS oraz powiązanie pomiędzy

zapewnianiem procedury i wytycznych SMS a identyfikacją zagrożeń w procesie zarządzania ryzykiem prezentuje Rysunek 30.



Rysunek 30 Warunki wstępne oraz zasoby niezbędne do zapewnienia procedur i wytycznych SMS oraz powiązanie pomiędzy zapewnianiem procedury i wytycznych SMS a identyfikacją zagrożeń w procesie zarządzania ryzykiem (źródło: opracowanie własne).

W analogiczny sposób przeanalizowano wszystkie funkcje procesu zarządzania ryzykiem. Podsumowanie zidentyfikowanych kluczowych funkcji procesu zarządzania ryzykiem przedstawiono w Tabeli 26. Każda funkcja charakteryzuje się sześcioma istotnymi cechami i rodzajem. Warto zauważyć, że większość funkcji to funkcje ludzkie.

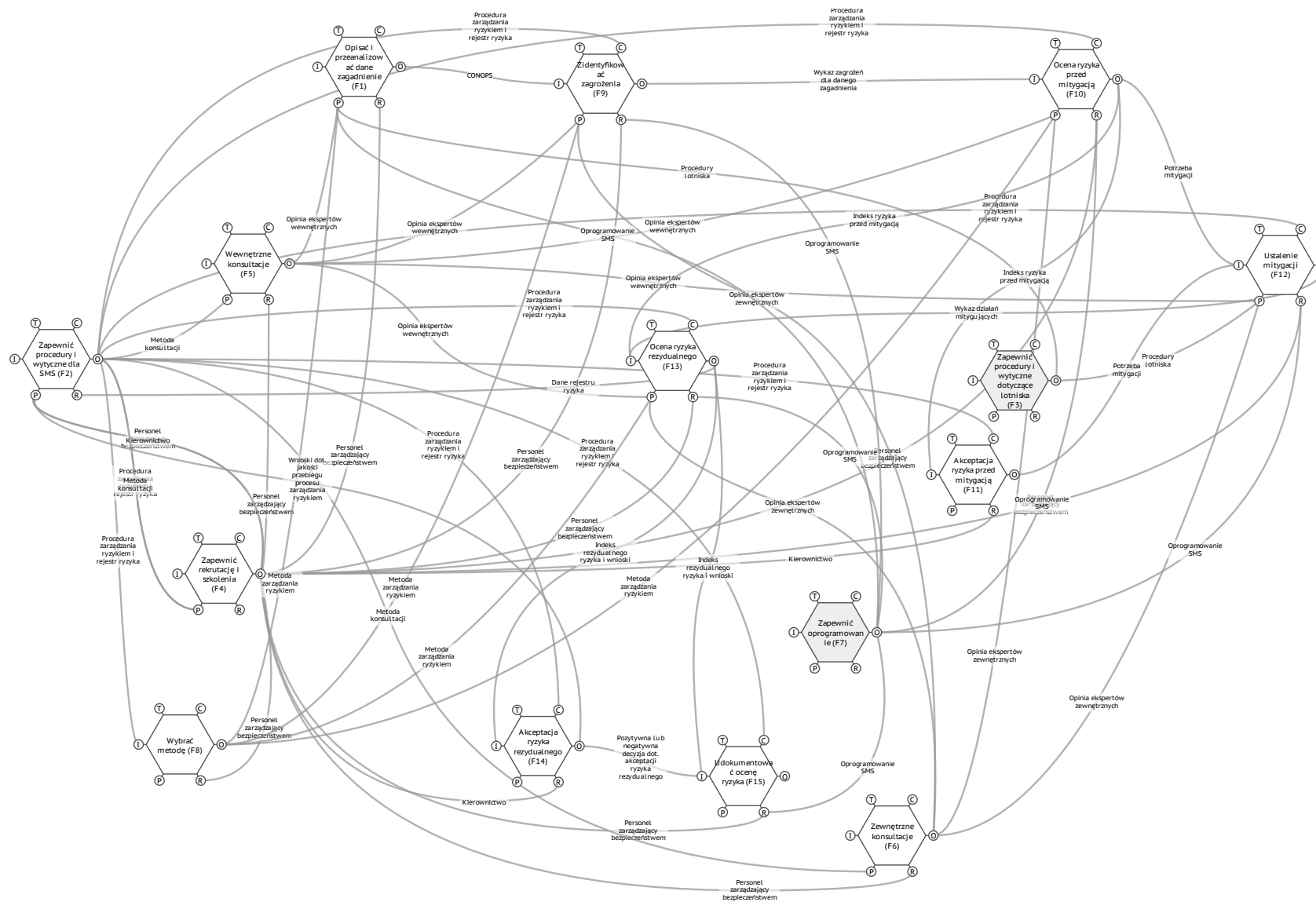
Relacje między funkcjami przedstawione w Tabeli 26 zostały przekształcone do postaci graficznej za pomocą pakietu FMV. Opis funkcji i ich sprzężeń stanowi model FRAM, jak pokazano na Rysunku 31.

Tabela 26 Opis kluczowych funkcji procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina w Warszawie (źródło: opracowanie własne).

Funkcja (F)	Input (I)	Output (O)	Preconditions (P)	Resources (R)	Time (T)	Control (C)
Opisać i przeanalizować dane zagadnienie (F1) funkcja ludzka		CONOPS (O1)	Procedury lotniska (O4) Opinia ekspertów wewnętrznych (O7) Oprogramowanie SMS (O9) Metoda zarządzania ryzykiem (O10)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5)		
Zapewnić procedury i wytyczne dla SMS (F2) funkcja organizacyjna		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2) Metoda konsultacji (O3)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Kierownictwo (O6) Wnioski dot. jakości przebiegu procesu zarządzania ryzykiem (O18)	Dane rejestru ryzyka (O16)		
Zapewnić procedury i wytyczne dotyczące lotniska (F3) funkcja organizacyjna, funkcja tła		Procedury lotniska (O4)				
Zapewnić rekrutację i szkolenia (F4) funkcja organizacyjna		Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Kierownictwo (O6)	Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2) Metoda konsultacji (O3)			
Wewnętrzne konsultacje (F5) funkcja ludzka		Opinia ekspertów wewnętrznych (O7)	Metoda konsultacji (O3)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5)		

Funkcja (F)	Input (I)	Output (O)	Preconditions (P)	Resources (R)	Time (T)	Control (C)
Zewnętrzne konsultacje (F6) funkcja ludzka		Opinia ekspertów zewnętrznych (O8)	Metoda konsultacji (O3)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5)		
Zapewnić oprogramowanie (F7) funkcja technologiczna, funkcja tła		Oprogramowanie SMS (O9)				
Wybrać metodę (F8) funkcja ludzka	Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2)	Metoda zarządzania ryzykiem (O10)		Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5)		
Zidentyfikować zagrożenia (F9) funkcja ludzka	CONOPS (O1)	Wykaz zagrożeń dla danego zagadnienia (O11)	Metoda zarządzania ryzykiem (O10) Opinia ekspertów wewnętrznych (O7) Opinia ekspertów zewnętrznych (O8)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Oprogramowanie SMS (O9)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2)
Ocena ryzyka przed mitygacją (F10) funkcja ludzka	Wykaz zagrożeń dla danego zagadnienia (O11)	Indeks ryzyka przed mitygacją (O12) Potrzeba mitygacji (O13)	Metoda zarządzania ryzykiem (O10) Opinia ekspertów wewnętrznych (O7) Opinia ekspertów zewnętrznych (O8)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Oprogramowanie SMS (O9)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2)
Akceptacja ryzyka przed mitygacją (F11) funkcja ludzka	Indeks ryzyka przed mitygacją (O12)	Potrzeba mitygacji (O13)		Kierownictwo (O6)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2)

Funkcja (F)	Input (I)	Output (O)	Preconditions (P)	Resources (R)	Time (T)	Control (C)
Ustalenie mitygacji (F12) funkcja ludzka	Potrzeba mitygacji (O13)	Wykaz działań mitygujących (O14)	Opinia ekspertów wewnętrznych (O7) Opinia ekspertów zewnętrznych (O8) Procedury lotniska (O4)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Oprogramowanie SMS (O9)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2)
Ocena ryzyka rezydualnego (F13) funkcja ludzka	Wykaz działań mitygujących (O14) Indeks ryzyka przed mitygacją (O12)	Indeks rezydualnego ryzyka i wnioski (O15) Dane rejestru ryzyka (O16)	Opinia ekspertów wewnętrznych (O7) Opinia ekspertów zewnętrznych (O8) Metoda zarządzania ryzykiem (O10)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Oprogramowanie SMS (O9)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2)
Akceptacja ryzyka rezydualnego (F14) funkcja ludzka	Indeks rezydualnego ryzyka i wnioski (O15)	Pozytywna lub negatywna decyzja dot. akceptacji ryzyka rezydualnego (O17) Wnioski dot. jakości przebiegu procesu zarządzania ryzykiem (O18)		Kierownictwo (O6)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2)
Udokumentować ocenę ryzyka (F15) funkcja ludzka	Indeks rezydualnego ryzyka i wnioski (O15) Pozytywna lub negatywna decyzja dot. akceptacji ryzyka rezydualnego (O17)			Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Oprogramowanie SMS (O9)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2)



Rysunek 31 Model FRAM procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina w Warszawie; funkcje scharakteryzowane za pomocą jednej cechy oznaczono na szaro (źródło: opracowanie własne)

5.1.2 Zmienność funkcji

W normalnym działaniu procesu funkcje mogą być realizowane z pewnymi odchyleniami od planowanego wyniku. Odchylenia te nazywane są zmiennością funkcji. Ich analiza została omówiona w tym rozdziale. Odchylenia nie muszą oznaczać awarii komponentu lub błędu ludzkiego. Często są to niewielkie odchylenia pod względem czasu lub precyzji wykonania funkcji. Odchylenia te mogą być korzystne (na przykład wykonanie zadania w krótszym czasie) lub negatywne (na przykład niedokładne wykonanie zadania).

W odniesieniu do pierwszej funkcji, tj. opisanie i przeanalizowanie danego do analizy zagadnienia zidentyfikowano możliwość zmienności tej funkcji w czasie oraz pod względem precyzji. Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono, że funkcja ta może zostać wykonana za wcześnie, na czas, za późno lub może zostać pominięta. Procedury lotniska ani procedura zarządzania ryzykiem nie określają czasu, w jakim ma być zrealizowana ta funkcja; wymagany termin jej wykonania wynika zwykle z potrzeby operacyjnej i dostępności danych. Na przykład, gdy prowadzona analiza ryzyka dotyczy planowanych na lotnisku prac remontowych, przygotowanie koncepcji tych prac musi się odbyć w okresie od poznania harmonogramu budowlanego, koniecznych do wyłączenia z użytku operacyjnego elementów infrastruktury, charakterystyki sprzętu, który będzie wykorzystywany do realizacji remontu (zwłaszcza wysokich urządzeń, np. dźwigów mogących stanowić przeszkodę lotniczą) a terminem, który umożliwi realizację pozostałych funkcji procesu przed rozpoczęciem prac. Opisanie przedmiotu analizy ryzyka za wcześnie może oznaczać nieuwzględnienie danych, które byłyby uwzględnione gdyby funkcja była realizowana na czas. Dostępność danych jest w tym przypadku zewnętrznym źródłem potencjalnej zmienności. Z kolei opóźnienie w realizacji funkcji oznacza przekroczenie terminu umożliwiającego poprawną realizację pozostałych funkcji procesu przed rozpoczęciem prac. Rozważono także możliwość pominięcia realizacji tej funkcji, tj. nieprzygotowanie CONOPS. Mogłoby to wynikać np. z braku dostępności lub kompetencji personelu realizującego tę funkcję lub braku jakichkolwiek danych umożliwiających jej realizację. Poza opisaną zmiennością realizacji tej funkcji w czasie, zidentyfikowano także potencjalne odchylenia pod względem precyzji. Powodem (źródłem zmienności) w tym aspekcie są te same czynniki: ograniczenia personelu oraz dostępność danych. Obserwacje wykazały, że funkcja „opisać i przeanalizować dane zagadnienie” może zostać wykonana precyzyjnie, akceptowalnie lub nieprecyzyjnie. Oznacza to, że jakość CONOPS może być bardzo wysoka, akceptowalna lub zbyt niska.

Druga funkcja, zapewnienie procedur i wytycznych dla przebiegu procesów SMS, zarówno w zakresie dostarczania procedury zarządzania ryzykiem jak i metody konsultacji

może zmieniać się pod względem precyzji. Nie zidentyfikowano możliwości odchylen tej funkcji w czasie. Nieprecyzyjnie zrealizowana funkcja skutkowałaby dostarczeniem procedur postępowania niewspierających ekspertów w realizacji poszczególnych procesów: np. bardzo ogólnych lub nieuwzględniających wymagań prawa czy charakterystyki organizacji, dla której są opracowane. Akceptowalnie zrealizowana funkcja dostarcza procedur spełniających wymagania prawa, które częściowo pomagają personelowi realizować opisane w nich procesy. Z kolei funkcja zrealizowana precyzyjnie zapewnia wartościowe narzędzia do pracy ekspertowi. Jako źródło zmienności tej funkcji zidentyfikowano ograniczone zasoby zarządzania, które oznaczają brak czasu, umiejętności czy zasobów ludzkich.

Innym przykładem braku precyzji w realizacji funkcji procesu zarządzania ryzykiem jest nieprecyzyjne ustalenie mitygacji. Nieprecyzyjność ta może polegać na ustaleniu działań łagodzących ryzyko w sposób uniemożliwiający lub utrudniający ich realizację, np. poprzez opisanie ich w sposób niejednoznaczny lub niezrozumiały, nieokreślenie wymaganego terminu ich realizacji czy niewyznaczenie odpowiedzialności za ich realizację.

Analogiczną analizę przeprowadzono dla pozostałych funkcji, jednak ze względu na objętość pracy pominięto jej opis. Tabela 27 przedstawia zidentyfikowaną możliwą zmienność wszystkich funkcji procesu zarządzania ryzykiem na Lotnisku Chopina w skróconej wersji.

Tabela 27 Możliwe odchylenia funkcji (źródło: opracowanie własne).

Funkcja (F)	Output (O)	Możliwa zmienność funkcji		Źródło potencjalnej zmienności:	
		Terminowość	Precyzja	Endogeniczne (wew.)	Egzogeniczne (zew.)
Opisać i przeanalizować dane zagadnienie (F1) Funkcja ludzka	CONOPS (O1)	Za wcześnie, na czas, za późno, pominięcie	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia personelu SMS	Dostępność danych
Zapewnić procedury i wytyczne dla SMS (F2) Funkcja organizacyjna	Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2)	-	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia zasobów zarządzania	-
	Metoda konsultacji (O3)	-	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia zasobów zarządzania	-
Zapewnić procedury i wytyczne dotyczące lotniska (F3) Funkcja organizacyjna, funkcja tła	Procedury lotniska (O4)	-	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia zasobów zarządzania	-
Zapewnić rekrutację i szkolenia (F4) Funkcja organizacyjna	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5)	Na czas, za późno, pominięcie	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Proces decyzyjny	Sytuacja na rynku pracy
	Kierownictwo (O6)	-	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Proces decyzyjny	Sytuacja na rynku pracy
Wewnętrzne konsultacje (F5) Funkcja ludzka	Opinia ekspertów wewnętrznych (O7)	Za wcześnie, na czas, za późno, pominięcie	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia personelu lotniska	-
Zewnętrzne konsultacje (F6) Funkcja ludzka	Opinia ekspertów zewnętrznych (O8)	Za wcześnie, na czas, za późno, pominięcie	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	-	Ograniczenia personelu zewnętrznego
Zapewnić oprogramowanie (F7) Funkcja technologiczna, funkcja tła	Oprogramowanie SMS (O9)	-	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia zasobów finansowych	-

Funkcja (F)	Output (O)	Możliwa zmienność funkcji		Źródło potencjalnej zmienności:	
		Terminowość	Precyzja	Endogeniczne (wew.)	Egzogeniczne (zew.)
Wybrać metodę (F8) Funkcja ludzka	Metoda zarządzania ryzykiem (O10)	Na czas, pominięcie	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia personelu SMS Brak kontroli	-
Zidentyfikować zagrożenia (F9) Funkcja ludzka	Wykaz zagrożeń dla danego zagadnienia (O11)	Na czas, za późno	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia personelu Brak kontroli	-
Ocena ryzyka przed mitygacją (F10) Funkcja ludzka	Indeks ryzyka przed mitygacją (O12)	Na czas, za późno	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia personelu Brak kontroli	-
	Potrzeba mitygacji (O13)	Na czas, za późno, pominięcie	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia personelu Brak kontroli	-
Akceptacja ryzyka przed mitygacją (F11) Funkcja ludzka	Potrzeba mitygacji (O13)	Na czas, za późno, pominięcie	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia personelu Brak kontroli	-
Ustalenie mitygacji (F12) Funkcja ludzka	Wykaz działań mitygujących (O14)	Na czas, za późno, pominięcie	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia personelu Brak kontroli	-
Ocena ryzyka rezydualnego (F13) Funkcja ludzka	Indeks rezydualnego ryzyka i wnioski (O15)	Na czas, za późno	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia personelu Brak kontroli	-
	Dane rejestru ryzyka (O16)	Na czas, pominięcie	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia personelu Brak kontroli	-
Akceptacja ryzyka rezydualnego (F14) Funkcja ludzka	Pozytywna lub negatywna decyzja dot. Akceptacji ryzyka rezydualnego (O17)	Na czas, za późno	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia personelu	-
	Wnioski dot. Jakości przebiegu procesu zarządzania ryzykiem (O18)	Na czas, pominięcie	Precyzyjnie Akceptowalnie Nieprecyzyjnie	Ograniczenia personelu Brak kontroli	-
Udokumentować ocenę ryzyka (F15) Funkcja ludzka	-	-	-	-	-

Przeprowadzono także analizę relacji między efektami (outputs) wszystkich funkcji a pozostałymi funkcjami, aby zidentyfikować funkcje, które znacząco wpływają na skuteczność procesu zarządzania ryzykiem na lotnisku (Tabela 28). Celem tej analizy było znalezienie odpowiedzi na pytanie: efekt (output) której funkcji jest najczęściej wykorzystywany przez pozostałe funkcje? W rezultacie ustalono, że w procesie najczęściej wykorzystywane był <O5 Personel zarządzania bezpieczeństwem>, tj. efekt funkcji <F4 Zapewnić rekrutację i szkolenia> oraz <O2 Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka>, tj. efekt funkcji <F2 Zapewnić procedury i wytyczne dla SMS>. Wywnioskowano na tej podstawie, że wymienione dwie funkcje mają największy wpływ na przebieg procesu zarządzania ryzykiem i potencjalnie powodują największe jego zmienności. Na tej podstawie zdecydowano o zbadaniu agregacji zmienności tych funkcji w kolejnym rozdziale.

Tabela 28 Zależność funkcji od poszczególnych efektów (outputs) (źródło: opracowanie własne).

Output (O)	Funkcja (F)															Liczba relacji			
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	I	P	R	C
CONOPS (O1)	O								I							1			
Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2)		O		P				I	C	C	C	C	C	C	C	1	1		8
Metoda konsultacji (O3)		O		P	P	P											3		
Procedury lotniska (O4)	P		O									P					2		
Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5)	R	P		O	R	R		R	R	R		R	R		R		1	9	
Kierownictwo (O6)		P		O							R			R			1	2	
Opinia ekspertów wewnętrznych (O7)	P				O				P	P		P	P				5		
Opinia ekspertów zewnętrznych (O8)	P					O			P	P		P	P				5		
Oprogramowanie SMS (O9)	P						O		R	R		R	R		R		1	5	
Metoda zarządzania ryzykiem (O10)								O	P	P			P				3		
Wykaz zagrożeń dla danego zagadnienia (O11)									O	I						1			
Indeks ryzyka przed mitygacją (O12)										O	I		I			2			
Potrzeba mitygacji (O13)										O	O	I				1			
Potrzeba mitygacji (O13)												O	I			1			
Wykaz działań mitygujących (O14)													O	I	I	2			
Indeks rezydualnego ryzyka i wnioski (O15)		R											O					1	
Dane rejestru ryzyka (O16)														O	I	1			
Pozytywna lub negatywna decyzja dot. akceptacji ryzyka rezydualnego (O17)		P											O				1		
Wnioski dot. jakości przebiegu procesu zarządzania ryzykiem (O18)	O								I							1			

5.1.3 Agregacja zmienności

Zmienność funkcji może rezonować (wzmacniać się wzajemnie) poprzez sprzężenia i powodować niezwykle wysoką zmienność funkcji. Zjawisko to nazywa się rezonansem funkcjonalnym, co oznacza, że jest to rezonans normalnej zmienności funkcji. Rezonans ten ma charakter dynamiczny i nie można go utożsamiać z prostą kombinacją wiązań. Oczywiście możliwa jest również sytuacja odwrotna, gdy funkcja posiada wbudowane elementy stanowiące barierę bezpieczeństwa uniemożliwiającą wystąpienie rezonansu funkcjonalnego.

W tym rozdziale omówiono, jak rezonans funkcjonalny może występować w rzeczywistości podczas realizacji procesu zarządzania ryzykiem na Lotnisku Chopina w Warszawie. Biorąc pod uwagę wyniki analizy wpływu efektów poszczególnych funkcji na pozostałe funkcje procesu przedstawione w poprzednim rozdziale (Tabela 28) postanowiono przeanalizować zmienność procesu zarządzania ryzykiem, koncentrując się na dwóch funkcjach, których efekty są najczęściej wykorzystywane przez pozostałe funkcje procesu:

1. Rezonans funkcjonalny zmienności (precyzji) zapewniania procedur i wytycznych dla SMS (funkcja F2).
2. Rezonans funkcjonalny zmienności (precyzji) zapewniania rekrutacji i szkoleń (funkcja F4).

Rezonans funkcjonalny zmienności (precyzji) zapewniania procedur i wytycznych dla SMS

W pierwszym przypadku analizowano sytuację, w której procedury i wytyczne dotyczące zarządzania bezpieczeństwem przekazane specjalście przeprowadzającemu proces zarządzania ryzykiem nie zostały dostosowane do specyfiki Lotniska Chopina w Warszawie. Zakładamy, że są one bardzo ogólne i nie były aktualizowane od 5 lat, dlatego funkcja <F2 Zapewnić procedury i wytyczne dla SMS> różni się precyzją.

Funkcja F2 ma dwa wyjścia: <O2 procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka> oraz <O3 metoda konsultacji>. Oznacza to, że F2 jest funkcją nadrzędną dwunastu innych funkcji. Wyniki analizy wpływu F2 na <F8 Wybrać metodę> przedstawiono w Tabeli 29.

Tabela 29 Możliwy wpływ na <F8 Wybrać metodę> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Input	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędną
F2 Zapewnić procedury i wytyczne dla SMS	Procedury SMS nie zapewniają wytycznych w zakresie wyboru metody zarządzania ryzykiem	F8 Wybrać metodę	Terminowość i precyzja funkcji mają potencjalny wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Na czas	Nieprecyzyjnie	Wybrana metoda jest niewłaściwa dla analizowanego zagadnienia (<u>wzrost zmienności</u>)

Funkcja <F8 wybrać metodę> nie ma żadnych mechanizmów kontroli (control, C), co sprawia, że bardzo prawdopodobne jest zastosowanie nieprawidłowo wybranej metody zarządzania ryzykiem. Wynik niskiej jakości może być przełożony na kolejne funkcje podrzędne. Rozważono różne skutki dla funkcji niższego rzędu F9 oraz uwzględniono zmienność warunków wstępnych (preconditions, P) dla F9 (Tabela 30).

Tabela 30 Możliwy wpływ na <F9 Zidentyfikować zagrożenia> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Precon.	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędną
Wybrać metodę (F8)	Identyfikacja zagrożeń jest trudna z powodu wyboru nieodp. metody	Zidentyfikować zagrożenia (F9)	Terminowość i precyzja funkcji mają znaczący wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Za późno	Nieprecyzyjnie	Wykaz zagrożeń dla zagadnienia jest niekompl lub błędny. Stracono czas podczas identyfikacji zagrożeń. (duży wzrost zmienności)
				Na czas	Nieprecyzyjnie	Wykaz zagrożeń dla zagadnienia jest niekompl. lub błędny. (wzrost zmienności)

Oba analizowane powyżej przypadki zwiększają zmienność funkcji F9. Zmienność funkcji nadrzędnej może wpływać zarówno na czas, jak i precyzję: niewłaściwie dobrana metoda prowadzi do niekompletnej i nieprawidłowej listy zagrożeń oraz straty czasu. Zmienność rośnie i kumuluje się w miarę trwania procesu.

<F9 Zidentyfikować zagrożenia> jest funkcją nadrzędną dla <F10 Ocena ryzyka przed mitygacją>, ponieważ jej wyjście (output) jest wejściem (input) F10. <O11 Wykaz zagrożeń dla danego zagadnienia> jest niezbędna do przeprowadzenia <F10 Ocena ryzyka przed mitygacją>. Możliwe zmienności wpływu funkcji F9 na <F10 Ocena ryzyka przed mitygacją> przedstawiono w Tabeli 31.

Tabela 31 Możliwy wpływ na <F10 Ocena ryzyka przed mitygacją> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Input	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędną
F9 Zidentyfikować zagrożenia	Bez wykazu zagrożeń nie można oceniać ryzyka; jakość tego wykazu ma wpływ na jakość oceny ryzyka.	F10 Ocena ryzyka przed mitygacją	Czasowość i precyzja funkcji mają znaczący wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Nieistotna	Nieprecyzyjnie	Ryzyka są błędnie ocenione; ocena nie wskazuje najbardziej prawd. i najbardziej dotkliwych konsekwencji. <u>(bardzo duży wzrost zmienności)</u>

Kolejną funkcją procesu jest <F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją>. Ma ona miejsce, gdy menedżerowie (ds. bezpieczeństwa, operacyjnych, technicznych i kierownik odpowiedzialny) zapoznają się z wynikami oceny ryzyka i proszeni są o podjęcie decyzji o ew. wprowadzeniu środków łagodzących (mitygacji ryzyka). Do wykonania tej funkcji niezbędne jest wygenerowanie efektu (output) funkcji <F10 Ocena ryzyka przed mitygacją>. Jej wyjście (output) to <O12 Indeks ryzyka przed mitygacją>. Wyniki analizy wpływu F10 na <F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją> przedstawiono w kolejnej tabeli (Tabela 32).

Tabela 32 Możliwy wpływ na <F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Input	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędną
F10 Ocena ryzyka przed mitygacją	Indeks ryzyka przed mitygacją jest podstawą dla podjęcia decyzji dot. akceptacji ryzyka.	F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją	Czasowość i precyzja funkcji mają znaczący wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Nieistotna	Nieprecyzyjnie	Powiązane ryzyka pozostały niezauważone. Podjęte decyzje nie stanowią odpowiedniej reakcji na ryzyko. (bardzo duży wzrost zmienności)

Na potrzeby analizy założono, że <F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją > zostało wykonane nieprecyzyjnie (pewne ryzyka nie zostały zauważone, przez co nie zarządzano nimi świadomie). Spowodowało to pominięcie <F12 Ustalenie mitygacji>. Wyniki tej analizy przedstawiono w Tabeli 33.

Tabela 33 Możliwy wpływ na <F12 Ustalenie mitygacji> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Input	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędną
F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją	Potrzeba ustalenia mitygacji ryzyka wywołuje funkcję zaplanowania działań mitygujących.	F12 Ustalenie mitygacji	Czasowość i precyzja funkcji mają znaczący wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Pominięcie	Nieistotna	Niezbędne działania mitygujące nie zostały wdrożone. (bardzo duży wzrost zmienności)

Efekty opisane w Tabeli 33 obniżają jakość efektu (output) <O14 Wykaz działań mitygujących>, co powoduje wzrost zmienności <F13 Ocena ryzyka rezydualnego>, a wynik <O15 Indeks rezydualnego ryzyka i wnioski> może być nieprawidłowy.

Również drugi wynik <F13 Ocena ryzyka rezydualnego>, czyli <O16 Dane rejestru ryzyka>, stracił na wartości. Warto zauważyć, że ten wynik stanowi zasób <F2 Zapewnić procedury i wytyczne dla SMS>. Funkcje omawianego procesu są zatem ze sobą powiązane. Wyniki tej analizy przedstawiono poniżej (Tabela 34).

Tabela 34 Możliwy wpływ na <F13 Ocena ryzyka rezydualnego> (źródło: opracowanie własne).

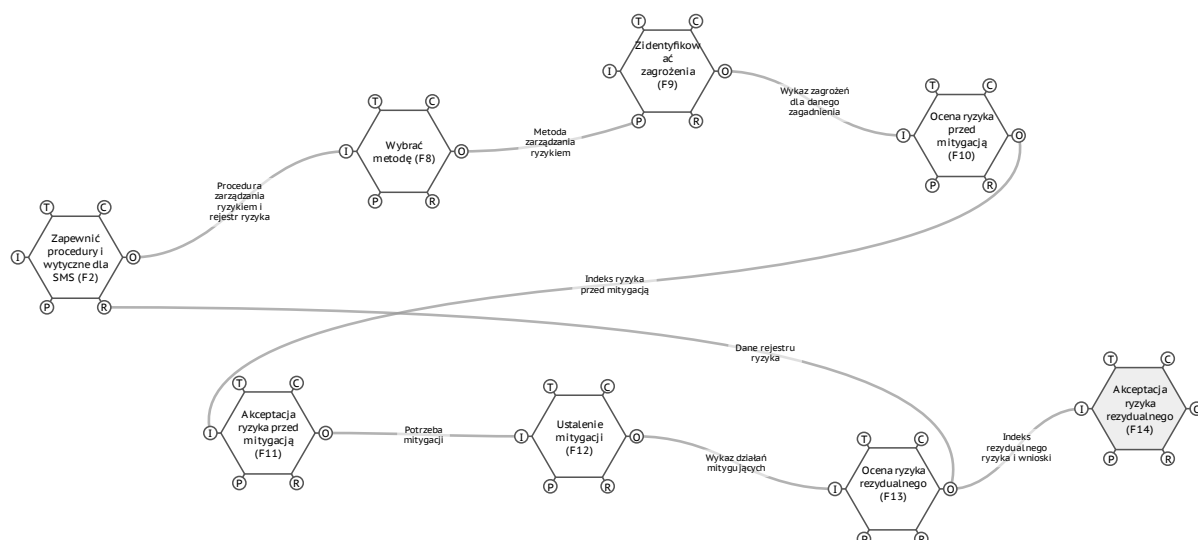
Funkcja nadrzędna	Output → Input	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędna
F12 Ustalenie mitygacji	Wykaz działań mitygujących oraz dotychczas. dane są wyk. do oceny ryzyka.	F13 Ocena ryzyka rezydualnego	Czasowość i precyzja funkcji mają znaczący wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Nieistotna	Nieprecyzyjnie	Ocena ryzyka jest niewiarygodna (<u>bardzo duży wzrost zmienności</u>)

Wszystkie opisane powyżej zmienne rezonują ze sobą i zwiększają prawdopodobieństwo podjęcia błędnej końcowej decyzji dotyczącej akceptacji ryzyka. To sprawia, że SMS jest nieskuteczny, tj. nie chroni organizacji przed materializacją zagrożeń. Wyniki tej analizy przedstawiono w Tabeli 35.

Tabela 35 Możliwy wpływ na <F14 Akceptacja ryzyka rezydualnego> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Input	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędna
F13 Ocena ryzyka rezydualnego	Ostateczny indeks ryzyka oraz wnioski są podstawą ostatecznej decyzji dot. akceptacji ryzyka.	F14 Akceptacja ryzyka rezydualnego	Czasowość i precyzja funkcji mają znaczący wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Nieistotna	Nieprecyzyjnie	Błędna pozytywna decyzja dot. akceptacji ryzyka. (<u>bardzo duży wzrost zmienności</u>)

Analiza zmienności poszczególnych funkcji przedstawiona w powyższych tabelach stanowi tworzenie się rezonansu funkcjonalnego. Rysunek 32 przedstawia ten przepływ zmienności.

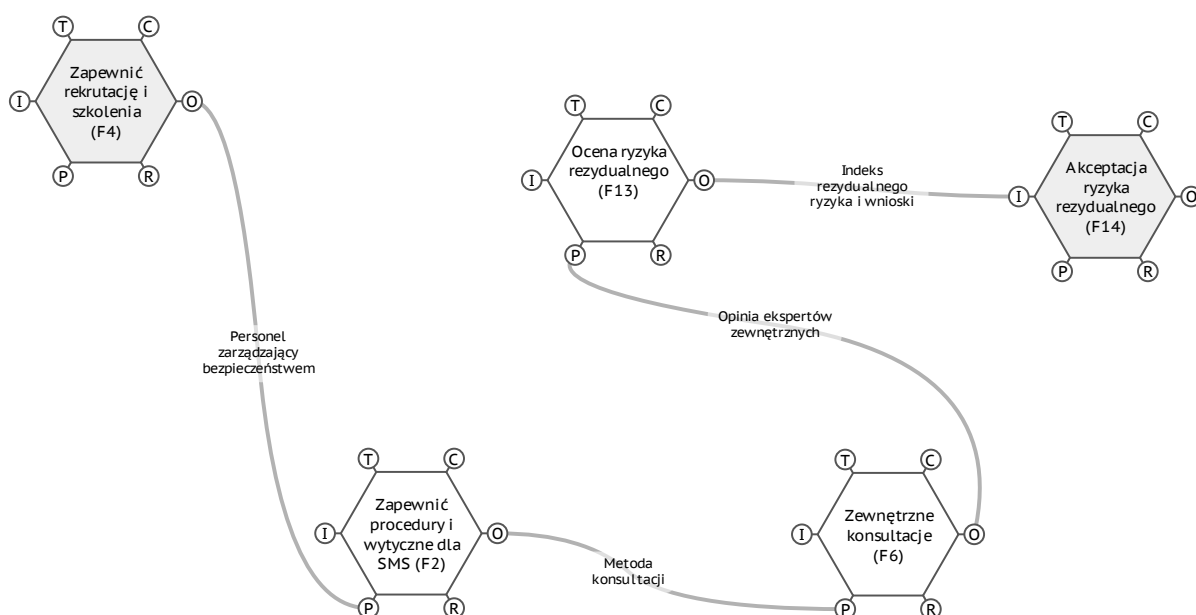


Rysunek 32 Graficzne przedstawienie rezonansu funkcjonalnego zmienności funkcji zapewniania procedur i wytycznych SMS; funkcje scharakteryzowane za pomocą jednej cechy oznaczono na szaro (źródło: opracowanie własne).

Rezonans funkcjonalny zmienności (precyzji) zapewniania rekrutacji i szkoleń

Analogicznie jak w pierwszym przypadku, zbadano możliwą zmienność funkcji <F4 Zapewnić rekrutację i szkolenia>. Zakładamy, że występują problemy z pozyskaniem przeszkolonego personelu (typowe dla większości lotnisk, w tym analizowanego w studium przypadku). Z tego powodu realizacja funkcji <F4 Zapewnić rekrutację i szkolenia> jest zmienna pod względem precyzji.

Funkcja F4 ma jedno wyjście (output): <O5 Personel zarządzający bezpieczeństwem>, które jest potrzebne do realizacji większości pozostałych funkcji całego procesu. W tym przypadku przeanalizowano jak zmienność funkcji F4 wpływa na funkcję akceptacji ryzyka rezydualnego (F14) poprzez, między innymi, konsultacje zewnętrzne (F6). Ze względu na objętość rozdziału pominięto tabele, które posłużyły w poprzednim przypadku do analizy kolejnych funkcji uwzględnionych w rezonansie funkcjonalnym. Na poniższym rysunku (Rysunek 33) przedstawiono końcowe wyniki analizy wpływu funkcji F4 na <F14 Akceptacja ryzyka rezydualnego>.



Rysunek 33 Graficzne przedstawienie rezonansu funkcjonalnego zmienności funkcji zapewniania rekrutacji i szkolenia; funkcje scharakteryzowane za pomocą jednej cechy oznaczono na szaro (źródło: opracowanie własne).

5.1.4 Propozycja sposobów zarządzania zmiennością

Barierą dla opisanej zmienności funkcji F2 w zakresie dostarczania procedur i wytycznych SMS jest wprowadzenie obowiązku ich przeglądu i oceny przez zewnętrznego, niezależnego eksperta z ustaloną częstotliwością. Byłaby to bariera niematerialna (nakłada ograniczenia na wykonywanie funkcji, ale nie istnieje w sensie fizycznym). Bez aktualnego przeglądu procedury specjalista SMS nie mógłby wybrać metody oceny ryzyka, zachowując jednocześnie zgodność z procedurą. W przypadku wykorzystania systemu informatycznego do wdrożenia procesu, bariera mogłaby mieć charakter fizyczny, tj. blokować możliwość rozpoczęcia procesu oceny ryzyka, gdyby w systemie nie było potwierdzenia, że ekspert zweryfikował jakość i kompletność wyników funkcji F2.

Barierą dla analizowanej zmienności funkcji F4 w zakresie zapewniania personelu zarządzającego bezpieczeństwem lotniska byłoby wprowadzenie obowiązku ukończenia przez specjalistów w tej dziedzinie standardowych szkoleń z zakresu komunikacji i burzy mózgów. Byłaby to bariera funkcjonalna. Analiza przeprowadzona dla proponowanych powyżej środków zaradczych dla funkcji F2 i F4 wskazuje, że ich zastosowanie utrudnia lub uniemożliwia powstanie opisanego rezonansu funkcjonalnego. Oczywiście, oprócz zmienności funkcji F2 i F4 opisanej bardziej szczegółowo oraz możliwości ich propagacji aż do powstania rezonansu funkcjonalnego, pozostałe funkcje również charakteryzują się specyficznymi zmiennościami. One również mogą prowadzić do nieprawidłowego funkcjonowania procesu zarządzania ryzykiem na lotnisku. W niniejszym rozdziale przedstawiono jedynie te środki

zaradcze, których zastosowanie wynika z analiz przeprowadzonych z wykorzystaniem modelu FRAM.

Aby zmniejszyć zmienność dotyczącą potencjalnego wyboru niewłaściwej metody, utrudniającej identyfikację ryzyka, proponuje się wprowadzenie mechanizmu wspomagającego osobę w wyborze metody oceny ryzyka (funkcja F8). Zastosowanie tego mechanizmu byłoby konieczne do wdrożenia funkcji F8 – stanowiłoby to barierę funkcjonalną.

Brak wykazu zagrożeń lub jego niska jakość wynika z nieprawidłowego działania funkcji „zidentyfikować zagrożenia” (F9). Ma to istotny wpływ na funkcję oceny ryzyka przed mitygacją (F10), dla której wykaz zagrożeń stanowi daną wejściową (input). Zaleca się wprowadzenie dodatkowego narzędzia – listy kontrolnej weryfikującej prawidłowość sformułowania zagrożenia. Zmniejszy to skutki rezonansu funkcjonalnego, który składa się z sekwencji: nieprawidłowa ocena ryzyka – brak identyfikacji najistotniejszych potencjalnych konsekwencji. Narzędzie to stanowiłoby barierę funkcjonalną.

Aby zmniejszyć zmienność (pod względem jakości wdrożenia) funkcji F14 (ocena ryzyka rezydualnego), możliwe jest wprowadzenie symbolicznej bariery bezpieczeństwa polegającej na obowiązku osoby przeprowadzającej ocenę ryzyka do omawiania jej wyników w ramach regularnych spotkań kierownictwa lotniska. Takie rozwiązanie zwiększyłoby świadomość osoby przeprowadzającej ocenę ryzyka co do znaczenia jej decyzji dla procesu. Mogłoby to usprawnić komunikację między osobami wykonującymi następujące funkcje: ocena ryzyka rezydualnego F13 i akceptacja ryzyka rezydualnego F14.

5.2 Omówienie wyników analizy FRAM i wnioski w zakresie przebiegu procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina

Analiza potwierdziła, że przyczyny zmienności różnych funkcji procesu zarządzania ryzykiem na Lotnisku Chopina związane są głównie z czynnikiem ludzkim. Zidentyfikowano możliwości wprowadzenia barier w celu zmniejszenia zmienności tego procesu, co może zapewnić jego bardziej stabilny przebieg i poprawić jego efektywność. Zidentyfikowaną możliwość poprawy funkcjonowania zarządzania ryzykiem planuje się uwzględnić podczas opracowywania metody (rozdział 6).

Potwierdzono, że FRAM może być wykorzystany do oceny procesu zarządzania ryzykiem w organizacji lotniczej i wprowadzenia zmian w celu poprawy jego efektywności. Zidentyfikowano następujące funkcje tego procesu: opisać i przeanalizować dane zagadnienie (F1), zapewnić procedury i wytyczne dla SMS (F2), zapewnić procedury i wytyczne dotyczące lotniska (F3), zapewnić rekrutację i szkolenia (F4), wewnętrzne konsultacje (F5), zewnętrzne konsultacje (F6), zapewnić oprogramowanie (F7), wybrać metodę (F8), zidentyfikować

zagrożenia (F9), ocena ryzyka przed mitygacją (F10), akceptacja ryzyka przed mitygacją (F11), ustalenie mitygacji (F12), ocena ryzyka rezydualnego (F13), akceptacja ryzyka rezydualnego (F14), udokumentować ocenę ryzyka (F15). Interakcje (sprzężenia) między tymi funkcjami naniesiono na model FRAM. Przeanalizowano rezonans funkcjonalny dla dwóch wybranych przypadków. Wybór przypadków został zainspirowany badaniami nad omawianym procesem. Potwierdzono, że przypadki te występują w rzeczywistości. Zgodnie z wynikami badań, w wielu funkcjach nie ma mechanizmu kontroli, co zwiększa ich zmienność. Kontrola nadzoruje lub reguluje funkcję, aby generowała pożądany wynik. Brak lub nieefektywność kontroli obserwuje się w wielu funkcjach procesu oceny ryzyka na Lotnisku Chopina w Warszawie. Najgorszym i najgroźniejszym skutkiem rezonansu zmienności może być zła decyzja o akceptacji ryzyka. Jest to nieuniknione, jeśli indeksy ryzyka są źle wskazywane. Błędne decyzje w tym zakresie mogą prowadzić do sytuacji, w której zasoby organizacji będą koncentrowane na kwestiach mniej krytycznych, a kwestie niebezpieczne rozwiną się w sposób niekontrolowany.

Przedstawione podejście ma jednak pewne ograniczenia. Model FRAM jest metodą jakościową. Nie koncentruje się na prawdopodobieństwie nieprawidłowego działania procesu. Analiza przeprowadzona tą metodą dostarcza informacji o możliwych zmiennościach funkcji i ich interakcjach (rezonans). Badanie opisane w niniejszym rozdziale nie uwzględnia zmierzania zidentyfikowanego rezonansu zmienności.

Wyniki analiz pomogły zrozumieć wpływ zmienności każdej funkcji na wyniki procesu. Dostarczono wskazówek dotyczących usprawnienia procesu zarządzania ryzykiem. Potwierdzają one potrzebę stworzenia metody, która będzie organizowała proces, wprowadzając mechanizmy eliminujące możliwość wystąpienia błędu ludzkiego. Metoda powinna uwzględniać różne okoliczności zarządzania ryzykiem na lotnisku. Umożliwi to łatwiejszy dobór metod analizy i oceny ryzyka odpowiedniej do badanego przypadku. Wspomniana metoda powinna wprowadzać mechanizmy kontroli wielu funkcji procesu zarządzania ryzykiem. Potwierdzono, że taki mechanizm może pomóc w zmniejszeniu rezonansu zmienności omawianego procesu.

Niniejszy rozdział przedstawia formalną analizę procesu zarządzania ryzykiem na lotnisku. Na podstawie wyników uzyskanych w studium przypadku przeprowadzonym na Lotnisku Chopina w Warszawie, ustalono, że:

- FRAM jest odpowiednim narzędziem do oceny procesu zarządzania ryzykiem w organizacji lotniczej i identyfikacji potencjalnych usprawnień.
- Proces oceny ryzyka na Lotnisku Chopina w Warszawie można udoskonalić.

- Czynniki ludzkie są główną przyczyną zmienności różnych funkcji procesu zarządzania ryzykiem na Lotnisku Chopina w Warszawie. Zmienność funkcji tego procesu może ze sobą rezonować.
- Najbardziej niebezpiecznym skutkiem rezonansu zmienności procesu zarządzania ryzykiem na Lotnisku Chopina w Warszawie może być błędna decyzja o akceptacji ryzyka.
- Wprowadzenie nowych lub ulepszenie istniejących mechanizmów kontroli w procesie zarządzania ryzykiem na Lotnisku Chopina w Warszawie może zmniejszyć zmienność tego procesu.

Wyniki badań prezentowane w niniejszym rozdziale były publikowane przez autorkę w 2025 r. (Marzec i Skorupski, 2025).

6 Metoda zarządzania ryzykiem

6.1 Wstęp

W celu rozwiązania problemu badawczego zdefiniowanego w rozdziale 2.1 proponuje się stosowanie niżej opisanej metody zarządzania ryzykiem. Metoda ta stanowi system doradczy dla specjalistów zajmujących się zarządzaniem ryzykiem na lotniskach, ale może być wykorzystywana także w innych typach organizacji lotniczych. Możliwość zaimplementowania nowej, holistycznej metody zarządzania ryzykiem, która będzie stanowiła element systemu zarządzania bezpieczeństwem lotniska potwierdzają wyniki przeglądu literatury (rozdział 1.2.4). Przegląd potwierdził również, że dotychczas nie publikowano artykułów proponujących całościową metodę zarządzania ryzykiem na lotnisku, która zapewniłaby wskazówki dla każdego etapu tego procesu.

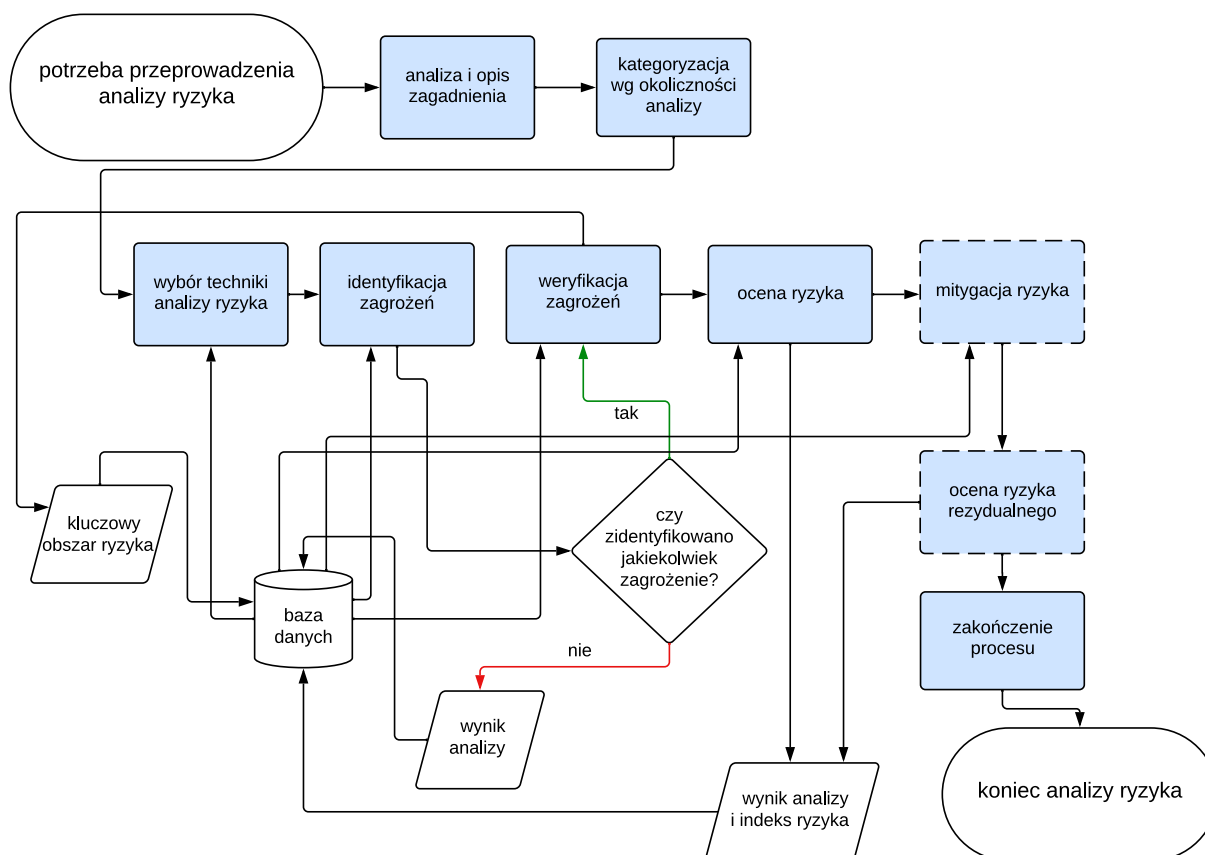
Uwzględniając wnioski wynikające z wszystkich etapów przeprowadzonych badań ustalono, że zbudowanie systemu doradczego porządkującego i uzupełniającego przebieg zarządzania ryzykiem na lotnisku, pozwoli na poprawę funkcjonowania tego procesu i odpowie na zidentyfikowane w tym zakresie potrzeby (rozdział 3.3, rozdział 4.6). Ma także na celu wspieranie w unikaniu błędów ludzkich podczas realizacji procesu zarządzania ryzykiem (rozdział 1.2.4). Metoda ta ma za zadanie zniwelować zidentyfikowane na podstawie modelu FRAM negatywne zmienności procesu zarządzania ryzykiem (rozdział 5.2), przede wszystkim przez stosowanie jej jako narzędzia kontroli przebiegu poszczególnych funkcji procesu. Jej uporządkowanie i przewidywalność mają za zadanie wsparcie w prowadzeniu skutecznych konsultacji ze specjalistami niebędącymi personelem zajmującym się na co dzień procesami

zarządzania bezpieczeństwem, co zidentyfikowano jako wyzwanie w rozdziale 4.1.1. Zaprojektowana metoda wykorzystuje zarówno istniejące techniki (dostosowując je odpowiednio do specyfiki zarządzania bezpieczeństwem na lotnisku) jak i implementuje nowe, opracowane w ramach niniejszej pracy, co także jest zgodne z wnioskami z przeprowadzonej analizy (rozdział 4.6).

Proponowana metoda zarządzania ryzykiem składa się z następujących czynności:

1. Dokonanie analizy i opisu zagadnienia będącego przedmiotem analizy wraz z określeniem kategorii okoliczności prowadzonej analizy (rozdział 6.2),
2. Wybór metody analizy ryzyka (rozdział 6.3),
3. Identyfikacja zagrożeń (rozdział 6.7),
4. Weryfikacja zagrożeń wraz z przypisaniem zagrożeń do kluczowych obszarów ryzyka (rozdział 6.8),
5. Ocena ryzyka (rozdział 6.9),
6. Mitygacja ryzyka (rozdział 6.10),
7. Ocena ryzyka rezydualnego (rozdział 0),
8. Zakończenie procesu (rozdział 6.12).

Przebieg analizy ryzyka z zastosowaniem niniejszej metody przedstawiono na schemacie blokowym (Rysunek 34). Prezentowany schemat blokowy może stanowić procedurę opisującą przebiegu procesu zarządzania ryzykiem na Lotnisku Chopina. Jak wskazano w rozdziale 4.1.1 obszerna, opisowa dokumentacja sprawia, że w praktyce rzadko się do niej sięga, opierając się na własnym doświadczeniu i „odtworząc” dokumentację dotychczasowych analiz, dlatego przyjęto postać schematyczną.



Rysunek 34 Schemat blokowy proponowanej metody zarządzania ryzykiem (źródło: opracowanie własne)

Etapy metody rozwinięte w kolejnych rozdziałach (stanowiące zasadnicze elementy metody) wyróżniono na schemacie kolorem niebieskim. Ponadto na metodę składają się metody opracowane w ramach niniejszej pracy: lista kontrolna „zmiana cech lotniska” (rozdział 6.4), lista kontrolna „prace remontowo-budowlane” (rozdział 6.5) oraz klasyfikator bayesowski (rozdział 0). Elementem uzupełniającym metodę jest zawarty w rozdziale 6.13 zestaw wskaźników bezpieczeństwa dla Lotniska Chopina. Ze względu na ograniczenia wskaźników bezpieczeństwa opisane w rozdziale 4.1.2.1, narzędzie przyjęto jako wspomagające, a nie podstawowy element procesu.

Ocena ekspercka jest obecna w metodzie, jednak nie jest jedynym stosowanym narzędziem oceny ryzyka. Odpowiada to wnioskowi z analizy procesu zarządzania ryzykiem w wybranych organizacjach lotniczych (rozdział 4.6): ocena eksperta silnie zależy od jego perspektywy i doświadczenia; jest obciążona dużym ryzykiem błędu. Subiektywności nie można i nie należy wyeliminować całkowicie, jednak należy ją ograniczać i monitorować. Istnieją jednak przypadki (zagadnienia nietypowe, nieznane wcześniej, innowacyjne), dla których korzystne jest stosowanie wyłącznie metody oceny eksperckiej. Z tego względu zachowano możliwość ingerencji eksperta w przebieg procesu na każdym etapie.

Ważną cechą opracowanej metody jest jej modułowość: możliwe jest jej implementowanie w częściowym zakresie lub w podziale na etapy. Ma to na celu zapewnić elastyczność wdrożenia.

6.2 Działania przygotowawcze

6.2.1 Analiza i opis zagadnienia

Niniejszy etap postępowania przy zarządzaniu ryzykiem realizuje przedstawione w pracy wnioski, w szczególności realizuje potrzebę każdorazowej weryfikacji słuszności objęcia zagadnienia systemem zarządzania bezpieczeństwem (zgodnie z rozdziałem 4.6).

W celu zarządzania ryzykiem (tj. identyfikacji zagrożeń, oceny ryzyka i jego mitygacji) konieczne jest uprzednie zrozumienie analizowanego zagadnienia (Gill i Kadziński, 2016). W tym celu prowadzi się analizy dostępnych danych oraz analizę przebiegu ewentualnego procesu powiązanego z zagadnieniem. Na podstawie analizy zagadnienia należy określić:

- Jaki jest cel analizowanego zagadnienia?
- Czy analizowane zagadnienie mieści się w zakresie stosowania systemu zarządzania bezpieczeństwem?
- Czy analizowane zagadnienie jest uregulowane przez przepisy, jeśli tak, to jakie?
- Czy analizowane zagadnienie dotyczy powtarzającego się na lotnisku zjawiska (czy organizacja jest doświadczona w danym zakresie)?
- Czy organizacja dysponuje dużą ilością danych na temat zagadnienia?
- Czy organizacja monitoruje wskaźniki bezpieczeństwa powiązane z analizowanym zagadnieniem?
- Czy analiza dotyczy newralgicznego dla lotniska zagrożenia?

Analiza zagadnienia ujednolica wspólne zrozumienie między interesariuszami (użytkownicy, projektanci, decydenci) oraz pozwala na wczesną identyfikację ew. nieporozumień dotyczących założeń czy wymagań.

W przypadku analizy ryzyka związanego ze zdarzeniem jako analizę zagadnienia przyjmuje się opis przebiegu zdarzenia, ustalenia dotyczące jego okoliczności oraz analizę powiązanych procedur.

6.2.2 Kategorie analiz ryzyka według okoliczności ich prowadzenia

Proces zarządzania ryzykiem realizuje się na lotnisku zarówno w odniesieniu do dokonanych, trwających, jak i niedokonanych stanów, wydarzeń czy sytuacji. Niektóre z poddawanych procesowi zagadnień mają charakter trwały / ciągły (tj. nie jest możliwe ich określenie w czasie). Niniejsza metoda uwzględnia tę specyfikę poprzez wprowadzanie

poniższej kategoryzacji analiz, która została opracowana na podstawie prowadzonych przez autorkę analiz i obserwacji na polskich lotniskach użytku publicznego, wyników przeglądu literatury (rozdział 1.2.4), oraz analizy dokumentacji SMS Lotniska Chopina.

Proces zarządzania ryzykiem realizowany jest podczas:

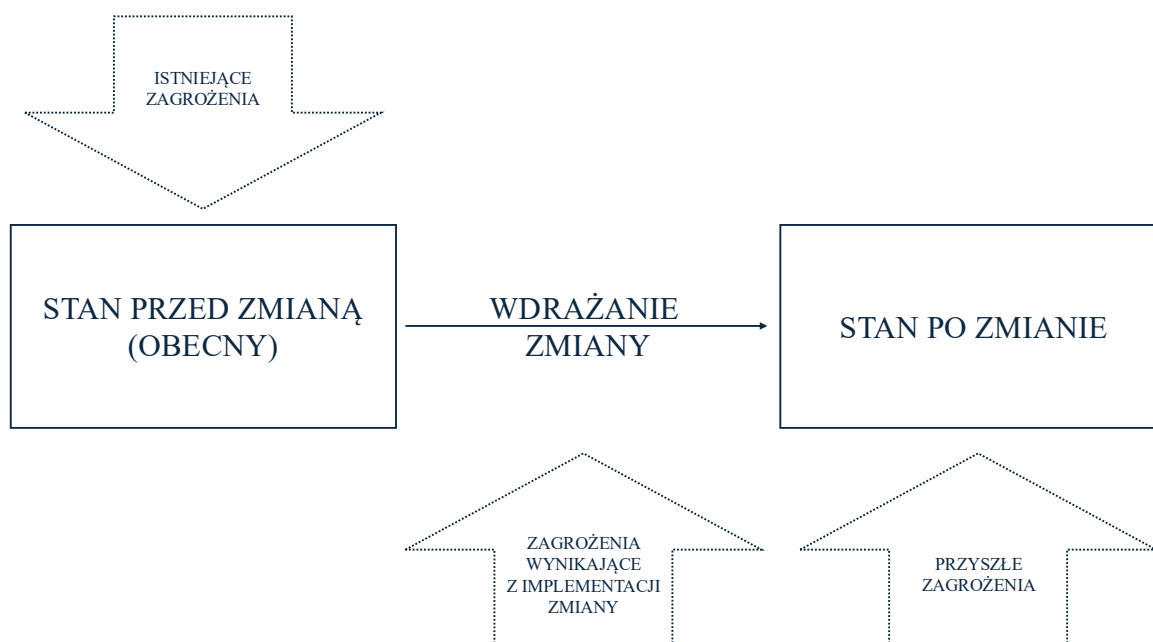
- A. badania sytuacji, które miały miejsce na lotnisku:
 - A1. badania zdarzeń podlegających obowiązkowemu raportowaniu (mandatory occurrence reporting system, MORS),
 - A2. analizowania pozostałych wydarzeń związanych z bezpieczeństwem,
- B. analizowania stanu istniejącego na lotnisku:
 - B1. analizowania stanu istniejącego na lotnisku mogącego wpływać negatywnie na bezpieczeństwo,
 - B2. analizowania zagrożeń we wskazanym obszarze,
- C. analizowania określonych w czasie wydarzeń / procesów, które mają się wydarzyć na lotnisku:
 - C1. planowane / spodziewane wydarzenie na lotnisku,
 - C2. wdrażanie zmian operacyjnych i zarządczych,
- D. analizowania skutków wdrożenia zmiany na lotnisku:
 - D1. zmian infrastrukturalnych,
 - D2. zmian w procesach lotniskowych,
 - D3. zmian zarządczych.

Dla każdej z wyżej wymienionych kategorii w Tabeli 36 przytoczono przykłady zagadnień, dla których były przeprowadzane analizy ryzyka na Lotnisku Chopina w ostatnich latach.

Tabela 36 Przykłady zagadnień, dla których prowadzone były analizy i oceny ryzyka na Lotnisku Chopina w Warszawie (źródło: opracowanie własne).

kategoria	przykład zagadnienia
A1.zdarzenie	– zderzenie statku powietrznego z infrastrukturą lotniska – zderzenie statku powietrznego z ptakiem
A2.wydarzenie związane z bezpieczeństwem	– zakłócenie kołowania statku powietrznego – obecność ciała obcego na stanowisku postojowym – usterka oświetlenia przeszkodowego budynku – deboarding pasażerów został rozpoczęty mimo braku dosunięcia poręczy schodów pasażerskich do kadłuba samolotu
B1.stan istniejący na lotnisku mogący wpływać negatywnie na bezpieczeństwo	– płyta postojowa nie spełnia wymagań z zakresu oświetlenia projektorowego – braki kadrowe wśród Dyżurnych Operacyjnych Portu (personel Zarządzającego) – braki kadrowe wśród pracowników obsługi naziemnej (personel organizacji zewnętrznej) – wzrost zdarzeń związanych z bezpieczeństwem lub wykroczeń prawa
B2.zagrożenia we wskazanym obszarze	– bezpieczeństwo dróg startowych – aktywność ptaków w otoczeniu i na lotnisku – działalność wskazanego Agenta Obsługi Naziemnej na lotnisku – obecność ciał obcych na nawierzchniach lotniska – przechowywanie paliwa i materiałów niebezpiecznych na lotnisku
C1.planowane / spodziewane wydarzenie na lotnisku	– remont nawierzchni drogi startowej – budowa hangaru wraz z płytą postojową – zakłócenie kołowania statku powietrznego – planowanie lotu BSP nad lotniskiem
C2.wdrażanie zmiany operacyjnej lub zarządczej	– wdrażanie procedur poruszania się na nowej płycie postojowej – wdrażanie nowego procesu zarządzania ryzykiem Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem – wdrażanie nowej struktury organizacyjnej Zarządzającego
D1.zmiana infrastrukturalna	– ustawienie zbiornika na płyn odlodzeniowy w obszarze płyty postojowej – nowa droga kołowania – rozbiórka obiektu wykazanego w rejestrze lotniska
D2.zmiana w procesach lotniskowych	– uzupełnienie programu obsługi technicznej oświetlenia nawigacyjnego o kontrole świateł dróg kołowania prowadzone z powietrza – zmiana metody oceny stanu nawierzchni drogi startowej
D3.zmiana zarządcza	– zmiana procesu zarządzania ryzykiem Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem – zmiana osoby pełniącej funkcję Kierownika Odpowiedzialnego lotniska – zmiana struktury organizacyjnej Zarządzającego

Są sytuacje, w których przed Zarządzającym stoi wyzwanie przeprowadzenia analizy dla zagadnienia mieszczącego się równocześnie w kilku z powyższych kategorii. Najczęściej z takim przypadkiem mamy do czynienia podczas prowadzenia analiz dla zmian. Przykładem może być rekonfiguracja płyty postojowej. W tym przypadku zagrożenia mogą się wiązać zarówno ze zmianą infrastruktury lotniska (np. inne niż dotychczas wymiary i układy stanowisk postojowych (zmiana infrastrukturalna D1)) jak i ze zmianą procedur operacyjnych powiązanych ze zmienianą infrastrukturą (np. inna niż dotychczas organizacja ruchu na płycie postojowej, zmieniony program obsługi technicznej nawierzchni (zmiana w procesach lotniskowych D2)). Aspekty te mogą rodzić zagrożenia także już w trakcie wdrażania: np. głębokie wykopy w trakcie prac remontowych wynikające ze zmiany infrastrukturalnej (prace remontowo-budowlane C1) czy proces wprowadzania nowych zasad poruszania się na płycie postojowej (wdrażanie zmiany operacyjnej lub zarządczej C2). Zagrożenia powiązane z procesem zmieniania i zagrożenia związane ze zmianą ilustruje Rysunek 35. Opisana cecha analiz została uwzględniona podczas projektowania metody.



Rysunek 35 Ryzyka zmieniania i ryzyka zmiany (źródło: opracowanie własne).

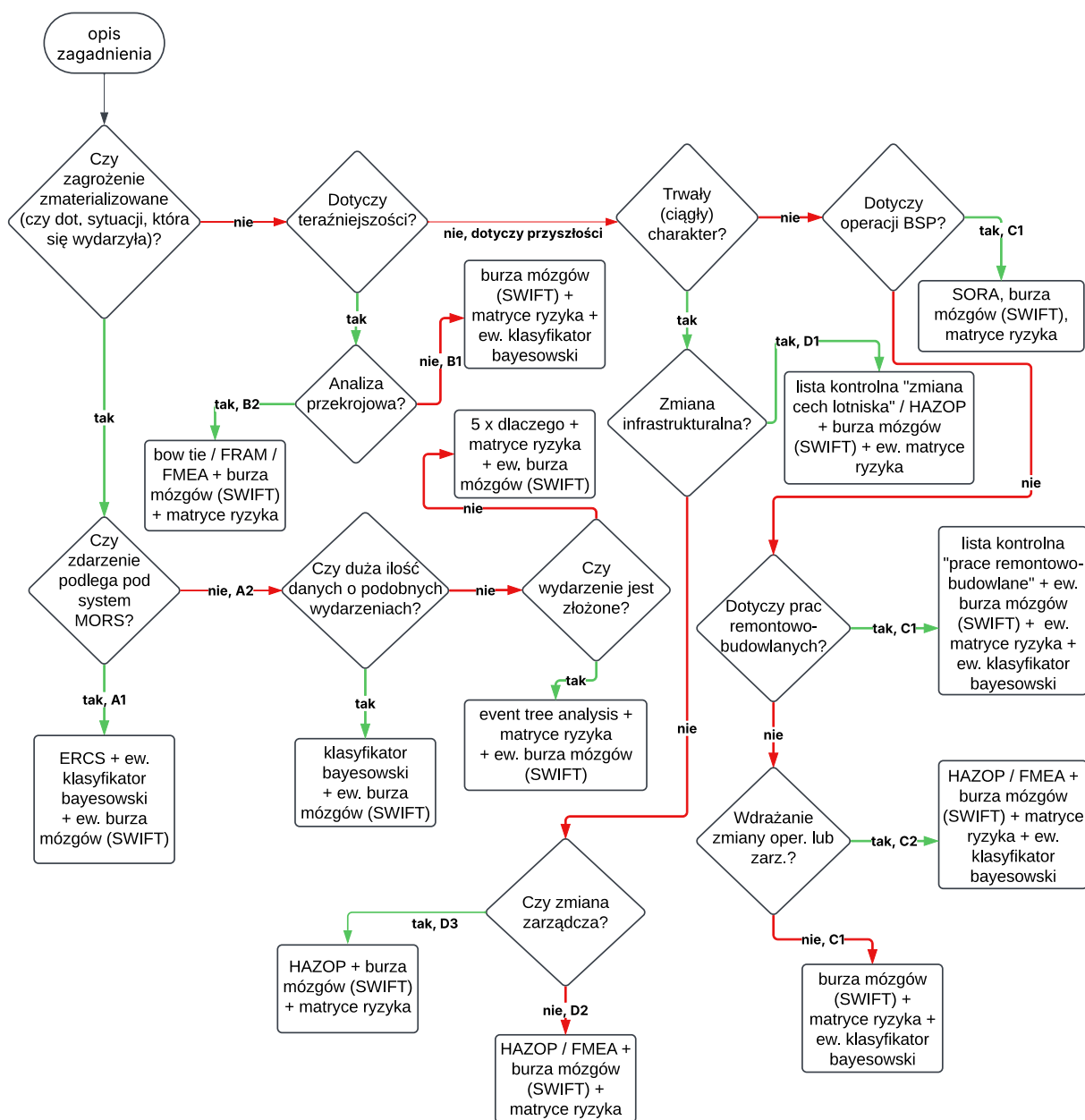
6.3 Wybór metody analizy ryzyka

Przegląd literatury wykazał (rozdział 1.2.4), że do tych samych zagadnień stosowane są różne metody zarządzania ryzykiem. Brak jest metody łączącej oraz mechanizmu doboru metody zarządzania ryzykiem do danego zagadnienia – stosowane są one ad hoc, zależnie od miejsca i osoby. Analizy opisane w rozdziale 4 wskazały, że mimo istnienia wielu różnorodnych metod do zarządzania ryzykiem, w codziennej pracy lotniska najczęściej

używane jest niewiele z nich, co wynika z pośpiechu i braku przygotowania do stosowania różnych metod. Potwierdzono także zainteresowanie personelu SMS wdrażaniem innych niż do tej pory narzędzi i technik (rozdział 4.1.2). Ponadto analiza procesu zarządzania ryzykiem prowadzona metodą FRAM wskazała, że wprowadzenie mechanizmu wspomagającego osobę w wyborze metody oceny ryzyka stanowiłoby barierę funkcjonalną zmniejszającą zmienność dotyczącą potencjalnego wyboru niewłaściwej metody, utrudniającą identyfikację ryzyka (rozdział 5.1.4). W związku z tym zdecydowano o opracowaniu mechanizmu doboru metody analizy ryzyka.

Zważając na różnorodność okoliczności oraz na występowanie newralgicznych, specyficznych oraz nowych zagrożeń (patrz rozdział 4), warto jest indywidualnie dostosowywać używane techniki zarządzania ryzykiem. Celem tego etapu proponowanej metody jest zapewnienie adekwatnego do złożoności oraz istotności zagadnienia wykorzystania zasobów organizacji, tj. stosowanie bardziej czasochłonnych oraz złożonych technik analizy ryzyka wyłącznie w sytuacjach tego wymagających, kiedy będzie to korzystne dla bezpieczeństwa. Dla zagadnień, na których temat organizacja dysponuje dużą ilością danych lub które nie są związane z wysokiego poziomu ryzykiem, proponuje się stosowanie technik częściowo automatycznych lub uproszczonych.

W celu wspomagania decyzji dotyczącej wyboru techniki przeprowadzenia analizy ryzyka opracowano drzewo decyzyjne (Rysunek 36). Drzewo decyzyjne zostało opracowane w oparciu o charakterystykę poszczególnych metod oraz wyniki analizy możliwości ich zastosowania na lotnisku (rozdział 3 i 4). Uwzględniono zakres, sposób realizacji oraz potrzeby związane z procesem zarządzania ryzykiem w organizacjach lotniczych, w szczególności na lotniskach (rozdział 4). Wynikiem drzewa jest sugestia zastosowania określonej techniki dla wskazanego zagadnienia skierowana do specjalisty zajmującego się daną analizą (jego ekspercka wiedza może jednak wskazać, że nie jest ona najlepsza – niniejszy etap, jak cała metoda, ma charakter doradczy). Zakres zastosowania danej techniki do poszczególnych procesów zarządzania ryzykiem (identyfikacja zagrożeń, ocena ryzyka, mitygacja ryzyka) nie jest narzucony, jednak w dalszej części opisu sformułowano sugestie w tym zakresie.



Rysunek 36 Drzewo decyzyjne wspomagające proces wyboru techniki analizy ryzyka (źródło: opracowanie własne)

Drzewo przedstawione na Rysunku 36 zbudowano w oparciu o wyniki przeprowadzonych badań. Na schemacie numeracją ustaloną w rozdziale 6.2.2 oznaczono kategorie analiz.

Każda analiza ryzyka może być wspomagana (lub, w przypadku mniej złożonych tematów, w całości zrealizowana) metodą burzy mózgów (brainstorming). Rekomenduje się stosowanie ustrukturyzowanej burzy mózgów, jaką jest technika “co będzie, jeśli” (Structured What-If Technique, SWIFT). Zgodnie z treścią rozdziałów 3.1.2 oraz 3.2, burza mózgów to metoda o bardzo szerokim zastosowaniu, łatwa w użyciu. Jest jedną z technik wskazanych dla lotnisk w materiałach doradczych (EASA, 2014) (także w wersji ustrukturyzowanej, tj. SWIFT). Warunkiem jej zastosowania jest dostępność co najmniej dwóch ekspertów. Metoda

ta jest bardzo korzystna podczas analizowania nowych lub skomplikowanych zagadnień. Burza mózgów sprzyja twórczemu myśleniu i rozwija wyobraźnię, pomagając wyjść poza utarte schematy. Gdy brakuje nam punktu wyjścia, warto sięgnąć po taką sesję, by pobudzić pomysły i znaleźć kierunek działania. Metoda SWIFT wykorzystuje ustalony wcześniej zestaw słów kluczowych, co porządkuje dyskusję.

Ponadto, zgodnie z wnioskami zawartymi w rozdziale 1.2.4 w każdym przypadku (z wyłączeniem analiz zdarzeń lotniczych podlegających obowiązkowemu zgłaszaniu) zaleca się stosowanie matryc ryzyka. Matryce oceny ryzyka proponowane przez ICAO, są powszechnie stosowane w branży lotniczej, co ułatwia komunikację z innymi organizacjami, z którymi lotnisko współpracuje (rozdział 4.6). Metoda ta została opisana w rozdziale 3.1.5. Należy zwrócić uwagę, że metoda klasyfikatora bayesowskiego oraz list kontrolnych zawierają w sobie stosowanie matryc (dlatego mimo braku wskazania matryc dla analiz prowadzonych z wykorzystaniem tych metod na schemacie, de facto są one stosowane także dla nich). Proces zarządzania ryzykiem względem zdarzeń lotniczych raportowanych w ECCAIRS zaleca się realizować z wykorzystaniem dedykowanej metody ERCS (rozdział 3.1.11), której połączenie ze stosowaniem matryc ryzyka nie jest możliwe.

Ustalono, że istnieją pewne wytyczne podmiotów regulujących branżę lotniczą w zakresie metod zarządzania ryzykiem (rozdział 1.2.4), w związku z czym zdecydowano o ich uwzględnienia w projektowanej metodzie. Metoda uwzględnia rekomendację EASA w zakresie stosowania metody SORA do zarządzania ryzykiem operacji bezzałogowych statków powietrznych, wytyczne rozporządzenia regulującego dokonywanie istotnych zmian eksploatacyjnych i technicznych cech lotniska (zostały wykorzystane podczas budowy listy kontrolnej „zmiana cech lotniska”) oraz rekomendację stosowania europejskiego systemu klasyfikacji ryzyka związanego ze zdarzeniami (ERCS).

W odpowiedzi na zidentyfikowaną możliwość stosowania metod opartych na sieciach bayesowskich (rozdział 1.2.4) do analizy ryzyka zjawisk, na temat których zarządzający lotniskiem ma dużo danych (które się często powtarzają) oraz potrzebę wprowadzania dodatkowych metod ilościowych (rozdział 4.6), do metody włączono klasyfikator bayesowski. Klasyfikator ten może być wykorzystywany przede wszystkim do oceny ryzyka związanego ze zdarzeniami, ale także podczas analizy ryzyka związanego z wdrażaniem zmian czy analizowania stanu istniejącego na lotnisku mogącego wpływać negatywnie na bezpieczeństwo. W pracy opisano budowę eksperymentalnego klasyfikatora dla wybranego zagadnienia (rozdział 0).

Pomimo dużo szerszego możliwego zastosowania metody FMEA (rozdział 3.2) przyjęto jej stosowanie wyłącznie dla zmian przekrojowych (analizy kategorii B2), analiz procesu wdrażania zmian operacyjnych lub proceduralnych (C2) oraz analiz zmian w procesach lotniskowych (D2). Metoda ta jest rekomendowana dla lotnisk w materiałach doradczych Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA, 2014). Minimalizacja wykorzystania FMEA w zaprojektowanej metodzie jest powiązana z czasochłonnością stosowania FMEA – zaproponowano jej stosowanie do analiz, które prowadzi się stosunkowo rzadko. Ze względu na to, że pozwala ona dogłębnie zweryfikować projektowany lub istniejący wieloetapowy proces lub system, zaleca się jej stosowanie do wskazanych trzech kategorii analiz, których wyniki stanowią często podstawę do podejmowania strategicznych dla lotniska decyzji. Ma to na celu wykorzystanie jej potencjału wspierania w unikaniu konieczności kosztownych modyfikacji sprzętu/procesów w trakcie eksploatacji poprzez wczesną identyfikację problemów w procesie projektowania/ planowania. FMEA zaleca się stosować wraz z matrycami dotkliwości oraz prawdopodobieństwa do oceny ryzyka (rozdział 3.1.5).

Uwzględniając cechy metody HAZOP, w szczególności wsparcie rzetelnego i metodycznego analizowania danego zagadnienia, proponuje się jej stosowanie dla analizowania skutków wdrożenia zmian o charakterze trwałym (analizy kategorii D1, D2, D3) oraz do analizowania procesów wdrażania zmian operacyjnych i zarządczych (C2). W szczególności należy ją stosować gdy analizowane zagadnienie jest bardzo złożone lub składa się z wielu części/ podprocesów. Wykorzystanie tej metody jest stosunkowo czasochłonne, jednak ze względu na fakt, że analizy tych kategorii są często unikalnymi, eksperci mogą skorzystać z faktu, że pozwala ona identyfikować potencjalne zagrożenia na etapie projektowania analizowanego projektu, nawet te rzadko występujące. Metoda ta jest rekomendowana lotniskom przez (EASA, 2014). HAZOP zaleca się stosować w zakresie identyfikacji zagrożeń (odchyłań) i ich potencjalnych sposobów materializacji, implementując skale dotkliwości oraz prawdopodobieństwa proponowane przez ICAO do oceny ryzyka (rozdział 3.1.5).

Zgodnie z wnioskami przedstawionymi w rozdziale 1.2.4 można rozszerzyć zakres stosowania metod rekomendowanych lotniskom przez EASA do identyfikacji zagrożeń o stosowanie ich także do oceny ryzyka i mitygacji. Ustalono, że metoda list kontrolnych dobrze nadaje się do oceny ryzyka powiązanego z powtarzalnymi, dobrze znanymi zagadnieniami. Jak wskazuje rozdział 3.1.3 listy kontrolne opracowuje się w oparciu o doświadczenie; wspierają wspólne rozumienie ryzyka wśród interesariuszy. Po opracowaniu wymagają niewielkiej specjalistycznej wiedzy. W związku z tym, oraz w odniesieniu

do potrzeby wprowadzania dodatkowych metod ilościowych (rozdział 4.6), w metodzie zaproponowano stosowanie list kontrolnych do analizy ryzyka związanego ze zmianami infrastrukturalnymi oraz z pracami remontowo-budowlanymi. Są to zagadnienia często powtarzające się, a w ich przebieg zaangażowanych jest często wielu interesariuszy (także zewnętrznych), dlatego potrzebne jest stosowanie prostych w budowie metod ułatwiających komunikację.

Wskazania drzewa decyzyjnego szczegółowo omówiono poniżej.

Do analizy przyczyn wydarzeń (sytuacji), które miały miejsce na lotnisku (analizy kategorii A), proponuje się stosowanie różnych metod zależnie od charakteru danego wydarzenia oraz ilości danych o podobnych wydarzeniach. Jak wspomniano wyżej, do badania zdarzeń lotniczych podlegających obowiązkowemu raportowaniu (A1) przyjęto rekomendowany europejski system klasyfikacji ryzyka związanego ze zdarzeniami (ERCS), uzupełniony o użycie klasyfikatora bayesowskiego zależnie od dostępu do danych. Ponadto, jak wskazano wyżej, w każdej analizie należy rozważyć także zasadność użycia metody burzy mózgów. Analizy kategorii A2 (analizy pozostałych zdarzeń) podzielono na takie, dla których dysponuje się dużą ilością danych o podobnych zdarzeniach z przeszłości oraz na mniej i bardziej złożone. W przypadku dysponowania dużą bazą wiedzy o podobnych zdarzeniach z przeszłości zaleca się stosowanie klasyfikatora bayesowskiego. Pozwala on na wykorzystanie już zgromadzonych i przeanalizowanych w organizacji danych, bardzo znacząco oszczędzając czas eksperta. Z kolei dla niepowtarzających się, ale stosunkowo złożonych wydarzeń, zwłaszcza takich, których analiza wymaga zaangażowania wielu interesariuszy, proponuje się stosowanie ETA (rozdział 3.1.9) w celu zidentyfikowania zagrożeń i zrozumienia okoliczności. Dzięki temu, że metoda ta bardzo dobrze ilustruje znaczenie barier ochronnych (które mogą być zapewniane przez różnych interesariuszy), ułatwia ona komunikację i wspólne zrozumienie przebiegu danego zdarzenia oraz jego potencjalnie innego przebiegu. Ocenę ryzyka, jak w poprzednim przypadku, proponuje się prowadzić z wykorzystaniem matrycy oceny ryzyka. Analizę warto uzupełnić także burzą mózgów lub SWIFT – zależnie od potrzeb. Dla niezłożonych, niepowtarzających się zdarzeń niewymagających zgłoszenia proponowane jest stosowanie metody 5 × dlaczego w celu identyfikacji zagrożeń oraz matrycy oceny ryzyka (rozdział 3.1.5) w celu oceny powiązanego ryzyka. 5 × dlaczego to prosta i szybka metoda (rozdział 3.1.10), która pozwala na ustalenie (potencjalnych) przyczyn źródłowych danego zjawiska, co jest szczególnie istotne w ocenie ryzyka związanego z już zmaterializowanymi zagrożeniami. Pozwala to na zaoszczędzenie czasu ekspertów na inne, istotniejsze dla bezpieczeństwa analizy, zapewniając skuteczne zarządzanie ryzykiem także dla mniej

dotkliwych zagadnień. Opisana metoda, pomimo swojej prostoty, ułatwia formułowanie działań zapobiegających powtórzeniu się niebezpiecznych sytuacji, ponieważ skuteczne działania zapobiegawcze odnoszą się do ich przyczyn.

Dla analiz przekrojowych (kategoria B2) wskazano kilka możliwych do użycia metod: bow-tie, FRAM lub FMEA. W każdym przypadku zaleca się zastosowanie danej metody łącznie z burzą mózgów oraz matrycami oceny ryzyka. Analizy tej kategorii prowadzi się stosunkowo rzadko, a ich wyniki służą do podejmowania strategicznych, często kosztownych decyzji. Z tego względu w tym przypadku zaleca się stosowanie głęboko drążących metod:

- Prowadząc analizy przekrojowe wartą uwagi jest metoda bow-tie, która jest najmniej czasochłonna z trzech proponowanych do tego celu. Rekomendację oparto na fakcie, że diagramy bow-tie są łatwe do zrozumienia, nadają się do rozwiązywania problemów w złożonych i krytycznych tematach. Diagram pozwala nam spojrzeć na procesy organizacyjne przez pryzmat powiązania ich ze zidentyfikowanymi zagrożeniami. Szczegóły dotyczące tej metody zawarto w rozdziale 3.1.1. Eksperti branżowi wskazali, że ta metoda ma duży potencjał przydatności w analizach prowadzonych w organizacjach lotniczych (rozdział 4.6).
- FRAM nadaje się do analizy skomplikowanych systemów socjotechnicznych (rozdział 1.2.4 oraz 3.1.13), w związku z czym metoda rekomenduje użycie tej metody podczas prowadzenia analiz związanych z przebiegiem głównych procesów lotniskowych. Pozwala nam lepiej zrozumieć, jak system działał (lub jak mógł działać) w przypadku wystąpienia nieprawidłowości lub nieefektywnego działania. Takie ujęcie problemu jest szczególnie korzystne w przypadku procesów, które nie prowadzą bezpośrednio do niebezpiecznych incydentów lotniczych.
- FMEA zaleca się stosować w szczególności w odniesieniu do zagadnień, których przebieg jest liniowy, szczególnie tych o charakterze technicznym. FMEA bierze pod uwagę sposoby, w jakie każdy komponent systemu może ulec awarii, a także przyczyny i skutki awarii (awaria oznacza brak realizacji zamierzeń projektowych), jednak pozwala na analizę pojedynczych trybów awarii, a nie ich kombinacji. Uzasadnienie rekomendacji tej metody zawarto powyżej.

W przypadku analiz dotyczących stanu istniejącego na lotnisku mogącego wpływać negatywnie na bezpieczeństwo, które nie mają charakteru przekrojowego (kategoria B1), zaleca się stosowanie metody burzy mózgów, szczególnie w wersji ustrukturyzowanej SWIFT w połączeniu z matrycami oceny ryzyka. Zastosowanie może znaleźć również klasyfikator bayesowski, kiedy dostępnych jest wiele danych o zjawisku.

Dużą część analiz prowadzonych na lotnisku stanowią analizy zjawisk czy wydarzeń spodziewanych w przyszłości. Celem doboru właściwej metody zarządzania ryzykiem, w pierwszym kroku oddzielono analizy zagadnień, które mają mieć trwały charakter (tj. analizy dla planowanych zmian). W tej grupie wyróżniono zmiany infrastrukturalne (analizy kategorii D1), dla których, ze względu na duże doświadczenie organizacji oraz techniczny charakter, możliwe było opracowanie listy kontrolnej. Dla zmian infrastrukturalnych (ale także zmian w procesach lotniskowych (D2) oraz zmian zarządczych (D3)), które są bardziej skomplikowane i unikalne należy stosować HAZOP, co uzasadniono powyżej. W przypadku zmian infrastrukturalnych zaleca się stosowanie HAZOP jako dodatkowego narzędzia poza listą kontrolną zawsze, gdy zmieniana infrastruktura znajduje się w polu ruchu naziemnego lotniska (tj. w obszarze, w którym poruszają się statki powietrzne). Jak w pozostałych przypadkach, przy analizie ryzyka związanego ze zmianą, należy zastosować także burzę mózgów oraz matryce oceny ryzyka. Dla zmian procesów lotniskowych, szczególnie tych dotyczących zmian sprzętowych, sugeruje się także stosowanie metody FMEA, co uzasadniono powyżej.

Ostatnią grupą analiz są analizy dotyczące zjawisk przyszłych o nietrwałym (określonym w czasie) charakterze. Jeśli analiza dotyczy operacji bezzałogowych statków powietrznych (BSP) (taka analiza mieści się w kategorii C1), zgodnie z wspomnianą powyżej rekomendacją EASA, zaleca się wykorzystanie metody SORA, w połączeniu z burzą mózgów oraz matrycami oceny ryzyka. Szczególnym, często powtarzającym się, celem analiz jest zarządzanie ryzykiem związanym z prowadzeniem prac remontowo-budowlanych na lotnisku. Zagrożenia związane z tym procesem są dobrze zbadane, dzięki czemu możliwym było włączenie w metodę w tym zakresie dedykowanej listy kontrolnej. Ze względu na posiadaną bogatą bazę wiedzy w tym zakresie, możliwe jest także stosowanie klasyfikatora bayesowskiego. Dla pozostałych analiz związanych z procesem wdrażania zmian (operacyjnych czy zarządczych, kategoria C2) zaleca się stosowanie HAZOP lub FMEA. Metodę FMEA należy wybrać zawsze, gdy proces wdrażania ma charakter techniczny. Jeśli dostępnych jest wiele danych, należy rozważyć wykorzystanie także klasyfikatora bayesowskiego. Dla wszelkich innych planowanych lub spodziewanych wydarzeń na lotnisku przyjęto stosowanie metody burzy mózgów, szczególnie w wersji ustrukturyzowanej SWIFT w połączeniu z matrycami oceny ryzyka. Zastosowanie może znaleźć również klasyfikator bayesowski, kiedy dostępnych jest wiele danych o zjawisku.

W przypadku, kiedy analizowane zagadnienie jest na tyle złożone, że nie jest możliwe udzielenie jednoznacznych odpowiedzi na pytania zadawane w algorytmie należy przyjąć jeden ze sposobów:

- a. przeprowadzić analizę w częściach, dla każdej stosując technikę zgodną ze wskazaniem drzewa decyzyjnego,
- b. zastosować technikę według wskazania drzewa decyzyjnego w odniesieniu do głównej (istotniejszej) części zagadnienia.

W kolejnych rozdziałach opisane są opracowane w ramach niniejszych badań narzędzia wykorzystywane w zbudowanej metodzie zarządzania ryzykiem: klasyfikator bayesowski oraz listy kontrolne. Metody te wspierają zachowanie obiektywizmu przez osoby prowadzące procesy zarządzania ryzykiem, co stanowi odpowiedź na potrzebę określoną we wnioskach z przeglądu literatury (rozdział 1.2.4).

6.4 Lista kontrolna „zmiana cech lotniska”

Rozporządzenie (MRBiGM, 2013) wymaga, aby dla istotnych zmian eksploatacyjnych i technicznych cech lotniska, wymagających uzyskania zezwolenia Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego przeprowadzać *analizę bezpieczeństwa uwzględniającą wpływ zmiany na powierzchnie ograniczające przeszkody i powierzchnie ograniczające zabudowę, o ile występują, określającą jednoznacznie, że wnioskowane zmiany nie będą stanowić niedopuszczalnego zagrożenia dla ruchu statków powietrznych na lotnisku oraz dla ochrony w lotnictwie cywilnym*. Dla przeprowadzenia tej analizy (z wyłączeniem aspektu zagrożeń z zakresu ochrony w lotnictwie cywilnym, a z kolei włączając analizę zagrożeń niewskazanych w rozporządzeniu, które mieszczą się w zakresie działania SMS) proponuje się stosowanie listy kontrolnej przedstawionej w Tabeli 37.

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji uczestniczących oraz analizy dokumentacji SMS wybranych lotnisk zidentyfikowano cechy mające największy wpływ na wyniki ocen ryzyka. Metoda ta może zostać zastosowana zarówno w celu realizacji procesu identyfikacji zagrożeń jak i oceny ryzyka. Listę kontrolną proponuje się stosować jako jedyne narzędzie do przeprowadzenia analizy ryzyka, kiedy likwidowany, rozbudowywany lub budowany obiekt znajduje się poza polem ruchu naziemnego (PRN). W przypadkach zmian infrastrukturalnych dotyczących PRN zaleca się używanie bardziej rozbudowanych metod (zgodnie z algorytmem opisanym w rozdziale 6.3), jednak niniejsza lista kontrolna również może znaleźć zastosowanie, np. w celu analizy zakresu zmiany. W takich przypadkach nie należy przyjmować indeksów ryzyka wyliczonych z pomocą listy kontrolnej, tj. stosować ją jedynie w celu wspomagania identyfikacji zagrożeń.

Odpowiadając na kolejne pytania zawarte w liście kontrolnej (Tabela 37) należy wskazywać jedną z możliwych odpowiedzi, zapisując w ostatniej kolumnie wartość do niej przypisaną (liczba w nawiasie).

Tabela 37 Lista kontrolna „zmiana cech lotniska” (źródło: opracowanie własne).

Pytanie	Możliwe odpowiedzi	Wynik
Czy obiekt znajduje się w strefie operacyjnej lotniska?	NIE (0) TAK (2)	
Czy obiekt znajduje się w części lotniczej lotniska?	NIE (0) TAK (1)	
Czy obiekt znajduje się w granicy lotniska?	NIE (0) TAK (1)	
Czy obiekt jest związany z eksploatacją lotniska lub inną działalnością lotniczą?	NIE (0) TAK (3)	
Czy użytkownikiem obiektu jest / będzie podmiot zewnętrzny?	NIE (0) TAK (1)	
Czy obiekt stanowi przeszkodę lotniczą?	NIE (0) TAK (5)	
Czy wysokość obiektu jest mniejsza od wysokości powierzchni ograniczających przeszkody o mniej niż 3 m?	NIE (0) TAK (2)	
Czy obiekt jest lub będzie wykorzystywany do realizacji planu działań w sytuacji zagrożenia?	NIE (0) TAK (4)	
Czy obiekt ma / będzie miał pewny lub potencjalny wpływ na działanie pomocy nawigacyjnych, w tym ILS?	NIE (0) TAK, DA SIĘ GO OGRANICZYĆ (2) TAK, BĘDZIE ZAKŁÓCAŁ (6)	
Czy obiekt będzie miał pewny lub potencjalny wpływ na aktywność zwierząt na lub w otoczeniu lotniska (np. poprzez obecność zastoisk wody, kształt obiektu sprzyjający gniazdowaniu, przechowywanie niezabezpieczonych odpadów)?	NIE (0) TAK, DA SIĘ GO OGRANICZYĆ (2) BĘDZIE SILNIE WZMAŻAŁ TĘ AKTYWNOŚĆ (6)	
Czy obiekt będzie generował powstawanie ciał obcych na lub w otoczeniu lotniska (np. działalność pyłaca, przechowywanie odpadów)?	NIE (0) RACZEJ TAK (2) TAK (4)	
Czy obiekt będzie miał wysokoodblaskowe powierzchnie mogące powodować zjawisko olśnienia?	NIE (0) TAK, RYZYKO BĘDZIE OGRANICZONE (2) TAK, NIEMOŻLIWE DO OGRANICZENIA (4)	
Czy obiekt będzie powodował zwiększenie ruchu lotniczego na lub w otoczeniu lotniska?	NIE (0) TAK (3)	
Czy obiekt będzie powodował zwiększenie kołowego ruchu (naziemnego) na lub w otoczeniu lotniska?	NIE (0) TAK (1)	
Czy istnieją dodatkowe czynniki zwiększające ryzyko?	NIE (0) NIEWIELKIE (1), WYMAGAJĄCE UWZGLĘDNIENIA (2) ZNACZĄCE (3) ISTOTNE (4) BARDZO ISTOTNE (5) BARDZO ISTOTNE, NIEMOŻLIWE DO OGRANICZENIA (8)	
SUMA		

Po wypełnieniu listy kontrolnej sumuje się punkty za poszczególne odpowiedzi i odczytuje się ocenę ryzyka z Tabeli 38.

Tabela 38 Powiązanie wyników listy kontrolnej „zmiana cech lotniska” z poziomami ryzyka oraz zakresami jego tolerancji (źródło: opracowanie własne)

Wynik	Ocena ryzyka	Zakres tolerancji
od 51 do 41	ekstremalne ryzyko	nietolerowane
od 40 do 36	wysokie ryzyko	tolerowane przy akceptacji wyższego kierownictwa
od 35 do 21	umiarkowane ryzyko	tolerowane
od 20 do 11	niskie ryzyko	akceptowalne
od 10 do 0	nieistotne ryzyko	akceptowalne

6.5 Lista kontrolna „prace remontowo-budowlane”

Szczególną, regularnie powtarzającą się grupą analiz ryzyka, są analizy lotniskowych prac remontowo-budowlanych. W analogiczny sposób jak listę opisaną w rozdziale 6.4., opracowano listę dotyczącą tej grupy zagadnień. W zbudowanej liście kontrolnej (Tabela 39) odpowiadając na kolejne pytania należy wskazywać jedną ze wskazanych możliwych odpowiedzi, zapisując w ostatniej kolumnie wartość do niej przypisaną (liczba w nawiasie). W liście uwzględniono różne aspekty prowadzenia prac oraz ich wpływ na wynik oceny ryzyka. Metoda ta może zostać zastosowana zarówno w celu realizacji procesu identyfikacji zagrożeń jak i oceny ryzyka.

Tabela 39 Lista kontrolna „prace remontowo-budowlane” (źródło: opracowanie własne)

Pytanie	Możliwe wartości	Wynik
Czy prace są nieplanowanymi (informacja na temat ich zakresu i terminu wpłynęła na mniej niż tydzień przed ich rozpoczęciem)?	NIE (0) TAK (3)	
Czy prace będą prowadzone w polu manewrowym lotniska?	NIE (0) TAK (3)	
Czy prace będą prowadzone w polu ruchu naziemnego?	NIE (0) TAK (1)	
Czy do prac będą wykorzystywane dźwigi, pompy do betonu lub inne wysokie urządzenia?	NIE (0) TAK (3)	
Czy prace wpłyną na możliwość lub sposób realizacji planu działań w sytuacji zagrożenia?	NIE (0) TAK (2)	
Czy w związku z pracami będzie publikowany suplement do AIP lub NOTAM?	NIE (0) TAK (1)	
Czy prace wpłyną na dostępność drogi startowej?	NIE (0) TAK (3)	
Czy prace będą prowadzone w godzinach operowania lotniska?	NIE (0) TAK (2)	

Pytanie	Możliwe wartości	Wynik
Czy prace mają pewny lub potencjalny wpływ na działanie pomocy nawigacyjnych, w tym ILS?	NIE (0) TAK, DA SIĘ GO OGRANICZYĆ (2) TAK, BĘDZIE ZAKŁÓCAŁ (6)	
Czy prace mają pewny lub potencjalny wpływ na aktywność zwierząt na lub w otoczeniu lotniska (np. poprzez obecność zastoisk wody, kształt obiektu sprzyjający gniazdowaniu, przechowywanie niezabezpieczonych odpadów)?	NIE (0) TAK, DA SIĘ GO OGRANICZYĆ (2) BĘDZIE SILNIE WZMAŻAŁ TĘ AKTYWNOŚĆ (6)	
Czy prace mogą wiązać się ze stworzeniem wysokoodblaskowych powierzchni mogących powodować zjawisko oślnienia?	NIE (0) TAK, RYZYKO BĘDZIE OGRANICZONE (2) TAK, NIEMOŻLIWE DO OGRANICZENIA (4)	
Czy prace mają pewny lub potencjalny wpływ na powstawanie ciał obcych na lub w otoczeniu lotniska (np. działalność pyłąca, przechowywanie odpadów)?	NIE (0) RACZEJ TAK (2) TAK (4)	
Czy istnieją dodatkowe czynniki zwiększające ryzyko?	NIE (0) NIEWIELKIE (1), WYMAGAJĄCE UWZGLĘDNIENIA (2) ZNACZĄCE (3) ISTOTNE (4) BARDZO ISTOTNE (5) BARDZO ISTOTNE, NIEMOŻLIWE DO OGRANICZENIA (8)	
SUMA		

Po wypełnieniu listy kontrolnej sumuje się punkty za poszczególne odpowiedzi i odczytuje się ocenę ryzyka z Tabeli 40.

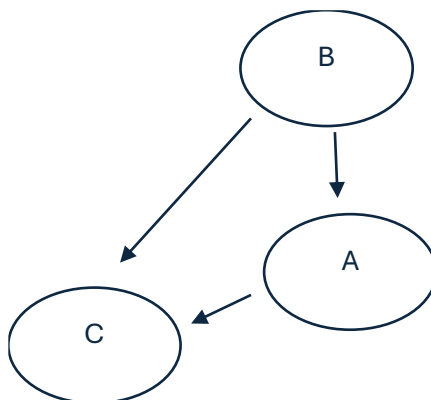
Tabela 40 Powiązanie wyników listy kontrolnej „prace remontowo-budowlane” z poziomami ryzyka oraz zakresami jego tolerancji (źródło: opracowanie własne)

Wynik	Ocena ryzyka	Zakres tolerancji
od 46 do 33	ekstremalne ryzyko	nietolerowane
od 32 do 22	wysokie ryzyko	tolerowane przy akceptacji wyższego kierownictwa
od 21 do 15	umiarkowane ryzyko	tolerowane
od 14 do 7	niskie ryzyko	akceptowalne
od 6 do 0	nieistotne ryzyko	akceptowalne

6.6 Klasyfikator bayesowski

Istotnym elementem opracowanej metody jest automatyczna metoda klasyfikacji zdarzeń pod względem indeksu ryzyka. Ustalono, że możliwym jest użycie w tym celu naiwnego klasyfikatora bayesowskiego stanowiącego narzędzie informatyczne wspomagające dla ekspertów prowadzących analizy ryzyka (rozdział 3.1.14).

Sieć bayesowska (ang. bayesian network, BN) jest rodzajem skierowanego grafu acyklicznego (ang. directed acyclic graph, DAG), w którym węzły (wierzchołki) reprezentują zmienne losowe, a krawędzie (łuki) między węzłami (wierzchołkami) reprezentują przyczynowość (przyczyna wskazuje na skutek) (Pan i in., 2021). Istnienie krawędzi prowadzącej z węzła B do węzła A oznacza, że A jest potomkiem B (czyli B jest rodzicem A). Prawdopodobieństwo poszczególnych węzłów-potomków zależy od ich węzłów-rodziców, co opisuje się jako $P(\text{potomek}|\text{rodzic})$. Warunkowe rozkłady prawdopodobieństwa zmiennych sieci bayesowskiej przedstawionej na Rysunku 37 przedstawiają się następująco: $P(B)$, $P(A|B)$, $P(C|B, A)$.



Rysunek 37 Sieć bayesowska składająca się z trzech zmiennych losowych (A, B, C). (źródło: opracowanie własne).

Twierdzenie Bayesa, stosowane w sieciach bayesowskich wskazuje na zależność (Bayes i Price, 1763) (ElKalaawy i Wassal, 2015), (Martin i in., 2020):

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)}$$

Model sieci bayesowskiej stanowi model probabilistyczny prezentujący prawdopodobieństwa zależności pomiędzy zmiennymi. Na potrzeby klasyfikacji w różnych branżach szeroko stosuje się naiwny klasyfikator Bayesa, na przykład do klasyfikowania wiadomości e-mail jako spamu lub legalnych wiadomości, do klasyfikowania wiadomości jako sportowych lub politycznych czy do automatyzacji stawiania diagnozy medycznej (Liu i in., 2016).

Naiwny klasyfikator bayesowski opiera się na założeniu o wzajemnej niezależności zmiennych niezależnych, tj. predyktorów. Uogólnione założenie naiwnego modelu Bayesa:

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n|Y) = \prod_{i=1}^n P(X_i|Y)$$

gdzie X_i to zmienna niezależna, a Y to etykieta klasy. $P(X|Y)$ oznacza prawdopodobieństwo obserwacji dla różnych etykiet klas. Klasyfikator wykorzystuje się do wyznaczenia $P(Y|X)$, tj. prawdopodobieństwa warunkowego klasy dla danej obserwacji. Klasyfikacja polega na porównaniu prawdopodobieństw dla różnych klas. Algorytm przypisuje obserwację do klasy, która ma większe prawdopodobieństwo warunkowe niż jakakolwiek inna klasa.

Prawdopodobieństwa warunkowe wskazują, jak często zaobserwowano określoną wartość zmiennej w danej klasie, i to właśnie na nich opiera się cały mechanizm decyzyjny. „Naiwność” polega na założeniu niezależności każdej pary zmiennych.

Aby zbudować naiwny klasyfikator bayesowski należy (Bishop, 2006):

1. Zdefiniować problem
 - ustalić, jaki jest cel działania klasyfikatora,
 - ustalić, na jakich danych ma się opierać klasyfikator (tekstowych, liczbowych, mieszanych) oraz jakie są ich możliwe klasy;
2. Przygotować bazę wiedzy (bazę danych)
 - zgromadzić dane wraz z ich etykietami klas,
 - uporządkować dane, tj. usunąć błędy oraz zlikwidować braki w danych,
 - podzielić dane na dane uczące i testowe;
3. Opisać dane za pomocą atrybutów (zmiennych niezależnych)
4. Wybrać wariant klasyfikatora Bayesa
5. Przeprowadzić uczenie modelu
6. Przeprowadzić testy modelu

Ustalono, że klasyfikator bayesowski może być stosowany w wielu lotniskowych analizach ryzyka, w szczególności do badania sytuacji, które miały miejsce na lotnisku, ale także do analizowania stanu istniejącego na lotnisku, analizowania sposobu wdrożenia zmiany czy skutków wdrożenia zmiany. Zdecydowano o skupieniu badań wokół weryfikacji możliwości zastosowania tego narzędzia do oceny ryzyka związanego ze zdarzeniami. Zadanie określania indeksu ryzyka stanowi problem klasyfikacji, co umożliwia wykorzystanie naiwnego klasyfikatora bayesowskiego. Poszukiwanie metody dedykowanej do oceny ryzyka

związanego ze zdarzeniami stanowi odpowiedź na zidentyfikowaną potrzebę stosowania odmiennych metod zarządzania ryzykiem w tym zakresie oraz na potrzebę ograniczania stosowania oceny eksperckiej jako jedynej metody oceny ryzyka. W szczególności jednak część badań przedstawiona w niniejszym rozdziale koresponduje ze zidentyfikowaną koniecznością wprowadzania dodatkowych ilościowych metod zarządzania ryzykiem. Szczegółowe wnioski w tym zakresie znajdują się w rozdziale 4.6. Dzięki dostępowi do historycznych danych Lotniska Chopina możliwe było wykorzystanie naiwnego klasyfikatora Bayesa do oceny ryzyka związanego ze zdarzeniami.

Opisana metoda umożliwia analizowanie zdarzeń lotniczych zależnych od wielu zmiennych, dzięki czemu można je zastosować do przewidywania oceny ryzyka, jakiej dokonałby ekspert zajmujący się bezpieczeństwem lotniczym. Zbudowano klasyfikator wspomagający w ocenie ryzyka związanego z ingerencją ze strony pojazdu, urządzeń lub osób, podczas wypychania, wycofywania na silnikach lub kołowania statku powietrznego. Wybrane zagadnienie jest jednym z najistotniejszych dla bezpieczeństwa ruchu naziemnego na Lotnisku Chopina w Warszawie. Klasyfikator wspiera eksperta w oszacowaniu ryzyka opierając się na dobranych atrybutach (zmiennych niezależnych), klasyfikując poszczególne przypadki według indeksu ryzyka.

W ramach badań stworzono bazę wiedzy, która została wykorzystana przy budowie eksperymentalnego klasyfikatora bayesowskiego, który szacuje ryzyko w oparciu o dobrany zestaw atrybutów charakteryzujących zdarzenia. Do przygotowania bazy wiedzy wykorzystano program MS Excel, a do zbudowania klasyfikatora bayesowskiego program Hugin Expert. Hugin Expert to pakiet oprogramowania do budowania, analizowania i wdrażania systemów wspomagania decyzji opartych na sieciach bayesowskich. Hugin to potężne oprogramowanie analityczne do tworzenia i wdrażania systemów wspomagania decyzji, które umożliwiają wnioskowanie i podejmowanie decyzji w warunkach niepewności. Oprogramowanie to opiera się na technologii sieci bayesowskich i diagramów wpływu i stanowi idealny wybór, gdy trzeba rozwiązywać złożone problemy związane z ryzykiem i podejmowaniem decyzji, uwzględniając niepewność w procesie decyzyjnym (Hugin Expert, 2025).

6.6.1 Definicja problemu

Na podstawie danych dotyczących historycznych zdarzeń na Lotnisku Chopina w Warszawie zidentyfikowano zdarzenia związane z ingerencją ze strony pojazdu, urządzeń lub osób, podczas wypychania, wycofywania na silnikach lub kołowania statku powietrznego, jako grupę zdarzeń powtarzających się, na temat których dostępne jest stosunkowo dużo informacji. Biorąc także pod uwagę wskazania przedstawicieli lotniska potwierdzające, że jest

to rodzaj zdarzeń powtarzających się, które ocenia się pod względem ryzyka w sposób schematyczny, ale proces ten jest czasochłonny, zdecydowano o zbudowaniu eksperymentalnego klasyfikatora bayesowskiego dla tej grupy zdarzeń. Stanowi to odpowiedź na opisaną w rozdziale 4.4 potrzebę automatyzowania powtarzalnych czynności wykonywanych w ramach SMS. Umożliwi to odciążenie personelu lotniska i wykorzystanie odzyskanego w ten sposób czasu i energii do spraw związanych z bezpieczeństwem, które potrzebują indywidualnego rozpatrzenia. Klasyfikator ma dawać szybką i możliwie dokładną odpowiedź dot. indeksu ryzyka (automatyzacja procesu, który dzisiaj ekspert przeprowadza ręcznie), tj. prognozować wyjście (output), którym jest indeks ryzyka. Celem było także ustalenie, która cecha (atrybut) jest najistotniejsza pod względem powiązanego z danym zdarzeniem ryzyka.

Zdarzenia polegające na obecności obiektu lub osoby w niewłaściwym miejscu w okolicy będącego w ruchu statku powietrznego stanowią duży problem na Lotnisku Chopina. Jak wynika z analiz prowadzonych w ramach lotniskowego SMS, główną przyczyną takich zdarzeń jest intensywny naziemny ruch lotniczy skoncentrowany na niewielkim obszarze. Także ograniczona przestrzeń operacyjna na lotnisku implikuje zagrożenia dla naziemnego ruchu lotniskowego. Bliska odległość pomiędzy drogami kołowania, płytami postojowymi a drogą startową może utrudniać manewrowanie statków powietrznych oraz pojazdów naziemnych, zwłaszcza w warunkach wzmożonego ruchu. Przykłady zdarzeń należących do przywołanej kategorii zawarto w Tabeli 41.

Tabela 41 Przykłady ingerencji ze strony pojazdu, urządzeń lub osób, podczas wypychania, wycofywania na silnikach lub kołowania statku powietrznego; PPS – płyta postojowa samolotów; DK – droga kołowania; LT – local time (czas lokalny) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych PPL)

Data, identyfikator	Treść zgłoszenia, opis zdarzenia
2023-03-04, 2023/425	O godzinie 19:42 koordynator lotniczego ruchu naziemnego zgłosił drogą radiową informację o przerwaniu operacji wypychania statku powietrznego ze stanowiska postojowego nr 16. W toku wyjaśnień ustalono, iż kierujący pojazdem podczas przejazdu z PPS 5B drogą serwisową przecinającą DK M3 na wysokości stanowisk postojowych 16 i 17, zajął obszar stanowiska postojowego nr 16 w czasie operacji wypychania statku powietrznego, zmuszając operatora holownika wypychającego do wstrzymania ruchu samolotu.
2022-12-03, 2022/2012	Nieprawidłowo zaparkowany pojazd w obrębie stanowiska numer 20 podczas dokowania statku powietrznego, wskutek czego nastąpiła zmiana stanowiska postojowego.
2022-10-11, 2022/1692	18:10 Zgłaszający przekazał informację, że około 09:20 LT przerwano proces wypychania statku powietrznego ze stanowiska postojowego nr 9. Według relacji koordynatora rejsu zaistniała konieczność zatrzymania samolotu na skrzyżowaniu DK Z z DK U, ze względu na kołujący po DK Z3 wojskowy śmigłowiec, który poruszał się w kierunku wypychanego samolotu.

Data, identyfikator	Treść zgłoszenia, opis zdarzenia
2021-11-29, 2021/1603	W dniu 29.11.2021 r. o godzinie 19:13 kierujący taśmociągami poruszając się drogą serwisową przecinającą DK M3 na wysokości stanowiska 17 nie zachował należytej ostrożności i nie ustąpił pierwszeństwa przejazdu kołującemu statkowi powietrznemu, który kołował po DK M3 na stanowisko 18. W wyniku nieustąpienia przejazdu statek powietrzny zmniejszył prędkość kołowania i po oddaleniu się pojazdu bezpiecznie wkołował na stanowisko 18.
2018-05-18, 2018/1629	Kierujący jadąc do alarmu PAN PAN ciągarką z przyczepami nie zachował ostrożności i przejeżdżając drogą serwisową na wysokości stanowiska 15L przejechał w niebezpiecznej odległości od kołującego na te stanowisko statku powietrznego. Przejazd nie spowodował konieczności zatrzymania sp ani zwolnienia prędkości, jednakże nastąpił w momencie rozpoczynania skrętu na stanowisko.

Żadne z przytoczonych zdarzeń nie zakończyło się śmiercią lub obrażeniami osób czy uszkodzeniem statku powietrznego. Eksperci ocenili w każdym przypadku ryzyko biorąc pod uwagę okoliczności oraz przebieg tych zdarzeń, przydzielając w ten sposób etykiety klas składające się z indeksu prawdopodobieństwa oraz indeksu dotkliwości. Eksperci do oceny ryzyka wykorzystywali matryce proponowane przez ICAO opisane w rozdziale 3.1.5. Możliwy indeks prawdopodobieństwa to 1, 2, 3, 4 lub 5; możliwe indeksy dotkliwości to A, B, C, D lub E. Łącznie daje to 25 możliwych etykiet klas (1A, 1B, 1C itd.).

6.6.2 Przygotowanie bazy wiedzy

W celu stworzenia bazy wiedzy pozyskano z Urzędu Lotnictwa Cywilnego informacje o zdarzeniach lotniczych powiązanych z Lotniskiem Chopina w formie wyciągu z systemu ECCAIRS (European Coordination Center for Accident and Incident Reporting Systems) z okresu od 2010 do 2023 roku, przeanalizowano bazę zdarzeń zarejestrowanych w wewnętrznym systemie lotniska Chopina wraz z raportami z ich badania oraz prowadzono obserwacje uczestniczące w komórce organizacyjnej lotniska zajmującej się rejestrowaniem i analizowaniem zdarzeń mających potencjalny wpływ na bezpieczeństwo.

Zgromadzono dane dotyczące zdarzeń z wybranej kategorii w formie tabelarycznej w programie MS Excel (ze względu na poufność danych nie stanowi on części dysertacji), każdemu nadając unikalny identyfikator. Odnotowano także wynik oceny ryzyka dokonanej przez eksperta względem każdego ze zdarzeń w postaci dwóch danych wynikowych (outputs): indeks prawdopodobieństwa (output_1) oraz indeks dotkliwości (output_2). Te dwie dane wynikowe stanowią etykietę klasy, do której przyporządkowana została dana obserwacja.

Proces przygotowania danych uczących stanowi kluczowy etap w projektowaniu systemów uczenia maszynowego, mający istotny wpływ na jakość i efektywność działania modelu. Obejmuje on m.in. analizę wstępną danych, identyfikację oraz usuwanie nieprawidłowości, uzupełnianie braków, a także transformację zmiennych do postaci

umożliwiającej ich skuteczne wykorzystanie przez algorytmy uczące, np. poprzez ich dyskretyzację (Kelleher i in., 2015).

Do bazy włączono 72 zdarzenia mieszczące się w przywołanej kategorii. Tak zbudowana baza wiedzy nie zawierała przypadków o skrajnym poziomie ryzyka, ponieważ takie nie występują na badanym lotnisku. W związku z tym, celem zapewnienia właściwego działania klasyfikatora bazę wiedzy uzupełniono o 161 hipotetycznych zdarzeń o skrajnym poziomie ryzyka. Hipotetyczne zdarzenia zostały opracowane przez ekspertów. W ten sposób zbudowano bazę wiedzy obejmującą 233 obserwacje (zdarzenia).

6.6.3 Opisanie danych za pomocą atrybutów (zmiennych niezależnych)

W celu zbudowania klasyfikatora koniecznym było opisanie każdej obserwacji (zdarzenia) w bazie wiedzy za pomocą zestawu tych samych atrybutów. Przeprowadzono ręczną analizę, selekcję i systematyzację cech wejściowych wszystkich obserwacji składających się na bazę wiedzy.

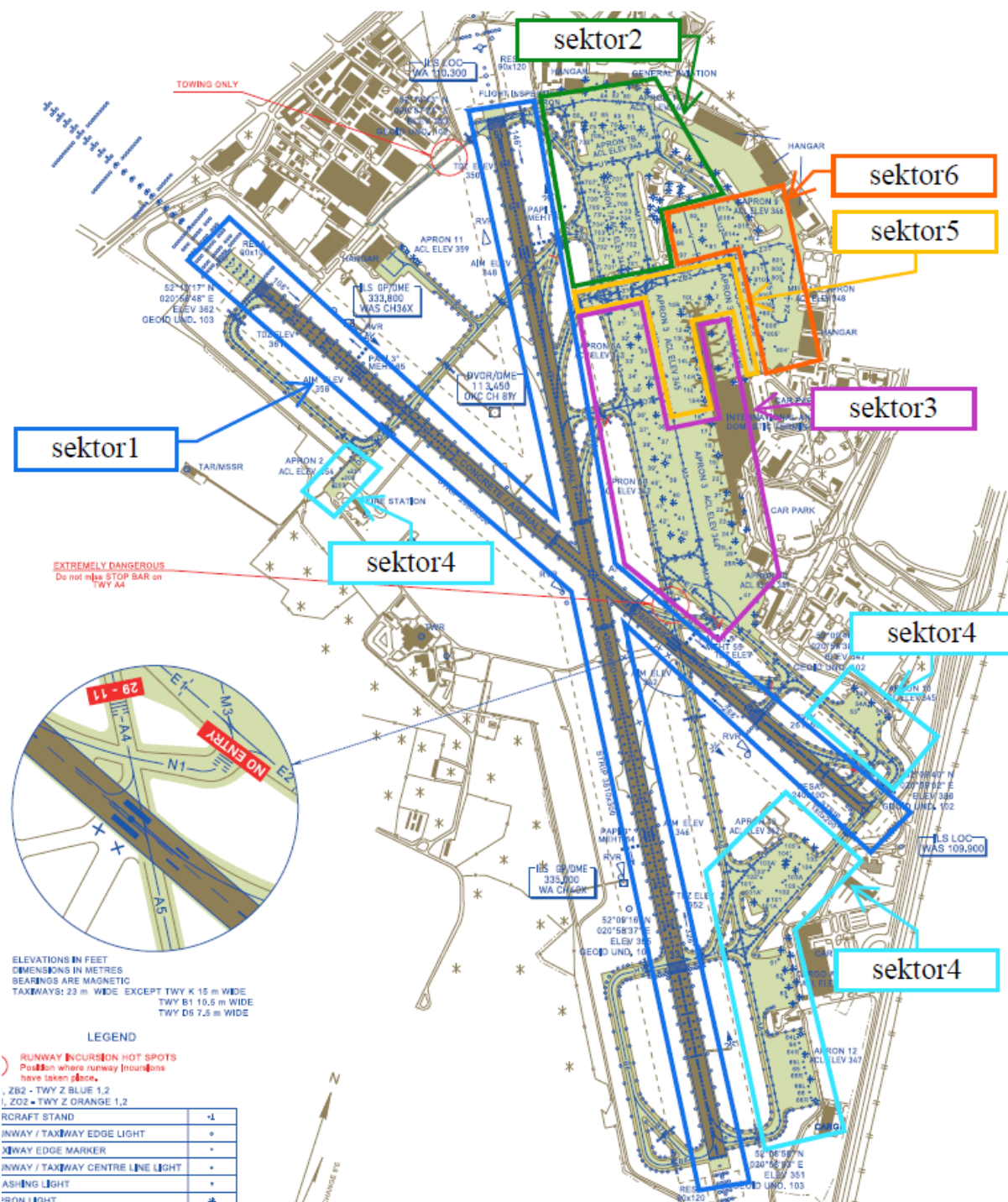
W celu ustalenia wykazu atrybutów przeanalizowano raporty z badania zdarzeń należących do wybranej kategorii (ingerencja ze strony pojazdu, urządzeń lub osób, podczas wypychania, wycofywania na silnikach lub kołowania statku powietrznego), systematyzując opis obserwacji znajdujących się w bazie wiedzy. Podczas analizy poszukiwano cech i czynników, które miały największy wpływ na indeks ryzyka. Ponadto koniecznym było posiadanie informacji o wartości danego atrybutu dla każdego zdarzenia tworzącego bazę wiedzy. Prowadzono eksperymenty uwzględniające 13 różnych atrybutów; ostatecznie zdecydowano o przyjęciu 5 z nich:

- lokalizacja zdarzenia na lotnisku,
- rodzaj ruchu statku powietrznego,
- uczestnicy zdarzenia,
- obowiązywanie niestandardowych procedur poruszania się,
- czas wystąpienia zdarzenia.

O redukcji liczby atrybutów zdecydowała ograniczona liczba obserwacji (zdarzeń) w bazie wiedzy, konieczność wykluczenia atrybutów wzajemnie od siebie zależnych oraz wyniki długotrwałych eksperymentów w zakresie wprowadzania do klasyfikatora różnych zestawów atrybutów. Szczegółowe dane dotyczące rozpatrywanych atrybutów oraz powody odrzucenia niektórych z nich zawarto w Tabeli 42.

W celu sparametryzowania lokalizacji zdarzenia rozważano możliwości przypisania ich do konkretnego, pojedynczego elementu infrastruktury (np. stanowisko postojowe nr 4, droga

kołowania W), jednak tak szczegółowa klasyfikacja obserwacji nie została uznana za korzystną i adekwatną do wielkości zbioru danych. W związku z tym zdecydowano o zgrupowaniu poszczególnych elementów infrastruktury lotniska Chopina w sektory, co ilustruje Rysunek 38. Istotny wpływ na przyjęcie podziału na sektory miał fakt, że infrastruktura lotniska w okresie, z którego pochodzą dane w bazie wiedzy zmieniała się; np. cechy czy rozmiar danego stanowiska postojowego zmieniały się z biegiem czasu.



Rysunek 38 Podział Lotniska Chopina na sektory (źródło: opracowanie własne, z wykorzystaniem mapy dostępnej w AIP Polska).

Kolejną przyjętą zmienną jest rodzaj ruchu statku powietrznego. Na podstawie analizy przeszłych zdarzeń ustalono, że ruch statku powietrznego zawsze mieści się w jednej z trzech poniższych kategorii:

- standing - statek powietrzny bez ruchu (z włączonymi lub wyłączonymi silnikami),
- taxiing – kołujący statek powietrzny z wykorzystaniem mocy swoich silników,
- push-backing/ towed - statek powietrzny wypychany lub holowany za pomocą sprzętu obsługi naziemnej.



Rysunek 39 Statek powietrzny bez ruchu (standing) (źródło: archiwum własne).



Rysunek 40 Kołujący statek powietrzny (taxiing) (źródło: archiwum własne).



Rysunek 41 Holowany statek powietrzny (towed) (źródło: archiwum własne).

Atrybut dotyczący uczestników zdarzenia wskazuje podmioty, pomiędzy którymi doszło do konfliktu w czasie jego przebiegu:

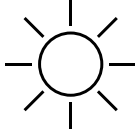
- statek powietrzny + pojazd,
- statek powietrzny + statek powietrzny,
- statek powietrzny + osoba.

Kolejną istotną dla oceny ryzyka okolicznością jest występowanie niestandardowych procedur poruszania się w miejscu zdarzenia. Przyjęto, że atrybut ten przyjmuje wartość:

- 1, gdy zdarzenie wystąpiło w miejscu, w którym w czasie zdarzenia obowiązywały niestandardowe procedury poruszania się (np. okolice obszaru wyłączzonego z użytku operacyjnego, obszar objęty alarmem związanym z działaniami w sytuacjach zagrożenia), lub
- 0, gdy takie okoliczności nie występowały lub brak jest na ich temat informacji.

Ze względu na występujące w różnych porach roku oraz dnia odmienne warunki atmosferyczne i powiązane z nimi procedury (np. odladzania statków powietrznych w sezonie zimowym), różne natężenie ruchu lotniskowego (przewoźnicy lotniczy planują siatki połączeń w podziale na sezony) oraz fakt istnienia nocnych ograniczeń ruchu lotniczego na lotnisku (core night), co może mieć wpływ na występowanie oraz przebieg zdarzeń lotniczych zdecydowano o opisanu każdej obserwacji w bazie wiedzy za pomocą atrybutu związanego z czasem wystąpienia zdarzenia. Warto zaznaczyć, że zdolności psychofizyczne człowieka również są zależne od pory roku oraz pory dnia. W bazie zebrano informacje o dacie oraz godzinie

każdego wydarzenia. W celu uproszczenia obliczeń oraz zapewnienia odporności na szum przeprowadzono dyskretyzację tych cech poprzez zamianę tych wartości ciągłych na kategorie (Dougherty i in., 1997). Przyjęte wartości atrybutu związanego z czasem wystąpienia zdarzenia obrazuje Rysunek 42.

	DZIEŃ 	NOC 
LATO 	LATO DZIEŃ (summer day) daty od 21.03 do 22.09 godziny od 05:00 do 20:00	LATO NOC (summer night) daty od 21.03 do 22.09 godziny od 20:01 do 04:59
ZIMA 	ZIMA DZIEŃ (winter day) daty od 23.09 do 20.03 godziny od 07:00 do 16:00	ZIMA NOC (winter night) daty od 23.09 do 20.03 godziny od 16:01 do 06:59

Rysunek 42 Możliwe wartości zmiennej opisującej zdarzenie według czasu jego wystąpienia (źródło: opracowanie własne).

Tabela 42 zawiera zestawienie wszystkich analizowanych zmiennych opisujących zdarzenia zebrane w bazie wiedzy wraz z ich oznaczeniami, możliwymi wartościami, objaśnieniami oraz w przypadku ich odrzucenia, uzasadnieniem niewykorzystania w budowie klasyfikatora. Zmienne przyjęte do modelu oznaczono poprzez pogrubienie ich oznaczeń w tabeli. W tabeli wykorzystano skróty: RWY (runway) – droga startowa; TWY (taxiway) – droga kołowania; APRON – płyta postojowa; STND (stand) – stanowisko postojowe; MLAT (multilateration) – multilateracja; SMR (surface movement radar) – radar ruchu naziemnego; acft (aircraft) – statek powietrzny.

Po dobraniu atrybutów przystąpiono do opisu za ich pomocą indywidualnie każdego zdarzenia w bazie wiedzy. Tabela 43 zawiera określenie przykładowych zdarzeń (których przebieg opisano w Tabeli 41) za pomocą zestawu dobranych atrybutów wraz z wynikami eksperckiej oceny powiązanego ryzyka.

Tabela 42 Zestawienie analizowanych zmiennych; wyróżnione zmienne zostały użyte do budowy klasyfikatora; (źródło: opracowanie własne).

Oznaczenie	Nazwa	Możliwe wartości	Objaśnienie	Uzasadnienie odrzucenia zmiennej
var_1	Stanowisko kontaktowe	0; 1	Wskazanie czy stanowisko postojowe było wyposażone w pomost pasażerski (wartość 1) lub nie (wartość 0).	Zmienna zależna od var_3; może osiągnąć wartość inną niż 0 dla niewielkiej części zbioru obserwacji.
var_2	Lokalizacja	Kilkadziesiąt możliwych wartości	Wskazanie elementu infrastruktury, gdzie doszło do zdarzenia.	Zmienna zależna od var_3; dane niezbilansowane, tj. obserwacje określone daną wartością tej zmiennej są bardzo nieliczne. Konieczność uwzględnienia zmian elementów infrastruktury, które miały miejsce w przeszłości.
var_3	Sektor	1; 2; 3; 4; 5; 6	sektor1: RWY11, RWY 29, RWY 33, RWY 15 (wartość 1) sektor2: APRON 1, APRON 7A, APRON 7B, APRON FI; TWY W, TWY U1, TWY U2, TWY M1 (wartość 2) sektor3: APRON 3, APRON 5A, APRON 5B, APRON 5C; TWY M3, TWY O2 (z wyłączeniem STND na APRON 3 włączonych do sektora 5) (wartość 3) sektor4: APRON 12, APRON 13, APRON CARGO, APRON 10, APRON 2 (wartość 4) sektor5: TWY U3, TWY ZO2, TWY Z2, TWY ZB2, TWY M2, STND 6, STND 7, STND 7A, STND 8, STND 9, STND 10, STND 10R, STND 10L, STND 11, STND 12, STND 13L, STND 13, STND 13R, STND 14L, STND 14, STND 14R, STND 15, STND 15R, STND 15L (wartość 5) sektor6: APRON 9, APRON MIL, TWY Z3 (wartość 6)	
var_4	Rodzaj ruchu	Standing; taxiing; towed	Wskazanie rodzaju ruchu statku powietrznego: acft bez ruchu (z włączonymi lub wyłączonymi silnikami) (wartość: standing); acft kołujący (wartość: taxiing); acft holowany lub push-backing (wartość towed).	
var_5	Uczestnicy	Acft-pojazd; acft-acft; acft-osoba	Wskazanie uczestników zdarzenia (z kim/ czym sp miał konflikt): z pojazdem (wartość: sp-pojazd); z innym sp (wartość: sp-sp); z człowiekiem (wartość: sp-osoba)	

Oznaczenie	Nazwa	Możliwe wartości	Objaśnienie	Uzasadnienie odrzucenia zmiennej
var_6	Niestandardowe procedury poruszania się	0; 1	Wskazanie czy zdarzenie wystąpiło, gdy obowiązywały niestandardowe procedury poruszania się (wartość: 1) lub nie występowały/ brak informacji na ten temat (wartość: 0).	
var_7	Data	Data w formacie RRRR-MM-DD	Wskazanie dnia, w którym wystąpiło zdarzenie.	Zmienna zależna od var_9; dane niezbalansowane, tj. obserwacje określone daną wartością tej zmiennej są bardzo nieliczne.
var_8	Godzina	Godzina w formacie GG:MM:SS	Wskazanie godziny, o której wystąpiło zdarzenie.	Zmienna zależna od var_9; dane niezbalansowane, tj. obserwacje określone daną wartością tej zmiennej są unikalne.
var_9	Czas	Summer day, summer night, winter day, winter night	Wartość summer day gdy data od 21.03 do 22.09 i godzina od 05:00 do 20:00; Wartość summer night gdy data od 21.03 do 22.09 i godzina od 20:01 do 04:59 Wartość winter day gdy data od 23.09 do 20.03 i godzina od 07:00 do 16:00; Wartość winter night gdy data od 23.09 do 20.03 i godzina od 16:01 do 06:59	
var_10	MLAT lub SMR?	0; 1	Wskazuje, czy zdarzenie wystąpiło w czasie i miejscu, gdzie zapewniony jest funkcjonujący operacyjnie system MLAT lub SMR (obejmujący wszystkich uczestników zdarzenia) (wartość 1) lub gdy nie był on dostępny lub brak informacji na ten temat (wartość 0).	Dane niezbalansowane, tj. obserwacje określone wartością „1” tej zmiennej są bardzo nieliczne.
var_11	Natężenie ruchu na lotnisku	Małe; przeciętne; duże	Wskazuje, czy zdarzenie wystąpiło, gdy natężenie ruchu na lotnisku było małe, przeciętne czy duże.	Bardzo ograniczony dostęp do danych.
var_12	Czas od ostatniego szkolenia poruszania się kierowcy	Liczba całkowita	Wskazuje liczbę miesięcy, które upłynęły od ostatniego szkolenia z zakresu poruszania się kierowcy biorącego udział w zdarzeniu.	Bardzo ograniczony dostęp do danych. Brak zastosowania tego atrybutu dla wszystkich zebranych danych (nie zawsze uczestnikiem zdarzenia był kierowca).
var_13	Przekroczone ograniczenia	0; 1	Wskazuje, czy zdarzenie wiązało się z wykonaniem operacji niezgodnie z procedurą lub użyciem infrastruktury niezgodnie z przeznaczeniem (wartość 1) lub nie / brak danych (wartość 0).	Bardzo ograniczony dostęp do danych.

Tabela 43 Opis przykładowych zdarzeń za pomocą zestawu dobranych atrybutów wraz z wartościami danych wyjściowych (oceny ryzyka) (źródło: opracowanie własne).

Data, identyfikator	Sektor (var_3)	Rodzaj ruchu (var_4)	Uczestnicy (var_5)	Niestandardo we procedury poruszania się (var_6)	Czas (var_9)	Indeks prawdopodobieństwa (output_1)	Indeks dotkliwości (output_2)
2023-03-04, 2023/425	Sektor3	Towed	Acft-pojazd	0	Winter night	1	B
2022-12-03, 2022/2012	Sektor3	Taxiing	Acft-pojazd	0	Winter day	1	C
2022-10-11, 2022/1692	Sektor6	Towed	Acft-acft	0	Winter night	1	B
2021-11-29, 2021/1603	Sektor3	Taxiing	Acft-pojazd	0	Winter night	3	B
2018-05-18, 2018/1629	Sektor5	Taxiing	Acft-pojazd	1	Summer day	1	B

6.6.4 Analiza danych

Celem oceny jakości danych przygotowanych do uczenia się klasyfikatora bayesowskiego przeprowadzono analizę ich zbalansowania. Liczebność oraz procentowy udział poszczególnych wartości, które mogą być przyjęte przez wszystkie atrybuty zawarto w Tabelach od 44 do 48. Zbalansowanie zbioru danych oceniono na podstawie rozkładu liczebności wartości poszczególnych zmiennych. Wskaźnik nierównowagi (Imbalance Ratio) wyliczono porównując liczbę obserwacji wartości dominującej do liczby obserwacji najmniej licznej wartości (Japkowicz i Stephen, 2002).

Tabela 44 Analiza danych pod względem wartości atrybutu „sektor” (var 3) (źródło: opracowanie własne)

Wartość	Liczebność	Udział %
Sektor1	36	15%
Sektor2	33	14%
Sektor3	48	21%
Sektor4	36	15%
Sektor5	35	15%
Sektor6	45	19%
Suma	233	100%

Wyliczenie wskaźnika nierównowagi dla zmiennej „sektor”:

$$IR = \frac{48}{33} \approx 1,45$$

Tabela 45 Analiza danych pod względem wartości atrybutu „rodzaj ruchu” (var 4) (źródło: opracowanie własne)

Wartość	Liczebność	Udział %
Taxiing	95	41%
Towed	92	39%
Standing	46	20%
Suma	233	100%

Wyliczenie wskaźnika nierównowagi dla zmiennej „rodzaj ruchu”:

$$IR = \frac{95}{46} \approx 2,07$$

Tabela 46 Analiza danych pod względem wartości atrybutu „uczestnicy” (var 5) (źródło: opracowanie własne)

Wartość	Liczebność	Udział %
Acft-pojazd	121	52%
Acft-acft	59	25%
Acft-osoba	53	23%
Suma	233	100%

Wyliczenie wskaźnika nierównowagi dla zmiennej „uczestnicy”:

$$IR = \frac{121}{53} \approx 2,28$$

Tabela 47 Analiza danych pod względem wartości atrybutu „niestandardowe procedury poruszania się” (var_6) (źródło: opracowanie własne)

Wartość	Liczebność	Udział %
0	157	68%
1	75	32%
Suma	232	100%

Wyliczenie wskaźnika nierównowagi dla zmiennej „niestandardowe procedury poruszania się”:

$$IR = \frac{157}{75} \approx 2,09$$

Tabela 48 Analiza danych pod względem wartości atrybutu „czas” (var_9) (źródło: opracowanie własne)

Wartość	Liczebność	Udział %
Summer day	63	27%
Summer night	51	22%
Winter day	63	27%
Winter night	56	24%
Suma	233	100%

Wyliczenie wskaźnika nierównowagi dla zmiennej „czas”:

$$IR = \frac{63}{51} \approx 1,24$$

Analogiczne analizy przeprowadzono względem wartości indeksów prawdopodobieństwa oraz dotkliwości (output_1 oraz output_2) i przedstawiono w Tabelach 49 oraz 50.

Tabela 49 Analiza danych pod względem wartości indeksu prawdopodobieństwa (output_1) (źródło: opracowanie własne)

Wartość	Liczebność	Udział %
1	63	27%
2	77	33%
3	38	16%
4	25	11%
5	30	13%
Suma	233	100%

Wyliczenie wskaźnika nierównowagi dla wartości indeksu prawdopodobieństwa:

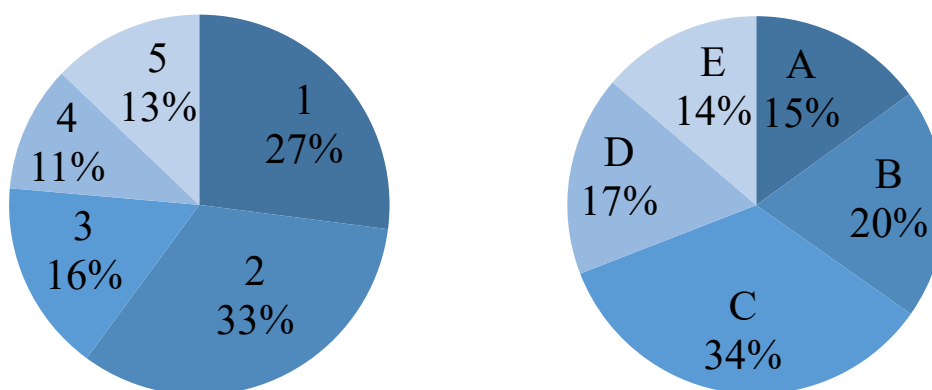
$$IR = \frac{77}{25} \approx 3,08$$

Tabela 50 Analiza danych pod względem wartości indeksu dotkliwości (output 2) (źródło: opracowanie własne)

Wartość	Liczebność	Udział %
A	35	15%
B	46	20%
C	80	34%
D	40	17%
E	32	14%
Suma	233	100%

Wyliczenie wskaźnika nierównowagi dla wartości indeksu dotkliwości:

$$IR = \frac{80}{32} \approx 2,5$$



Rysunek 43 Graficzna analiza danych pod względem wartości indeksu prawdopodobieństwa (output_1, z lewej) oraz dotkliwości (output_2, z prawej) (źródło: opracowanie własne)

Zbalansowanie zbioru danych oceniono na podstawie rozkładu liczebności wartości poszczególnych zmiennych. Wskaźniki nierównowagi (Imbalance Ratio) pomiędzy klasą dominującą a najmniej liczebną przyjmowały wartości z przedziału od 1 do 3,5, co wskazuje na umiarkowane niezbalansowanie danych (Zhu i in., 2020).

6.6.5 Wybór wariantu klasyfikatora Bayesa

Najczęściej stosowane warianty naiwnego klasyfikatora bayesowskiego to (Tomaszewska, 2024):

- Naiwny klasyfikator Bayesa dla wielowymiarowych modeli Bernoulliego;
- Naiwny klasyfikator Bayesa dla cech kategorycznych;
- Klasyfikator Complement Naive Bayes;
- Gaussian Naive Bayes (GaussianNB);
- Klasyfikator Naive Bayes dla modeli wielomianowych.

Zważając na dyskretny typ zmiennych wejściowych zastosowano Dyskretny Naiwny Klasyfikator Bayesa (Discrete Naive Bayes Classifier), nazywany również Naiwnym klasyfikatorem Bayesa dla cech kategorycznych (Categorical Naive Bayes) (Murphy, 2012). Warto zauważyć, że część atrybutów jest typu binarnego (0/1), co wskazywałoby na wariant Bernoulliego; jednak ten wariant wymaga, aby każdy atrybut był binarny (McCallum i Nigam, 1998), co nie jest właściwością wykorzystanej bazy wiedzy. Dyskretny Naiwny Klasyfikator Bayesa zakłada, że cechy mogą mieć dowolną liczbę kategorii (czyli również tylko dwie), co pozwala traktować zmienne binarne jako kategoryczne. W przyjętym wariantcie szacowane są pełne tablice warunkowych prawdopodobieństw (Conditional Probability Table, CPT).

6.6.6 Uczenie modelu

Przygotowane w MS Excel dane zaimportowano do programu Hugin Expert, wskazując kolumny zawierające zmienne niezależne oraz etykiety klas (Rysunek 44).

#	lp	var_3	var_4	var_5	var_6	var_9	output_1	output_2	output_3
0	1	3	towed	acft-pojazd	0	winter night	1	B	1B
1	2	3	taxiing	acft-pojazd	0	winter day	1	C	1C
2	3	5	taxiing	acft-pojazd	0	winter night	1	B	1B
3	4	3	standing	acft-pojazd	0	winter day	1	B	1B
4	5	2	taxiing	acft-pojazd	0	summer day	1	C	1C
5	6	5	taxiing	acft-pojazd	0	summer day	1	B	1B
6	7	5	taxiing	acft-acft	0	summer day	1	B	1B
7	8	3	taxiing	acft-pojazd	0	summer day	1	C	1C
8	9	3	taxiing	acft-pojazd	0	winter day	1	D	1D
9	10	6	towed	acft-acft	0	winter night	1	B	1B
10	11	3	taxiing	acft-osoba	0	summer day	1	C	1C
11	12	5	taxiing	acft-osoba	0	summer day	1	B	1B
12	13	2	taxiing	acft-osoba	0	winter day	1	C	1C
13	14	5	taxiing	acft-pojazd	0	winter day	1	E	1E
14	15	3	taxiing	acft-pojazd	0	summer day	1	C	1C
15	16	3	taxiing	acft-pojazd	0	winter day	1	B	1B
16	17	3	taxiing	acft-pojazd	0	summer day	1	D	1D
17	18	5	towed	acft-pojazd	0	winter night	2	C	2C
18	19	5	taxiing	acft-pojazd	0	summer day	2	C	2C
19	20	3	taxiing	acft-pojazd	0	summer day	2	C	2C
20	21	3	taxiing	acft-pojazd	0	summer day	1	D	1D
21	22	2	taxiing	acft-pojazd	0	summer day	2	C	2C
22	23	5	taxiing	acft-pojazd	0	summer day	1	C	1C
23	24	5	taxiing	acft-pojazd	0	winter night	2	C	2C
24	25	3	taxiing	acft-pojazd	0	summer day	2	C	2C

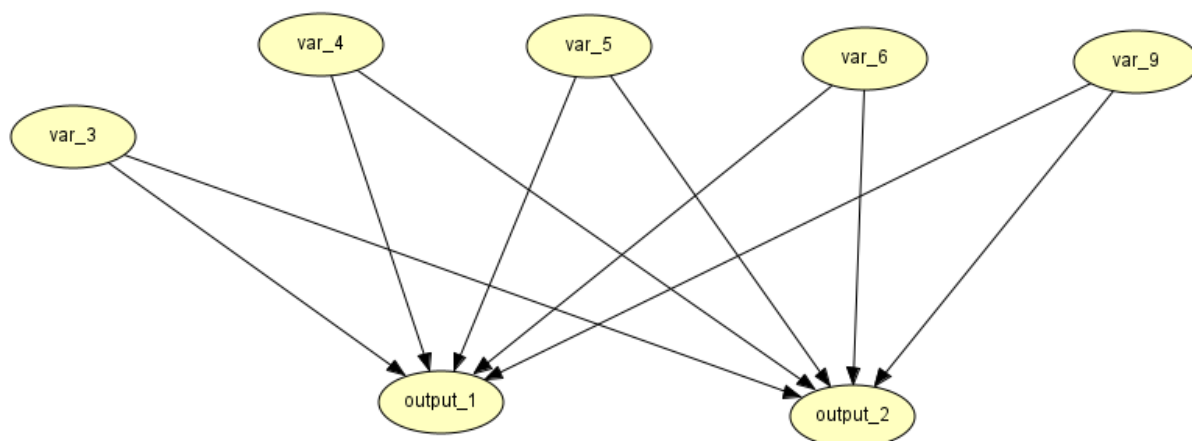
Rysunek 44 Widok programu Hugin Expert po dodaniu danych (źródło: opracowanie własne).

Na tej podstawie zostały wyznaczone węzły sieci:

- sektor (var_3),
- rodzaj ruchu (var_4),
- uczestnicy (var_5),
- niestandardowe procedury poruszania się (var_6),
- czas (var_9),
- indeks prawdopodobieństwa (output_1),

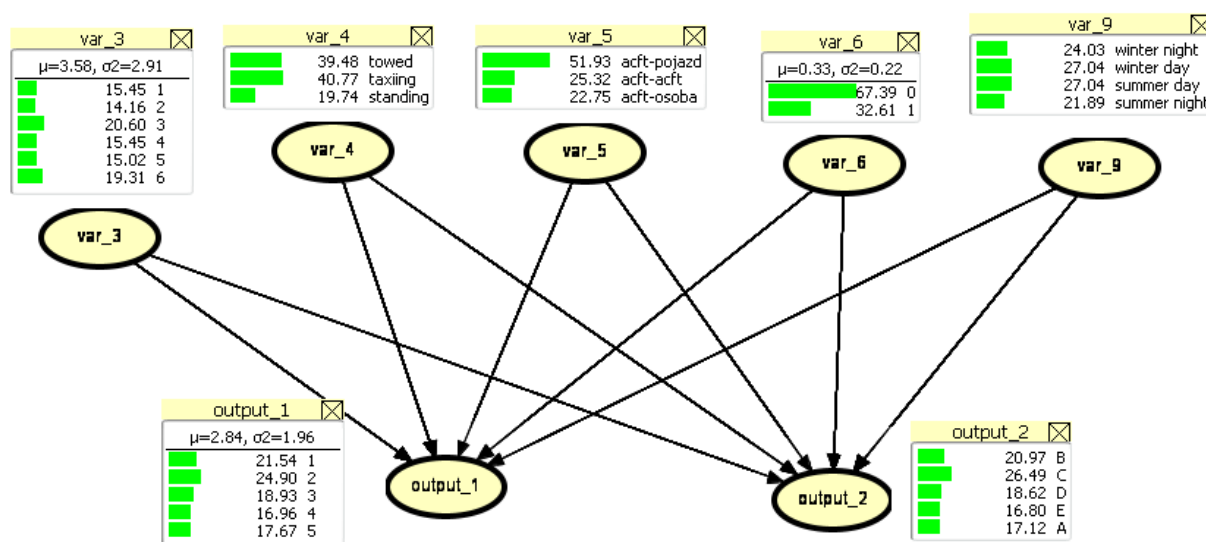
- indeks dotkliwości (output_2).

W kolejnym kroku ustalono strukturę modelu, tj. zdefiniowano krawędzie (łuki) pomiędzy węzłami (Rysunek 45). Krawędzie oznaczają założenie o zależności warunkowej: każda cecha wpływa na klasę, ale niezależnie od innych (to cecha naiwnego klasyfikatora Bayesa).



Rysunek 45 Struktura zbudowanego modelu (źródło: opracowanie własne).

Po ustaleniu struktury modelu możliwe jest uruchomienie uczenia modelu z wykorzystaniem przygotowanych danych. Narzędzie wylicza na ich podstawie rozkład prawdopodobieństwa (Rysunek 46).



Rysunek 46 Model wraz z wyliczonym prawdopodobieństwem (źródło: opracowanie własne).

Prawdopodobieństwa przy zmiennych oraz przy klasach to empiryczne częstości ich występowania w zbiorze uczącym (prawdopodobieństwa *a priori*). Te wartości są wykorzystywane przez klasyfikator do estymacji prawdopodobieństw warunkowych.

Możliwe jest także zapoznanie się z wartościami poszczególnych prawdopodobieństw warunkowych, aby przeanalizować zależności modelu. Rysunek 47 przedstawia fragment CPT.

output_2

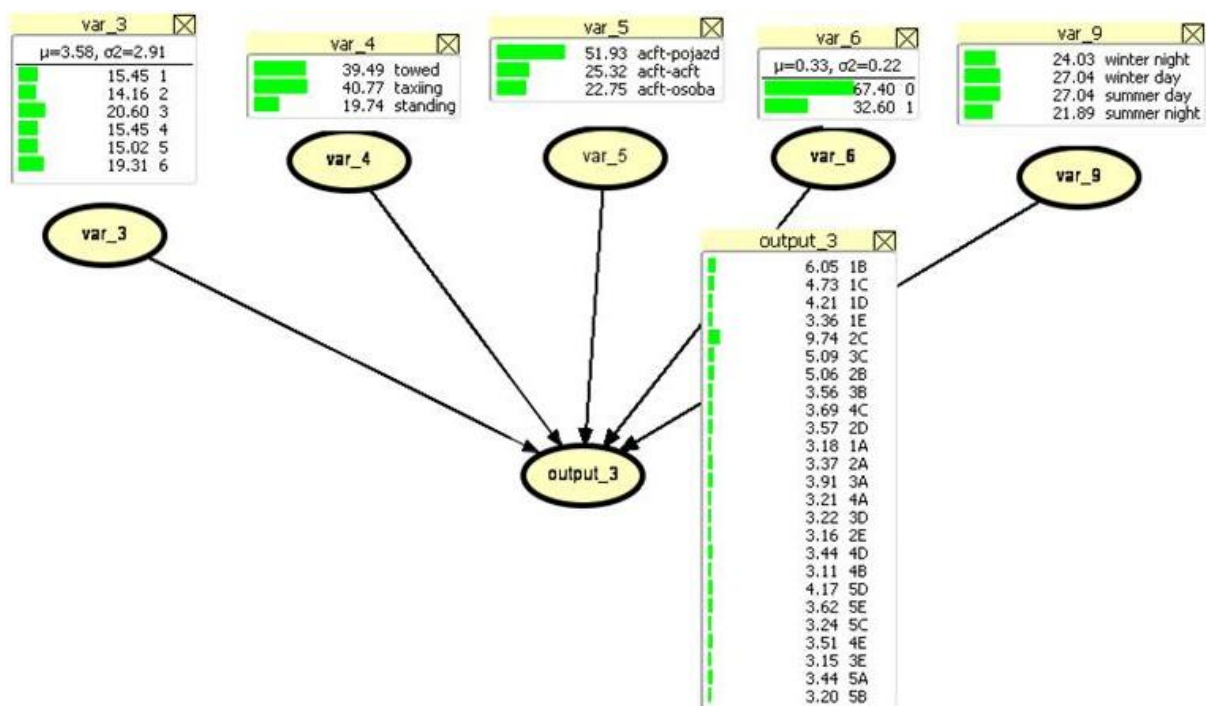
var 4	towed															
var 5	act-act															
var 6																
var 3																
var 9	winter nio	winter dav	summer d	summer n	winter nio	winter dav	summer d	summer n	winter nio	winter dav	summer d	summer n	winter nio	winter dav	summer d	summer n
B	0.66667	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	0	0.451515	1	1
C	0.16667	1	1	1	1	1	1	0.333333	1	0	0	0	1	0.272727	1	1
D	0	1	1	1	1	1	1	0.166667	1	0	0	0	0	0.181818	1	1
E	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0.090909	1	1
A	0.16667	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1
Experience	6	0	0	0	0	0	0	6	0	1	1	1	1	11	0	0

var 4	towed															
var 5	act-act															
var 6																
var 3																
var 9	winter nio	winter dav	summer d	summer n	winter nio	winter dav	summer d	summer n	winter nio	winter dav	summer d	summer n	winter nio	winter dav	summer d	summer n
B	1	1	1	1	1	1	0.333333	0.5	1	0	1	1	1	1	1	0
C	1	1	1	1	0	1	0.333333	0.333333	1	0	1	1	1	1	1	0
D	1	1	1	1	0	1	0.166667	0.166667	1	0	1	1	1	1	1	1
E	1	1	1	1	0	1	0.166667	0	1	1	1	1	1	1	1	0
A	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0
Experience	0	0	0	0	1	0	6	6	0	1	0	0	0	0	0	1

var 4	towed															
var 5	act-act															
var 6																
var 3																
var 9	winter nio	winter dav	summer d	summer n	winter nio	winter dav	summer d	summer n	winter nio	winter dav	summer d	summer n	winter nio	winter dav	summer d	summer n
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
C	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
D	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
E	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
A	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
Experience	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1

Rysunek 47 Fragment tabeli prawdopodobieństw warunkowych (źródło: opracowanie własne).

Rozważano także alternatywną strukturę modelu, w której dokonano zamiany pierwotnie ustalonych dwóch wyjść (indeks prawdopodobieństwa i indeks ryzyka) na jedno wyjście (końcowy indeks ryzyka składający się z liczby i litery). Oznacza to, że zamiast dwóch wyjść mogących przyjąć po 5 różnych wartości (output_1, output_2), wskazano jedno wyjście (output_3) mogące przyjąć 25 różnych wartości. Zmodyfikowany w ten sposób model przedstawia Rysunek 48.



Rysunek 48 Zmodyfikowany model pod względem liczby etykiet klas (źródło: opracowanie własne).

Model z dwoma wyjściami pozwala osobno analizować prawdopodobieństwo i dotkliwość, co może być przydatne podczas zarządzania ryzykiem, w szczególności podczas ustalania sposobów mitygacji ryzyka (ograniczanie prawdopodobieństwa lub dotkliwości). Porównując wyniki opisanych dwóch wersji modelu ustalono, że model z dwoma wyjściami dla output_1 wskazuje najniższe wartości $\sim 16,96$, a najwyższe $\sim 24,9$ (różnica 8 punktów), a dla output_2 wskazuje najniższe wartości $\sim 16,8$, a najwyższe $\sim 26,49$ (różnica niemal 10 punktów), podczas gdy model z jednym wyjściem wskazuje najniższe wartości $\sim 3,11$, a najwyższe $\sim 9,74$ (ponad 6 punktów różnicy). Uwzględniając, że model z dwoma wyjściami daje wyniki dla 5 klas a ten z jednym dla 25 klas, wnioskuje się, że model z jednym wyjściem generuje bardziej skoncentrowane, a tym samym bardziej pewne predykcje, ponieważ zakres wskazywanych prawdopodobieństw mieści się w węższym przedziale. Dotychczasowe obserwacje wskazują, że model z dwoma wyjściami wykazuje większe wahania prawdopodobieństwa, co może sugerować większą niepewność predykcji lub silniejszą zależność od rozkładu danych wejściowych.

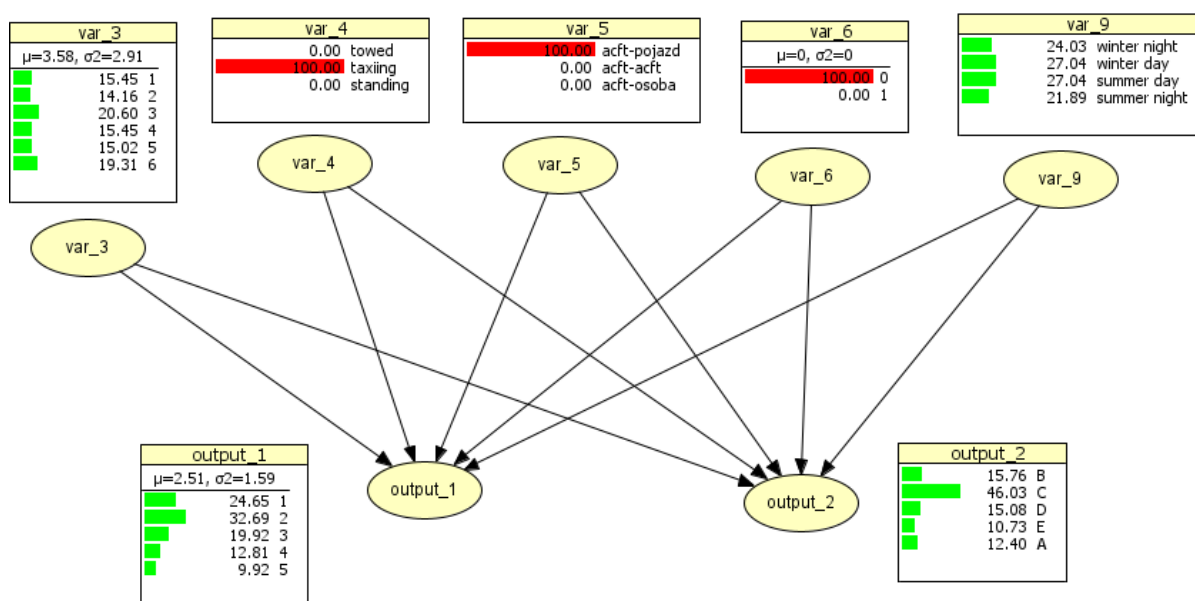
Stworzony klasyfikator pozwala na znaczące zaoszczędzenie czasu eksperta zajmującego się oceną ryzyka związanego ze zdarzeniami na lotnisku, poprzez umożliwienie prowadzenia klasyfikacji „na żywo”. Ekspert, posiadając informacje o przebiegu zdarzenia opisuje je za pomocą atrybutów klasyfikatora, wprowadza te dane do narzędzia informatycznego i po chwili otrzymuje informację o prawdopodobieństwie przyporządkowania danego

zdarzenia do poszczególnych klas (prawdopodobieństwo *a posteriori*), tj. otrzymuje wskazanie indeksu ryzyka powiązanego z badanym zdarzeniem.

Dzięki temu narzędziu ekspert oszczędza czas, który bez niego musiałby poświęcić na analizę okoliczności zdarzenia (w tym ustalanie ich znaczenia) oraz podobnych zdarzeń historycznych. W praktyce oznacza to poświęcenie kilku minut na czynność, która do tej pory mogła zajmować nawet kilka godzin. Ponadto klasyfikator umożliwia analizowanie wpływu poszczególnych zmiennych oraz testowanie dowolnych scenariuszy.

6.6.7 Eksperymenty z wykorzystaniem klasyfikatora

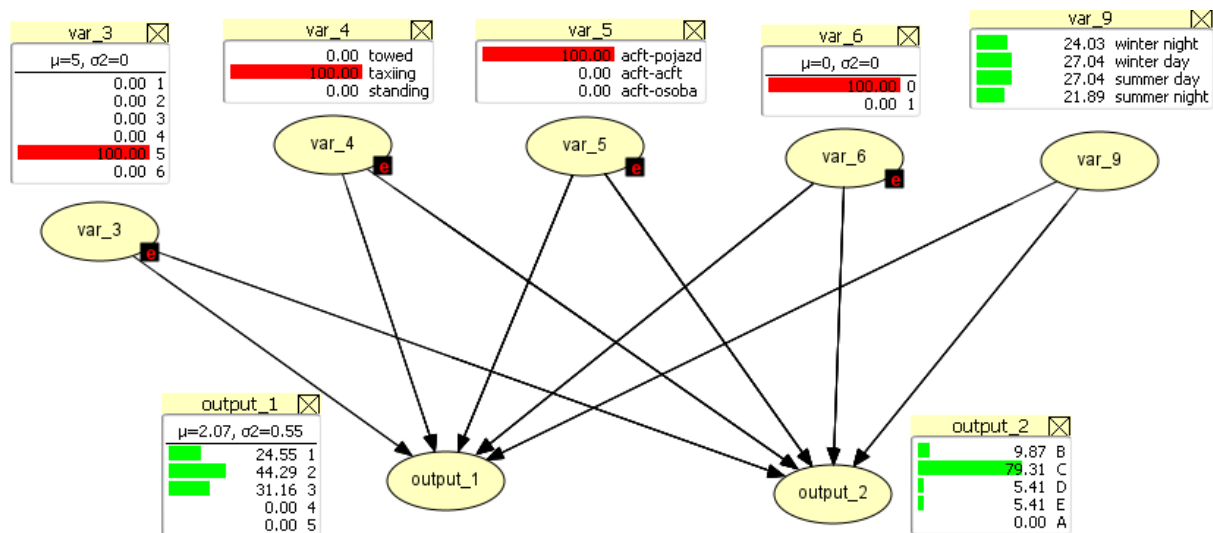
Analizowano wpływ „zamrożenia” jednego lub więcej atrybutów o wybranej wartości. Celem prowadzenia tych prób było lepsze zrozumienie mechanizmów wpływających na wartości danych wyjściowych (indeksu ryzyka). Rysunek 49 przedstawia eksperyment polegający na dopuszczeniu zmian wartości wyłącznie zmiennych „sektor (var_3)” oraz „czas (var_9)”, tj. ustaleniu, że każde zdarzenie działałoby się podczas kołowania statku powietrznego (var_4 = taxiing), uczestnikami byłoby statek powietrzny oraz pojazd (var_5 = acft-pojazd) oraz nie obowiązywałyby niestandardowe procedury (var_6 = 0).



Rysunek 49 Symulacja nr 1 (źródło: opracowanie własne).

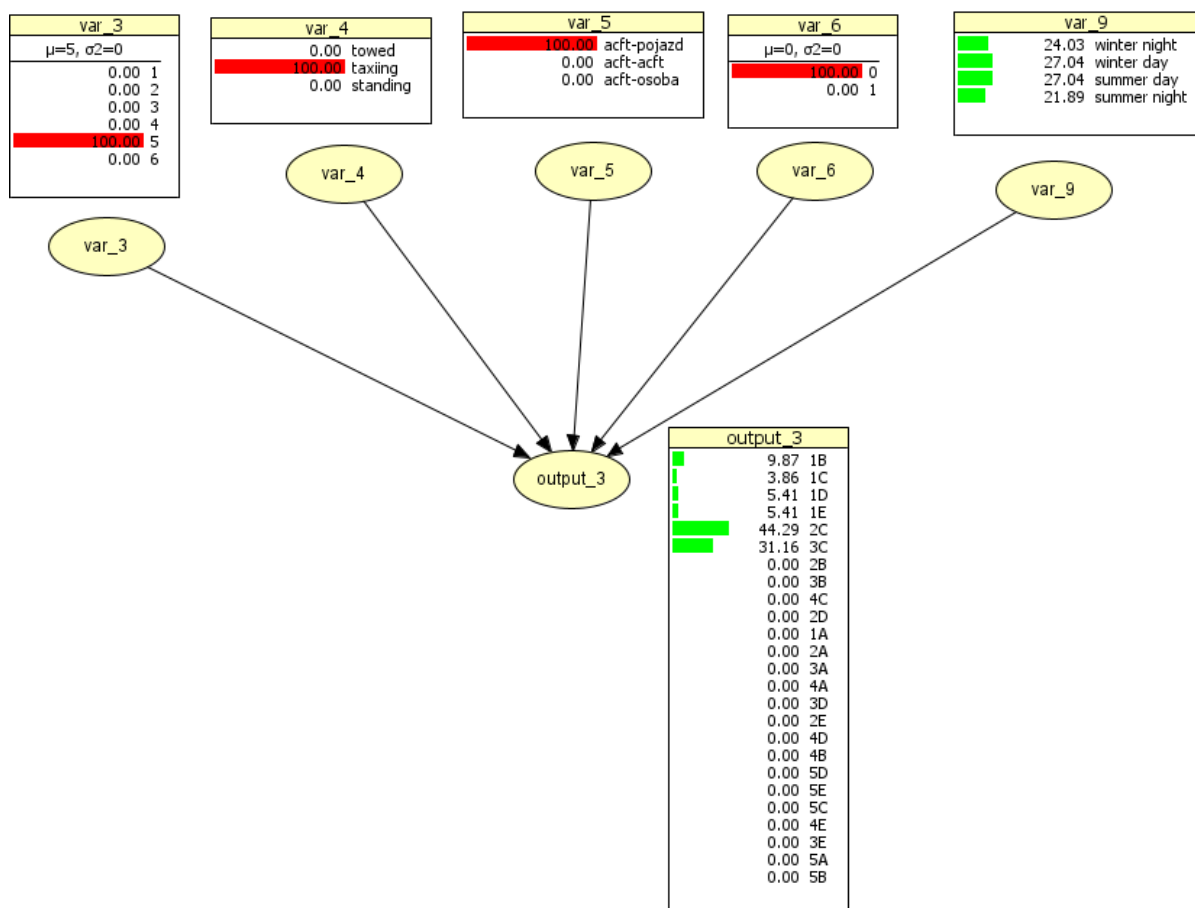
Model wskazuje, że przy opisanych założeniach najbardziej prawdopodobny indeks ryzyka, który przypisałby ekspert, to 2C, tj. ryzyko „niskie”. Prawdopodobieństwo wskazania indeksu dotkliwości jako wartości „C” to 46,03%; prawdopodobieństwo wskazania indeksu prawdopodobieństwa jako wartości „2” to 32,69%. Wskazanie w zakresie dotkliwości jest silne, podczas gdy z podobnym prawdopodobieństwem jak dla wartości „2” (o 6 punktów niższym) wskazuje także wartość „1”.

Porównano to z prognozą dla przypadku, w którym wszystkie okoliczności zdarzenia (poza wskazaniem czasu) zostaną określone, tj. przyjęto, że do zdarzenia doszło w sektorze 5 podczas kołowania statku powietrznego pomiędzy nim a pojazdem; nie obowiązywały niestandardowe procedury poruszania się. Symulację przedstawia Rysunek 50.



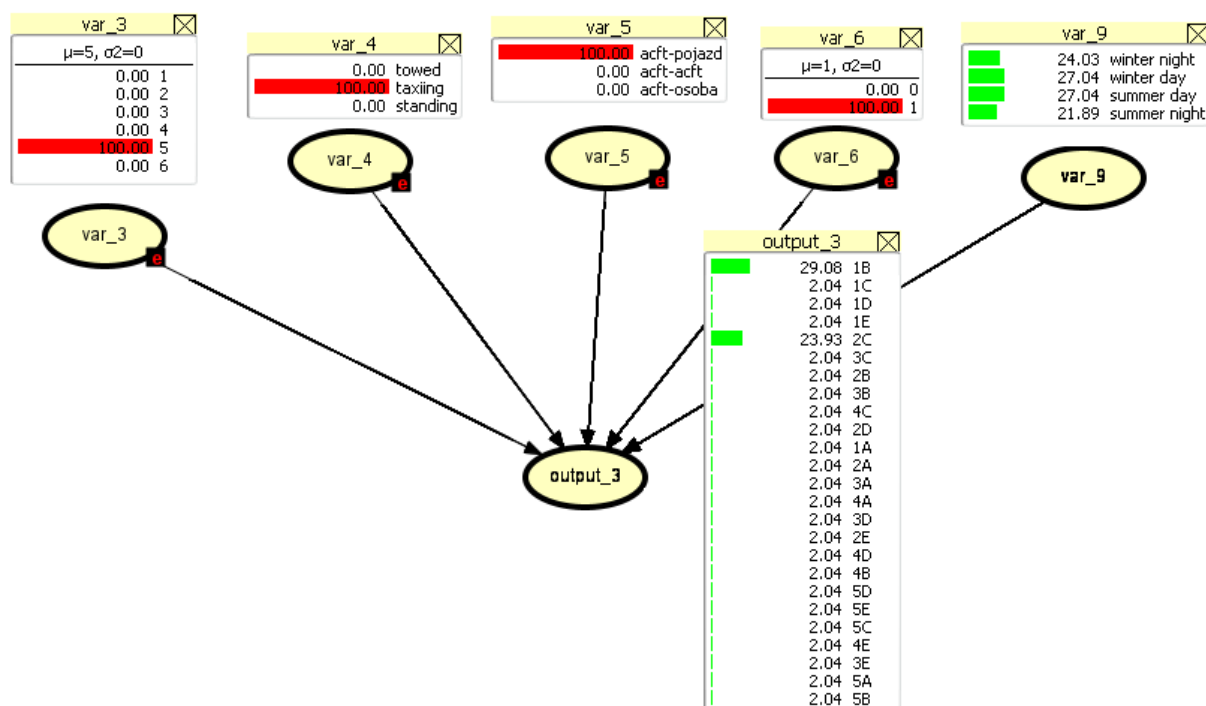
Rysunek 50 Symulacja nr 2 (źródło: opracowanie własne).

Zauważono, że wprowadzenie wskazania lokalizacji zdarzenia spowodowało, że model „wie”, że indeksem prawdopodobieństwa nie byłyby wartości „4” ani „5”. Analogiczne założenia wprowadzono modelu o strukturze uwzględniającej pojedynczą daną wyjściową (Rysunek 51).



Rysunek 51 Symulacja nr 3 (źródło: opracowanie własne).

Ustalono, że jest duża pewność klasy 2C (44.29%) i 3C (31.16%). Wiele klas jest wykluczonych (0%), co oznacza, że ten model także „wie”, co się nie zdarzy. Model daje bardzo skoncentrowane predykcje (nie ma rozmycia prawdopodobieństw na wiele klas), gdy niemal wszystkie zmienne wejściowe są znane z 100% pewnością. Metodą ekspercką potwierdzono poprawność wskazań modeli z przyjętymi założeniami, identyfikując silniejsze wskazania modelu z jedną zmienną. Przeprowadzono także analogiczny eksperyment, zmieniając wartość zmiennej var_6, tj. wskazując, że w trakcie zdarzenia obowiązują niestandardowe procedury poruszania się (Rysunek 52).



Rysunek 52 Symulacja nr 4 (źródło: opracowanie własne).

W tym przypadku wskazania także były silne: 29,08 % wskazania na 1B oraz 23,93% wskazania 2C. Klasyfikator wskazuje zatem nieco wyższy poziom ryzyka niż w poprzednim przypadku. Potwierdzono w konsultacji z ekspertem, że występowanie niestandardowych procedur poruszania się często skutkuje wzrostem ryzyka.

Poprzez konsultację z ekspertem potwierdzono, że „zamrożone” zmienne mają większy wpływ na dotkliwość zdarzenia, niż na jego prawdopodobieństwo. Zważając, że zmienne te stanowią większość wszystkich dobranych dla modelu, wywnioskowano, że dobrany zestaw zmiennych może mieć większy wpływ na dotkliwość czy prawdopodobieństwo. Korzystne wydaje się kontynuowanie analiz możliwości zastosowania klasyfikatora bayesowskiego uwzględniające zwiększenie liczby zmiennych modelu.

Rysunki przedstawiające wszystkie przeprowadzone eksperymenty zawarto w załączniku do pracy (załącznik „Eksperymenty Bayes”).

6.6.8 Testy modelu

W sytuacji, gdy jest mała próbka danych, zaleca się zastosowanie walidacji krzyżowej w celu zapewnienia wiarygodności wyników. Metoda ta polega na podziale danych na kilka losowych podzbiorów, gdzie każdy z nich jest wykorzystywany jako zestaw testowy dla modelu nauczzonego na pozostałych podzbiorach. Ostatecznie wyniki są uśredniane, co pozwala na obiektywną ocenę wydajności modelu (Tomaszewska, 2024). Przeprowadzono walidację krzyżową losowo dzieląc bazę wiedzy na 5 części. Przyjmując w pierwszym przypadku,

że pierwsze cztery części bazy (186 rekordów) stanowią zbiór danych uczących (załącznik „Dane1”), a pozostałe dane zbiór danych testowych (47 rekordów, załącznik „Test1”) przeprowadzono uczenie modelu (bez modyfikacji jego struktury) za pomocą zbioru Dane1. Tabele prawdopodobieństw warunkowych dla tak nauczonego modelu są bardzo podobne do tabel dla modelu, który do uczenia którego wykorzystano całą bazę wiedzy (rozdział 6.6.6). Do tak nauczonego modelu zaimplementowano dane zbioru testowego (Test1) z żądaniem obliczenia prawdopodobieństwa jego przynależenia do poszczególnych klas. Wybrane wyniki testu przedstawiono w Tabeli 51, wszystkie zamieszczono w załączniku „Wyniki1”. Prawdopodobieństwa wskazania poszczególnych klas ($P(\text{output}_3=...)$) porównywano z rzeczywistą klasą danego przypadku (output_3_orig). Analogiczne testy przeprowadzono na pozostałych zbiorach danych; przygotowane zbiory danych oraz wyniki testów stanowią załączniki do pracy.

Tabela 51 Wybrane wyniki testu na zbiorze Test1 (źródło: opracowanie własne).

l. p.	177	19	41	37	82	52	34	116	80
output 3 orig	1E	2C	3C	3C	1C	2C	2C	1E	1D
$P(\text{output}_3=1B)$	0	0.15789	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=1C)$	0	0.15789	0	0	0.07143	0	0.13158	0.1875	0.07143
$P(\text{output}_3=1D)$	0	0	0	0	0.28571	0	0.18421	0.1875	0.28571
$P(\text{output}_3=1E)$	1	0	0	0	0.42857	0	0	0.4375	0.42857
$P(\text{output}_3=2C)$	0	0.52632	0	0	0	1	0.36842	0	0
$P(\text{output}_3=3C)$	0	0.15789	1	1	0	0	0.15789	0	0
$P(\text{output}_3=2B)$	0	0	0	0	0	0	0.07895	0	0
$P(\text{output}_3=3B)$	0	0	0	0	0	0	0.07895	0	0
$P(\text{output}_3=4C)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=2D)$	0	0	0	0	0.21429	0	0	0.1875	0.21429
$P(\text{output}_3=1A)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=2A)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=3A)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=4A)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=3D)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=2E)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=4D)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=4B)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=5D)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=5E)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=5C)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=4E)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=3E)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$P(\text{output}_3=5A)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Model najczęściej wskazuje od jednej do trzech najbardziej prawdopodobnych klas. W przypadku, gdy model wskazuje jedną klasę z wysokim prawdopodobieństwem, można przyjąć, że predykcja jest trafna. Gdy natomiast wytypowanych zostaje kilka klas, ich analiza pozwala ukierunkować dalsze działania analityczne. Tego rodzaju podejście umożliwia również

nadawanie priorytetów działaniom z zakresu zarządzania ryzykiem. Warto również zauważyć, że w wielu sytuacjach różnice pomiędzy kilkoma sugerowanymi klasami mogą nie mieć praktycznego znaczenia, jeśli wszystkie należą do tego samego zakresu tolerancji (rozdział 3.1.5).

W kolejnym kroku dokonano ogólnej oceny klasyfikatora wykorzystując funkcje programu Hugin Expert. Ocena dokonywana jest na podstawie macierzy pomyłek (confusion matrix), z której dla każdej klasy wyliczany jest parametr wskazujący poziom błędnych wskazań modelu (error rate [%]) oraz AUC ROC (Area Under the Curve Receiver Operating Characteristic) (Han i in., 2012). Im sprawniejszy model, tym error rate jest niższy, a AUC ROC większa (klasyfikator uznaje się za dobrze działający gdy ta wartość jest większa od 0,5). Wartości opisanych parametrów dla wybranych klas modelu zbudowanego na zbiorze Dane1 przedstawiono w Tabeli 52. Analogiczne analizy przeprowadzono dla pozostałych zbiorów danych.

Tabela 52 Wybrane wartości pola pod wykresem krzywej ROC i error rate (źródło: opracowanie własne).

Klasa (indeks ryzyka)	AUC ROC	Error rate
1A	0,96	4,3%
1B	0,86	6,4%
1C	0,88	12,8%
1E	1	2,1%
2A	1	2,1%
2B	0,92	6,4%
2C	0,89	12,8%
2E	0,99	2,1%
3A	1	0%
3C	0,91	4,3%
3E	1	2,1%
4A	1	0%
4C	0,94	4,3%
4E	0,99	2,1%
5A	1	2,1%
5C	1	0%

Na podstawie wyliczonych parametrów zaobserwowano, że większość klas osiąga bardzo wysokie wartości ROC AUC ($\geq 0,9$), co świadczy o dobrym rozdziale klas przez model. Error rate jest na ogół niski (0–6,5%), co wskazuje na małą liczbę błędnych klasyfikacji. Dla kilku klas obserwujemy wyraźnie wyższy error rate, co może sugerować, że klasy te są trudniejsze do odróżnienia lub występują w kontekstach granicznych.

6.6.9 Omówienie wyników badania dotyczącego możliwości zastosowania klasyfikatora bayesowskiego do zarządzania ryzykiem na lotnisku i wnioski w tym zakresie

Na podstawie przedstawionych w rozdziale 0 badań sformułowano następujące wnioski:

- Opracowany klasyfikator bayesowski stanowi narzędzie informatyczne do zarządzania ryzykiem, które można wykorzystywać zarówno wewnątrz organizacji oraz we współpracy z podmiotami zewnętrznymi. Narzędzie to znacząco przyspiesza pracę ekspertów.
- Dane wyjściowe (output) dostarczane przez zbudowany klasyfikator bayesowski są zgrubne, ale szybkość ich pozyskania jest bardzo przydatna, ponieważ pozwala np. wskazać priorytet w pracy eksperta.
- Dotychczasowe obserwacje wykazały, że model z jednym wyjściem lepiej prognozuje (bardziej jednoznacznie wskazuje wynik) niż ten, w którym etykieta klasy określona jest przez dwa parametry.
- Przeprowadzone eksperymenty wskazują, że dobrane w modelu zmienne mają większy wpływ na indeks dotkliwości niż prawdopodobieństwa analizowanych za ich pomocą zdarzeń.
- Klasyfikator można doskonalić poprzez zwiększenie liczby zmiennych modelu oraz rozbudowania bazy wiedzy o kolejne dane.
- Istotnym wyzwaniem podczas budowy modelu był ograniczony dostęp do danych historycznych dotyczących zdarzeń o skrajnym poziomie ryzyka. W praktyce nie rejestruje się informacji o operacjach przebiegających bez zakłóceń, a także brak jest danych o wypadkach, które nie występują w rzeczywistości. Potwierdzają to badania z 2018 r. dotyczące ograniczeń ilościowych metod zarządzania ryzykiem opisane w rozdziale 1.2.3.
- Wyzwaniem specyficznym dla Lotniska Chopina jest konieczność uwzględniania zmian w geometrii oraz nazewnictwie infrastruktury lotniskowej, które następowały na przestrzeni czasu podczas budowania metod zarządzania ryzykiem opartych na danych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku wykorzystywania elementów infrastruktury jako atrybutów opisujących obserwacje w modelu. Poszczególne stanowiska postojowe czy drogi kołowania mogły być w różnych okresach modyfikowane, co wymaga uwzględnienia tych zmian analizując dane historyczne.

6.7 Identyfikacja zagrożeń

Poprawna identyfikacja zagrożeń jest kluczowym elementem procesu zarządzania ryzykiem (Kadziński, 2013). Istotnym jest oparcie tego procesu na wiarygodnej i bogatej bazie danych, którą należy budować w oparciu o wszelkie możliwe źródła danych, w szczególności:

- systemy zgłaszania zdarzeń oraz zagrożeń (dobrowolne oraz obowiązkowe);

- automatyczne systemy rejestrowania danych;
- informacje zwrotne ze szkoleń, spotkań operacyjnych;
- przeglądy / audyty,
- analizy trendów,
- wyniki badania zdarzeń (wewnętrzne i zewnętrzne),
- raporty z pracy lotniska,
- krajowe i europejskie raporty o stanie bezpieczeństwa itp.

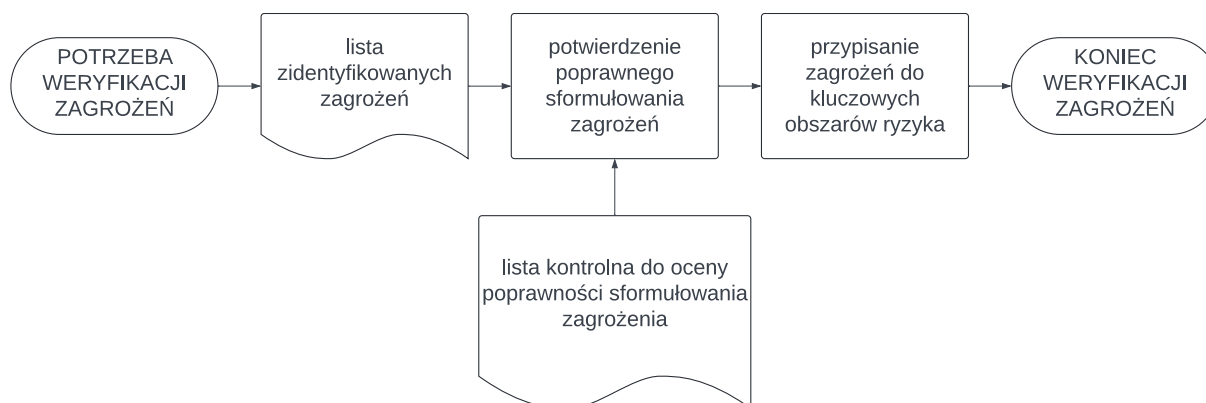
Proces identyfikacji zagrożeń zaleca się prowadzić stosując techniki wskazane przez drzewo decyzyjne omówione w rozdziale 6.3. Każde zagrożenie należy scharakteryzować wskazując jego źródło (nazywane w literaturze także czynnikami zagrożenia), nazwę zagrożenia oraz powiązane z nim zdarzenia niepożądane (potencjalne konsekwencje) zgodnie z (Gill i Kadziński, 2016), (Parlament Europejski i Rada, 2014) oraz (ICAO, 2013b). Szablon listy zagrożeń przedstawiono w Tabeli 53.

Tabela 53 Szablon listy zagrożeń (źródło: opracowanie własne na podstawie (Gill i Kadziński, 2016), (Parlament Europejski i Rada, 2014), (ICAO, 2013b)).

Źródło zagrożenia (czynniki zagrożenia)	Zagrożenie	Potencjalne konsekwencje
Wskaż aspekty (fizyczne, psychofizyczne, organizacyjne, osobowe), których obecność jest powodem sformułowania zagrożenia.	Wskaż sytuację lub przedmiot z potencjałem spowodowania śmierci lub urazów ciała osoby, uszkodzeń sprzętu lub konstrukcji, straty materiału lub zmniejszenia możliwości wypełnienia przez osobę określonych funkcji.	Wskaż potencjalny skutek zagrożenia, niebezpieczne wydarzenie lub wypadek.

6.8 Weryfikacja zagrożeń

Kolejnym elementem metody jest weryfikacja zidentyfikowanych zagrożeń. Schemat blokowy przebiegu procesu weryfikacji zagrożeń przedstawia Rysunek 53.



Rysunek 53 Schemat blokowy procesu „weryfikacja zagrożeń” (źródło: opracowanie własne).

6.8.1 Potwierdzenie poprawnego sformułowania zagrożeń

Z przeprowadzonych badań wynika, że częstym utrudnieniem prowadzenia analiz ryzyka jest niepoprawne określenie zagrożeń. Niniejszy etap metody ma za zadanie wskazać na tę niezgodność we właściwym momencie. Stosowanie listy kontrolnej weryfikującej prawidłowość sformułowania zagrożenia może pomóc w niwelowaniu zmienności przebiegu procesu zarządzania ryzykiem (rozdział 4.6). Ocena przebiegu zarządzania ryzykiem przeprowadzona z wykorzystaniem FRAM wskazała, że narzędzie weryfikujące prawidłowość sformułowania zagrożenia zmniejszy skutki rezonansu funkcjonalnego, który składa się z sekwencji: nieprawidłowa ocena ryzyka – brak identyfikacji najistotniejszych potencjalnych konsekwencji (rozdział 5.1.4).

W tym etapie metody należy ocenić poprawność sformułowanych zagrożeń. Celem jest zapewnienie, że zidentyfikowane zagrożenia spełniają definicję zagrożeń, którymi zajmuje się system zarządzania bezpieczeństwem. Unijne przepisy (Parlament Europejski i Rada, 2014) wskazują, że „zagrożenie” oznacza sytuację lub przedmiot z potencjałem spowodowania śmierci lub urazów ciała osoby, uszkodzeń sprzętu lub konstrukcji, straty materiału lub zmniejszenia możliwości wypełnienia przez osobę określonych funkcji. Do weryfikacji poprawności sformułowania zagrożeń proponuje się zastosowanie listy kontrolnej „zagrożenie” (Tabela 54).

Tabela 54 Lista kontrolna „zagrożenie” (źródło: opracowanie własne).

Sekcja	Pytanie	Tak	Nie
1	Czy sformułowane zagrożenie wskazuje na przedmiot?	☐	☐
	Czy sformułowane zagrożenie wskazuje na sytuację?	☐	☐
2	Ma potencjał spowodowania śmierci osoby?	☐	☐
	Ma potencjał spowodowania urazów ciała osoby?	☐	☐
	Ma potencjał uszkodzenia sprzętu?	☐	☐
	Ma potencjał uszkodzenia konstrukcji?	☐	☐
	Ma potencjał straty materiału?	☐	☐
	Ma potencjał zmniejszenia możliwości wypełnienia przez osobę określonych funkcji?	☐	☐

Wyłącznie w przypadku co najmniej jednej twierdzącej odpowiedzi w każdej z sekcji listy kontrolnej zagrożenie uznaje się za poprawnie sformułowane.

6.8.2 Przypisanie zagrożeń do kluczowych obszarów ryzyka

W celu systematyzacji danych i gromadzenia ich w formie umożliwiającej przyszłą analizę oraz porównywanie, w dalszym kroku proponuje się przypisanie zidentyfikowanych zagrożeń do kluczowych obszarów ryzyka (KRA). Ten etap metody opiera się na zidentyfikowaniu w przeglądzie literatury (rozdział 1.2.4) potencjalnej korzyści ze stosowania przyporządkowania do KRA także w analizowaniu ryzyka innego, niż

związanego ze zdarzeniami. Działanie to jest tożsame z etapem metody ERCS opisanej w rozporządzeniu (Komisja Europejska, 2020), dzięki czemu wyniki ocen ryzyka związanych ze zdarzeniami będzie można agregować z wynikami pozostałych prowadzonych na lotnisku ocen. Proponowana lista kluczowych obszarów ryzyka jest rozszerzoną o obszary specyficzne dla lotnisk listą KRA wg ERCS. Opisy obszarów ryzyka pochodzących z opisu metody ERCS zostały odpowiednio doprecyzowane. Celem wskazania kluczowego obszaru ryzyka należy określić najbardziej prawdopodobny rodzaj wypadku, w który może przerodzić się zagrożenie będące przedmiotem oceny. Jako dodatkowy obszar ryzyka (niewskazujący rodzaju wypadku, w który może przerodzić się zagrożenie) wskazano „trudności i ograniczenia w realizacji zadań i obowiązków personelu” – do tego obszaru ryzyka należą zagrożenia związane z niezdolnością personelu do realizacji zadań oraz te powiązane z systemem zarządzania. Są to zagrożenia, które mogą przerodzić się w różnorakie wypadki – na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że korzystniej jest je monitorować jako oddzielny obszar ryzyka. Lista przyjętych kluczowych obszarów ryzyka została przedstawiona w Tabeli 55.

Tabela 55 Kluczowe obszary ryzyka (źródło: opracowanie własne)

L.p.	Kluczowy obszar ryzyka	KRA z ERCS
a.	KOLIZJA W POWIETRZU: kolizja statków powietrznych, podczas której oba statki powietrzne znajdują się w powietrzu, lub kolizja statku powietrznego z innymi obiektami unoszącymi się w powietrzu (z wyjątkiem ptaków i wolno żyjących zwierząt); przykłady lotniskowych zagrożeń: – nieuprawniony lot bezzałogowego statku powietrznego – nieczytelne oznakowanie drogi startowej – wysoko odbłaskowa powierzchnia w otoczeniu lotniska	×
b.	ODEJŚCIE OD NORMALNYCH WARUNKÓW EKSPLOATACJI STATKU POWIETRZNEGO: niepożądany stan statku powietrznego charakteryzujący się niezamierzonymi różnicami w stosunku do parametrów normalnie występujących podczas operacji, który w ostatecznym efekcie może prowadzić do niekontrolowanego zderzenia z terenem;	×
c.	KOLIZJA STATKU POWIETRZNEGO NA DRODZE STARTOWEJ: kolizja statku powietrznego z innym obiektem (innym statkiem powietrznym, pojazdem itp.) lub osobą, do której dochodzi na drodze startowej lotniska lub na innym wyznaczonym polu wzlotów. Nie obejmuje to kolizji z ptakami lub wolno żyjącymi zwierzętami. przykłady lotniskowych zagrożeń: – truchło zwierzęcia na drodze startowej – nieczytelne oznakowanie poziome (dienne) pośredniego miejsc oczekiwania przed drogą startową – istnienie obiektów niespełniających wymagań specyfikacji certyfikacyjnych (posiadających pod nawierzchnią trawiastą płaszczyzny pionowe) w części utwardzonej pasa RWY (75 m od osi RWY)	×

L.p.	Kluczowy obszar ryzyka	KRA z ERCS
d.	KOLIZJA POJAZDU LUB GSE NA DRODZE STARTOWEJ: kolizja pojazdu lub GSE z innym obiektem (innym niż statek powietrzny) lub osobą, do której dochodzi na drodze startowej lotniska lub na innym wyznaczonym polu wzlotów. Nie obejmuje to kolizji z ptakami lub wolno żyjącymi zwierzętami. przykłady lotniskowych zagrożeń: – niesprawność pojazdu prowadzącego inspekcję na drodze startowej – awaria lotniskowego systemu łączności radiowej – nieczytelne oznakowanie drogi samochodowej połączonej z drogą startową	
e.	KOLIZJA BEZZAŁOGOWEGO STATKU POWIETRZNEGO: kolizja bezzałogowego statku powietrznego z innym obiektem (innym statkiem powietrznym, pojazdem itp.) lub osobą, do której dochodzi w polu ruchu naziemnego (poza drogą startową). Nie obejmuje to kolizji z ptakami lub wolno żyjącymi zwierzętami. Uwaga! Kolizje bezzałogowych statków powietrznych na drodze startowej należą do obszaru „kolizja statku powietrznego na drodze startowej”. Uwaga! Kolizje bezzałogowych statków powietrznych w powietrzu należą do obszaru „kolizja w powietrzu”. przykłady lotniskowych zagrożeń: – niekorzystne warunki atmosferyczne w trakcie prowadzenia inspekcji oświetlenia nawigacyjnego z wykorzystaniem bezzałogowego statku powietrznego – utrata kontroli nad bezzałogowym statkiem powietrznym – silny wiatr podczas operacji bezzałogowego statku powietrznego nad lotniskiem	
f.	WYPADNIĘCIE STATKU POWIETRZNEGO: zdarzenie, w trakcie którego statek powietrzny opuszcza drogę startową lub pole ruchu naziemnego na lotnisku lub powierzchnię lądowania jakiegokolwiek innego wyznaczonego pola wzlotów, przy czym nie dochodzi do wzniesienia się statku powietrznego w powietrze. Obejmuje to pionowe lądowania z dużą siłą uderzenia w przypadku wiroplatów oraz pionowe starty i lądowania w przypadku statków powietrznych oraz balonów i sterowców. przykłady lotniskowych zagrożeń: – oblodzenie nawierzchni w polu ruchu naziemnego – nieznaną nową infrastrukturę lotniska przez załogę lotniczą – obecność zwierzyny na drodze startowej	×
g.	WYPADNIĘCIE POJAZDU LUB GSE: zdarzenie, w trakcie którego pojazd lub GSE nieintencjonalnie opuszcza drogę startową lub pole ruchu naziemnego. przykłady lotniskowych zagrożeń: – niedostosowanie prędkości poruszania się pojazdu do panujących warunków atmosferycznych – występowanie warunków ograniczonej widzialności – awaria układu hamulcowego holownika	

L.p.	Kluczowy obszar ryzyka	KRA z ERCS
h.	POŻAR, DYM I ZWIĘKSZONE CIŚNIENIE: zdarzenie obejmujące przypadki pożaru, pojawienia się dymu lub oparów lub zwiększenia ciśnienia, które to sytuacje mogą zagrażać ludzkiemu życiu. Obejmuje to zdarzenia, w trakcie których dochodzi do pożaru lub pojawienia się dymu lub oparów w dowolnej części statku powietrznego w trakcie lotu lub na ziemi i które nie są skutkiem uderzenia lub umyślnego działania; przykłady lotniskowych zagrożeń: – rozszczelnienie lub uszkodzenie opakowania materiałów niebezpiecznych w strefie operacyjnej lotniska, na pokładzie statku powietrznego – rozlewisko paliwa podczas tankowania statku powietrznego – pożar obiektu na terenie lotniska	×
i.	USZKODZENIE NAZIEMNE STATKU POWIETRZNEGO: uszkodzenie statku powietrznego spowodowane wykonywaniem przez statek powietrzny operacji naziemnych na jakimkolwiek obszarze naziemnym innym niż droga startowa lub wyznaczone pole wzlotów, a także uszkodzenie powstałe podczas obsługi technicznej; przykłady lotniskowych zagrożeń: – brak lub niesprawność pojedynczej lampy oznakowania nocnego wyłączzonego z użytkowania fragmentu PML – nieprawidłowe ustawienie statku powietrznego na stanowisku postojowym – brak naprowadzania operatora GSE przy statku powietrznym	×
j.	OBRAŻENIA LUB ŚMIERĆ OSÓB NA ZIEMI: obrażenia osób przebywających w polu ruchu naziemnego (pasażerów lub personelu lotniska). Przykłady lotniskowych zagrożeń: – uderzenie osoby podmuchem zasilnikowym lub strugami powietrza (jetblast, downwash) – wybuchowe otwarcie drzwi parkującego samolotu (Explosive Door Openings on Parked Aeroplanes) – niestosowanie obuwia ochronnego przez personel obsługi naziemnej	
k.	USZKODZENIE NAZIEMNE POJAZDU LUB GSE: uszkodzenie pojazdu lub GSE w polu ruchu naziemnego (poza drogą startową lub innym wyznaczonym polem wzlotów), bez uszkodzenia statku powietrznego oraz bez obrażeń osób. Przykłady lotniskowych zagrożeń: – ciało obce na drodze serwisowej – nieznajomość procedur poruszania się przez kierowcę – sprzeczne procedury agenta obsługi naziemnej względem procedur instrukcji operacyjnej lotniska	

L.p.	Kluczowy obszar ryzyka	KRA z ERCS
l.	KOLIZJA Z PRZESZKODĄ W TRAKCIE LOTU: kolizja statku powietrznego znajdującego się w powietrzu z przeszkodami wystającymi z powierzchni ziemi. Przeszkody te obejmują wysokie budynki, drzewa, kable elektryczne, kable telekomunikacyjne i anteny, a także obiekty na uwięzi; przykłady lotniskowych zagrożeń: – powierzchnia pozioma wewnętrzna jest wykreślona w odległości 4 000 m od progów dróg startowych, a nie od przecięć pasa dróg startowych z ich osiami (niespełnienie przepisu ADR-DSN.H.420) – nieskuteczny system monitorowania przeszkód w otoczeniu lotniska – brak zasilania rezerwowego opraw przeszkodowych masztów oświetlenia projektorowej płyty postojowej stanowiących przeszkodę lotniczą (niespełnienie przepisu ADR-DSN.S.880)	×
m.	KOLIZJA Z TERENEM: zdarzenie, w trakcie którego statek powietrzny znajdujący się w powietrzu zderza się z terenem, przy czym nic nie wskazuje na to, by załoga lotnicza utraciła kontrolę nad statkiem powietrznym. Obejmuje to przypadki, w których załoga lotnicza doznaje złudzeń wzrokowych lub działa w warunkach pogorszonej widoczności. przykłady lotniskowych zagrożeń: – emitowanie wiązki laserowej w otoczeniu lotniska – niebezpieczne, dezorientujące lub wprowadzające w błąd światła na terenie lotniska – wysoko odblaskowe powierzchnie w otoczeniu lotniska	×
n.	KOLIZJA Z PRZYRODĄ OŻYWIONĄ: kolizja statku powietrznego z przyrodą ożywioną (ptakiem lub innym zwierzęciem). przykłady lotniskowych zagrożeń: – gromadzenie się wody na terenie lotniska – miejsce żerowania ptaków w otoczeniu lotniska – zwiększona aktywność ptaków nad i w otoczeniu lotniska	
o.	INNE OBRAŻENIA: zdarzenie, w trakcie którego doszło do obrażeń śmiertelnych lub obrażeń innych niż śmiertelne i którego nie można przypisać do żadnego innego kluczowego obszaru ryzyka.	×
p.	OCHRONA: akt bezprawnej ingerencji w odniesieniu do lotnictwa cywilnego. Obejmuje to wszelkie incydenty i naruszenia związane z nadzorem i zabezpieczeniem, kontrolą dostępu, kontrolą bezpieczeństwa i wdrożeniem środków kontroli w zakresie ochrony, jak również wszelkie inne akty mające na celu spowodowanie dokonanego w złej wierze lub umyślnego zniszczenia statku powietrznego i mienia, które grożą lub skutkują bezprawną ingerencją w odniesieniu do lotnictwa cywilnego i jego obiektów. Obejmuje to zdarzenia związane zarówno z bezpieczeństwem fizycznym, jak i z cyberbezpieczeństwem. przykłady lotniskowych zagrożeń: – niewłaściwa cyberochrona łańcucha dostaw danych lotniczych – wtargnięcie osoby nieuprawnionej na drogę startową z użyciem niezabezpieczonego pojazdu lotniskowego – nieszczelne ogrodzenie lotniska	×

L.p.	Kluczowy obszar ryzyka	KRA z ERCS
q.	TRUDNOŚCI I OGRANICZENIA W REALIZACJI ZADAŃ I OBOWIĄZKÓW PERSONELU: zagrożenia związane z niezdolnością personelu do realizacji zadań oraz zagrożenia powiązane z systemem zarządzania mogące przerodzić się w różnorakie wypadki. przykłady lotniskowych zagrożeń: – przeniesienie części zadań pomiędzy poszczególnymi obszarami, a kwalifikujących się do obowiązków kluczowego dla bezpieczeństwa personelu – nagły wzrost liczby obowiązków Dyżurnego Portu – trudności użytkowników w korzystaniu z urządzeń systemu łączności lotniskowej – niedobory kierowców z prawem jazdy kategorii CE oraz D wśród personelu agentów obsługi naziemnej	

6.9 Ocena ryzyka

Kolejnym krokiem metody jest przeprowadzenie oceny ryzyka związanego ze zidentyfikowanymi zagrożeniami. W celu zachowania spójności danych SMS niniejsza metoda przyjmuje powszechnie używaną w branży (także na Lotnisku Chopina) skalę oceny prawdopodobieństwa i skutków materializacji zagrożeń opisaną w rozdziale 3.1.5. Powszechność stosowania tej metody jest potwierdzona wnioskami przeglądu literatury (rozdział 1.2.4) oraz badaniami przeprowadzonymi w organizacjach lotniczych (rozdział 4). Dla wybranych kategorii analiz proponuje się rozwiązania wspierające specjalistę w dokonaniu tej oceny (zgodnie z drzewem decyzyjnym określonym w rozdziale 6.3), aby poprawić obiektywność procesu oraz ograniczyć potencjalny negatywny wpływ czynnika ludzkiego. Wyjątkiem w stosowaniu matryc oceny ryzyka są oceny ryzyka powiązanego ze zdarzeniami, co opisano w rozdziale 6.3.

Według niniejszej metody ocenę ryzyka należy prowadzić szacując dotkliwość oraz prawdopodobieństwo materializacji poszczególnych zidentyfikowanych konsekwencji zagrożeń. Zgodnie z (ICAO, 2013b) ocenia się te konsekwencje, które są najbardziej wiarygodne („najbardziej prawdopodobne skutki”); w ramach niniejszej metody zaleca się rozważać jak największą liczbę potencjalnych konsekwencji.

Przykładowo, dla zagrożenia wynikającego z planowanej zmiany organizacji obsługi technicznej lotniskowego oświetlenia nawigacyjnego, określonego jako „niezidentyfikowane niesprawne światło”, należałoby ocenić ryzyko związane z konsekwencjami:

- niezapewnienie ciągłości prowadzenia statku powietrznego na drodze kołowania lub na drodze startowej podczas zawracania,

- wprowadzenie w błąd kierowcy pojazdu na drodze kołowania/ na płaszczyźnie do zawracania na drodze startowej,
- kolizja statku powietrznego z elementem infrastruktury lotniska,
- kolizja pojazdu z elementem infrastruktury lotniska,
- wypadnięcie pojazdu z drogi kołowania (taxiway excursion),
- wypadnięcie pojazdu z drogi startowej (runway excursion),
- wypadnięcie statku powietrznego z drogi kołowania (taxiway excursion),
- wypadnięcie statku powietrznego z drogi startowej (runway excursion).

Każde ocenione ryzyko należy zarejestrować nadając mu identyfikator. Identyfikatory mogą być wykorzystywane w pozostałej dokumentacji SMS, np. w mapach ryzyka opisanych w rozdziale 6.12.3.

6.10 Mitygacja ryzyka

Opcjonalnym krokiem proponowanej metody jest mitygacja ryzyka. Konieczność wdrożenia działań minimalizujących ryzyko może, ale nie musi, zostać zidentyfikowana w procesie oceny ryzyka. Aspekt wariantowości tego etapu zarządzania ryzykiem jest warty podkreślenia ze względu na wyniki prowadzonych badań (przedstawionych w rozdziale 4.6), które wskazały, że działania mitygujące bywają formułowane w sposób nadmiarowy, nawet gdy nie są konieczne. Analiza SMS Lotniska Chopina wskazała także na konieczność angażowania praktyków w procesy zarządzania ryzykiem, także w formułowanie działań mitygujących. Z kolei analizy metodą FRAM przedstawione w rozdziale 5 wskazują m. in. na możliwą negatywną zmienność ustalania działań mitygujących pod względem precyzji. Nieprecyzyjność ta może polegać na ustaleniu działań łagodzących ryzyko w sposób uniemożliwiający lub utrudniający ich realizację, np. poprzez niejednoznaczne lub niezrozumiałe opisanie ich, nieokreślenie wymaganego terminu ich realizacji czy niewyznaczenie odpowiedzialności za ich realizację. Mając na uwadze przytoczone wyniki badań zdecydowano o konieczności zapewnienia wsparcia oraz weryfikacji w procesie formułowania działań łagodzących ryzyko z uwzględnieniem wyżej przytoczonych wniosków.

Jak wskazano w rozdziale 1.1.2 działania mitygujące ryzyko mogą mieścić się w jednej lub kilku ze strategii:

- Unikanie: operacja lub działanie jest anulowane lub unikane, ponieważ ryzyko przekracza korzyści z kontynuowania działania, tym samym całkowicie eliminując ryzyko;

- Redukcja: częstotliwość operacji lub działania jest zmniejszana lub podejmowane są działania w celu zmniejszenia wielkości konsekwencji ryzyka;
- Segregacja: podejmowane są działania w celu odizolowania skutków ryzyka lub wbudowania redundancji w celu ochrony przed nimi.

Po zebraniu pomysłów na działania mogące mitygować dane ryzyko proponuje się zweryfikowanie poprawności ich sformułowania za pomocą listy kontrolnej „mitygacja” (Tabela 56). Lista pomaga w formułowaniu skutecznych działań ograniczających ryzyko poprzez określenie czy ograniczają one dotkliwość czy prawdopodobieństwo materializacji zagrożenia. Celem tej weryfikacji jest potwierdzenie, że planowane działania mają potencjał minimalizacji danego ryzyka. Wobec działań mitygujących proponuje się także stosowanie wybranych zasad S.M.A.R.T. stosowanych w naukach o zarządzaniu do definiowania celów (Doran, 1981), tj. określenia czy są one:

- mierzalne: określenie ilościowych celów ułatwia śledzenie postępów i potwierdzenia, że działanie zostało zrealizowane;
- przypisane do osoby: jednoznaczne wskazanie osoby odpowiedzialnej za realizację działania pozwoli uniknąć nieporozumień i opóźnień w realizacji działań;
- realistyczne: aby działanie zostało zrealizowane musimy mieć pewność, że organizacja dysponuje do tego odpowiednimi zasobami;
- określone w czasie: działanie, które zostanie wdrożone za wcześnie lub za późno może być bezcelowe.

Ponadto należy potwierdzić, że dane działanie zostało skonsultowane z osobami na co dzień uczestniczącymi w danym procesie. Rozważenie czynnika ludzkiego jest integralną częścią identyfikacji skutecznych działań mitygujących, ponieważ to ludzie będą zobowiązani do ich realizacji lub stosowania. Formułowanie działań w odizolowaniu od operacyjnej codzienności organizacji może skutkować niezamierzonymi konsekwencjami, łącznie z powstaniem nowych zagrożeń (ICAO, 2018).

Tabela 56 Lista kontrolna „mitygacja”; D – ogranicza dotkliwość; P – ogranicza prawdopodobieństwo (źródło: opracowanie własne)

Działanie	D	P	Mierzalne?	Przypisane do osoby?	Realistyczne?	Określone w czasie?	Skonsultowane z praktykami?
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

6.11 Ocena ryzyka rezydualnego

Kolejnym etapem metody jest dokonanie oceny ryzyka rezydualnego. Oznacza to określenie przez eksperta indeksu ryzyka po wprowadzeniu ustalonych działań mitygujących. Ważnym jest, że ocena uwzględnia działania mitygujące wprowadzone w sposób i w czasie określonym w poprzednim etapie. W przypadku jakichkolwiek zmian w treści lub terminie realizacji działań ocenę ryzyka rezydualnego należy przeprowadzić ponownie. Oceny dokonuje się w sposób analogiczny do tego opisanego w rozdziale 6.9.

6.12 Zakończenie procesu

6.12.1 Sformułowanie kryteriów monitorowania

Jak wynika z wywiadu przeprowadzonego z przedstawicielem PAŻP (Wywiad nr 3) elementem niewymaganim, ale przydatnym w zarządzaniu ryzykiem jest ustalanie kryteriów bezpieczeństwa, które pozwalają monitorować ryzyko po przeprowadzonej analizie. Działanie to ma za zadanie uchronić organizację przed „zapomnieniem” o ryzykach po przeprowadzeniu analizy. Z obserwacji autorki wynika, że ustalenie konkretnych działań mających na celu kontrolowanie zidentyfikowanych zagrożeń (lub konkretnego ryzyka) może skutecznie zapobiec niekontrolowanemu przekształceniu się sytuacji ocenionej jako bezpieczna w sytuację niebezpieczną (np. w skutek zmiany okoliczności). Kryterium może być:

- Zaplanowanie przeglądu danej analizy ryzyka,
- Ustanowienie dodatkowego wskaźnika bezpieczeństwa dedykowanemu danemu zagadnieniu,
- Zaplanowanie weryfikacji istnienia mechanizmów kontrolnych (barier bezpieczeństwa) uwzględnionych podczas analizy ryzyka.

6.12.2 Prezentacja wyników

W nawiązaniu do wyników analizy przeprowadzonej za pomocą FRAM (rozdział 5.1.4), aby podnieść jakość prowadzonych ocen ryzyka, po jej zakończeniu osoba, która ją przeprowadziła jest zobowiązana omówić jej wyniki w ramach regularnych spotkań kierownictwa lotniska. Rozwiązanie to zwiększy świadomość osoby przeprowadzającej ocenę ryzyka co do znaczenia jej decyzji dla procesów lotniskowych. Ma to na celu także usprawnianie komunikacji między osobami oceniającymi ryzyka (personel SMS) i akceptującymi je (kierownictwo organizacji).

Prezentacja pozwala także na podsumowanie przebiegu danego procesu zarządzania ryzykiem i sformułowanie zaleceń dotyczące doskonalenia systemu zarządzania bezpieczeństwem, które można wykorzystać podczas przeprowadzania kolejnych analiz

ryzyka. Wskazanie przestrzeni do przeprowadzenia takiej analizy odpowiada zidentyfikowaną w rozdziale 4.1.1 tendencję do pomijania okazji do doskonalenia SMS.

6.12.3 Mapa ryzyka

Aby zapewnić łatwy wgląd w ryzyka celem odpowiedniego przyznawania pierwszeństwa działaniom na rzecz bezpieczeństwa w ramach metody należy prowadzić graficzną mapę ryzyka. W polach matrycy oceny ryzyka należy wpisywać identyfikatory ryzyk mające poszczególne indeksy. Dla każdego kluczowego obszaru ryzyka (ich wykaz znajduje się w rozdziale 6.8.2) należy prowadzić oddzielną mapę ryzyka.

Tabela 57 stanowi przykład matrycy dla KRA „kolizja statku powietrznego na drodze startowej”. Wprowadzono na niej hipotetyczne ryzyka monitorowane w tym obszarze:

- R24 dotyczące potencjalnego zakłócenia działania poprzeczki zatrzymania na drodze kołowania krzyżującej się z drogą startową podczas prac eksploatacyjnych systemu zasilania energetycznego lotniska,
- R50 dotyczące potencjalnej utraty łączności radiowej osoby przebywającej w polu manewrowym związane ze zmianą systemu łączności,
- R32 dotyczące istnienia obiektów niespełniających wymagań specyfikacji certyfikacyjnych (posiadających pod nawierzchnią trawiastą płaszczyzny pionowe) w części utwardzonej pasa RWY (75 m od osi RWY).

Tabela 57 Przykład mapy ryzyka (Źródło: opracowanie własne).

Mapa ryzyka dla KRA: KOLIZJA STATKU POWIETRZNEGO NA DRODZE STARTOWEJ				
5A ekstremalne	5B ekstremalne	5C wysokie	5D umiarkowane	5E umiarkowane
4A ekstremalne	4B wysokie	4C umiarkowane	4D umiarkowane	4E niskie
3A wysokie	3B umiarkowane	3C umiarkowane	3D niskie R24	3E niskie
2A umiarkowane	2B umiarkowane R50	2C niskie	2D niskie	2E nieistotne
1A umiarkowane	1B niskie R32	1C nieistotne	1D nieistotne	1E nieistotne

Mapa ryzyka pozwala:

- szybko zobaczyć, które ryzyka są najbardziej krytyczne,
- kierownictwu ocenić, gdzie należy inwestować w zabezpieczenia lub zmiany,
- usprawnić komunikację dot. zarządzania ryzykiem,
- łatwo prezentować stan bezpieczeństwa w danym kluczowym obszarze,
- monitorować zmiany ryzyka.

6.13 Zestaw wskaźników bezpieczeństwa dla Lotniska Chopina

Jak wskazano w rozdziale 6.1 uzupełnieniem opracowanej metody jest zestaw wskaźników poziomu bezpieczeństwa dla Lotniska Chopina. Pomimo zidentyfikowania licznych ograniczeń tych wskaźników (rozdział 4.1.2.1 i 4.6), ze względu na korzyści wynikające z ich stosowania (rozdział 4.6), zdecydowano o utrzymaniu stosowania wskaźników poziomu bezpieczeństwa, jednak w roli narzędzia wspierającego. Nie rekomenduje się opierania strategicznych decyzji związanych z bezpieczeństwem wyłącznie na wynikach poszczególnych wskaźników.

Rozdział 4.6 wskazuje, że zmiany wskaźników bezpieczeństwa są niekorzystne pod względem budowania zbiorów ich historycznych wartości. Należy jednak zwrócić uwagę, że pomimo braku zmian ich opisu, gromadzone dane mogą być niewiarygodne, np. ze względu na różnice w zrozumieniu ich definicji wśród osób odpowiadających za ich monitorowanie. W celu poprawy wiarygodności istniejących wskaźników, dla każdego, którego wartość jest już monitorowana na Lotnisku Chopina, proponuje się doprecyzowanie jego definicji, w taki sposób, aby zminimalizować rozbieżności w ich stosowaniu przez osoby odpowiedzialne za monitorowanie SPI. W opisie poszczególnych wskaźników zaproponowano wskazanie przykładów zdarzeń, które zostałyby zaliczone do wskaźnika oraz takich, które nie byłyby do niego zaliczone. Ponadto każdy wskaźnik, względem którego zidentyfikowano wątpliwości w zakresie jego definicji, należy zamknąć i rozpocząć monitorowanie jego wartości jak dla nowego, po doprecyzowaniu definicji. Zabieg ten ma służyć oddzieleniu danych, które były mierzone inną metodą i nie powinny być ze sobą porównywane (jak wskazano w rozdziale 4.6 należy monitorować odchylenia wartości wskaźników bezpieczeństwa wynikające z niedoskonałości ich konstrukcji oraz z wpływu czynnika ludzkiego). Dotyczy to także wskaźników, których monitorowanie jest wymagane przez Urząd Lotnictwa Cywilnego (w tym przypadku proponuje się powiadomić ULC o przyjęciu doprecyzowania definicji, w celu zachowania przejrzystości i jednoznaczności gromadzonych danych). Ponadto zaproponowano odstąpienie od stosowania poziomów alarmowych wskazywanych w Krajowym Planie

Bezpieczeństwa jako poziomów alarmowych dla organizacji na rzecz weryfikowania trendów poszczególnych wskaźników. Ze względu na objętość pracy zaprezentowano przedmiotowe doprecyzowanie dla jednego wskaźnika. Wybrano wskaźnik dotyczący zdarzeń związanych z rozlaniem paliwa, który na podstawie obserwacji autorki zidentyfikowano jako najbardziej rozbieżnie interpretowany (Tabela 58).

Tabela 58 Doprecyzowanie wskaźnika dot. rozlewisk paliwa (źródło: opracowanie własne).

Opis wskaźnika (istniejący)	Powiązane definicje (istniejące)	Proponowane uzupełnienie definicji	Przykład zdarzenia zaliczanego do wskaźnika	Przykład zdarzenia niezaliczanego do wskaźnika	Częstotliwość wyliczenia	Cel poziomu bezpieczeństwa
Liczba zdarzeń związanych z rozlaniem paliwa / 10 000 operacji	Za operację (w zakresie liczonych 10 000) uznaje się start lub lądowanie (kontakt fizyczny statku powietrznego z ziemią) – a więc także „touch and go” (w takim wypadku liczone jako dwie operacje). Za operację nie uznaje się „go-around” ani „low pass”.	Za zdarzenie związane z rozlaniem paliwa uznaje się powstanie rozlewiska palnego paliwa lotniczego lub samochodowego na płycie postojowej, na której w momencie zdarzenia znajdował się co najmniej 1 statek powietrzny. Rozlewisko paliwa ma powierzchnię min. 2 m ² .	Podczas tankowania statku powietrznego doszło do przelania zbiorników, w skutek czego powstało rozlewisko jet a1 o powierzchni 10 m ² .	Podczas odpinania węża paliwowego po zakończeniu tankowania statku powietrznego doszło do drobnego zanieczyszczenia nawierzchni płyty postojowej paliwem.	1 raz na kwartał (gromadzenie danych w podziale na miesiące)	Utrzymanie spadkowego lub bocznego (horyzontalnego) trendu

Zgodnie z wnioskami z przeglądu literatury (rozdział 1.2.4) należy tworzyć wskaźniki trzech rodzajów: reaktywne (mierzące zdarzenia, które już miały miejsce), proaktywne (mierzące działania zapobiegawcze), predykcyjne (mierzące sytuacje niebezpieczne, które w połączeniu z innymi okolicznościami mogą prowadzić do zdarzeń). Zważając na fakt, że wskaźniki proponowane przez ULC mają charakter reaktywny (skupiony na skutku), zalecane jest uzupełnienie ich wskaźnikami predykcyjnymi oraz proaktywnymi, ustanawianymi wewnątrz organizacji. Przykład takich wskaźników zawiera Tabela 59.

Tabela 59 Przykładowe nowe wskaźniki bezpieczeństwa dla Lotniska Chopina w Warszawie (źródło: opracowanie własne).

Cel bezpieczeństwa	Opis wskaźnika	Typ wskaźnika	Częstotliwość wyliczenia	Cel poziomu bezpieczeństwa
Ograniczanie zdarzeń z KRA „uszkodzenie naziemne statku powietrznego”	Liczba przypadków awaryjnego zatrzymania statku powietrznego podczas dokowania na stanowisko postojowe / 10 000 operacji	Predykcyjny (pomagający przewidywać)	1 raz na kwartał (gromadzenie danych w podziale na miesiące)	Utrzymanie spadkowego lub bocznego (horyzontalnego) trendu
Zwiększyć poziom zgłaszania spraw związanych z bezpieczeństwem Zwiększyć stopień zaangażowania personelu w sprawy bezpieczeństwa	Liczba zgłoszeń dobrowolnego systemu zgłaszania spraw związanych z bezpieczeństwem	Proaktywny (dot. działań zapobiegawczych)	1 raz na rok (gromadzenie danych w podziale na miesiące)	Utrzymanie wzrostowego lub bocznego (horyzontalnego) trendu
Zapewnić efektywny system zarządzania bezpieczeństwem	Liczba działań mitygujących sformułowanych w danym roku od realizacji których odstąpiono / liczba wszystkich sformułowanych działań mitygujących na dany rok * 100%	Proaktywny (dot. działań zapobiegawczych)	1 raz na rok	≤ 20%

Opisane zmiany w sposobie stosowania wskaźników poziomu bezpieczeństwa odpowiadają na zidentyfikowane w tym zakresie potrzeby i możliwości (rozdział 1.2 oraz 4). Ze względu na złożoność zagadnienia identyfikuje się możliwość prowadzenia dalszych badań w tym zakresie.

7 Weryfikacja metody

7.1 Weryfikacja za pomocą FRAM

W celu weryfikacji poprawności i przydatności opracowanej metody przeprowadzono ponowną analizę procesu zarządzania ryzykiem metodą FRAM. Przeprowadzono symulację funkcjonowania tego procesu z uwzględnieniem istnienia opracowanej metody, tj. uzupełniono model zaprezentowany w rozdziale 5 o metodę opisaną w rozdziale 6. Metoda stanowi w procesie organizacyjną funkcję F16. Rysunek 54 przedstawia model FRAM procesu zarządzania ryzykiem z uwzględnieniem istnienia opracowanej metody.

Opis kluczowych funkcji procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina w Warszawie z uwzględnieniem opracowanej metody przedstawiono w Tabeli 60 (elementy metody oznaczono pogrubioną czcionką).

Tabela 60 Opis kluczowych funkcji procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina w Warszawie z uwzględnieniem opracowanej metody (źródło: opracowanie własne).

Funkcja (F)	Input (I)	Output (O)	Preconditions (P)	Resources (R)	Time (T)	Control (C)
Zapewnić metodę zarządzania ryzykiem (F16) <i>funkcja organizacyjna, funkcja tła</i>		Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19) Drzewo decyzyjne wyboru narzędzi analizy ryzyka (O20) Wskazanie narzędzi do danej analizy (O21) Lista kontrolna „zagrożenie” (O22) Lista kontrolna „mitygacja” (O23)				
Opisać i przeanalizować dane zagadnienie (F1) <i>funkcja ludzka</i>		CONOPS (O1)	Procedury lotniska (O4) Opinia ekspertów wewnętrznych (O7) Oprogramowanie SMS (O9) Metoda zarządzania ryzykiem (O10)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5)		Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19)

Funkcja (F)	Input (I)	Output (O)	Preconditions (P)	Resources (R)	Time (T)	Control (C)
Zapewnić procedury i wytyczne dla SMS (F2) <i>funkcja organizacyjna</i>		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2) Metoda konsultacji (O3)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Kierownictwo (O6) Wnioski dot. jakości przebiegu procesu zarządzania ryzykiem (O18) Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19) Drzewo decyzyjne wyboru narzędzi analizy ryzyka (O20) Wskazanie narzędzi do danej analizy (O21) Lista kontrolna „zagrożenie” (O22) Lista kontrolna „mitygacja” (O23)	Dane rejestru ryzyka (O16)		
Zapewnić procedury i wytyczne dotyczące lotniska (F3) <i>funkcja organizacyjna, funkcja tła</i>		Procedury lotniska (O4)				
Zapewnić rekrutację i szkolenia (F4) <i>funkcja organizacyjna</i>		Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Kierownictwo (O6)	Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2) Metoda konsultacji (O3) Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19) Drzewo decyzyjne wyboru narzędzi analizy ryzyka (O20)			

Funkcja (F)	Input (I)	Output (O)	Preconditions (P)	Resources (R)	Time (T)	Control (C)
Wewnętrzne konsultacje (F5) <i>funkcja ludzka</i>		Opinia ekspertów wewnętrznych (O7)	Metoda konsultacji (O3)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5)		
Zewnętrzne konsultacje (F6) <i>funkcja ludzka</i>		Opinia ekspertów zewnętrznych (O8)	Metoda konsultacji (O3)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5)		
Zapewnić oprogramowanie (F7) <i>funkcja technologiczna, funkcja tła</i>		Oprogramowanie SMS (O9)				
Wybrać metodę (F8) <i>funkcja ludzka</i>	Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2)	Metoda zarządzania ryzykiem (O10)	Drzewo decyzyjne wyboru narzędzi analizy ryzyka (O20)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5)		Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19)
Zidentyfikować zagrożenia (F9) <i>funkcja ludzka</i>	CONOPS (O1)	Wykaz zagrożeń dla danego zagadnienia (O11)	Metoda zarządzania ryzykiem (O10) Opinia ekspertów wewnętrznych (O7) Opinia ekspertów zewnętrznych (O8) Wskazanie narzędzi do danej analizy (O21)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Oprogramowanie SMS (O9)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2) Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19) Lista kontrolna „zagrożenie” (O22)
Ocena ryzyka przed mitygacją (F10) <i>funkcja ludzka</i>	Wykaz zagrożeń dla danego zagadnienia (O11)	Indeks ryzyka przed mitygacją (O12) Potrzeba mitygacji (O13)	Metoda zarządzania ryzykiem (O10) Opinia ekspertów wewnętrznych (O7) Opinia ekspertów zewnętrznych (O8) Wskazanie narzędzi do danej analizy (O21)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Oprogramowanie SMS (O9)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2) Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19)

Funkcja (F)	Input (I)	Output (O)	Preconditions (P)	Resources (R)	Time (T)	Control (C)
Akceptacja ryzyka przed mitygacją (F11) <i>funkcja ludzka</i>	Indeks ryzyka przed mitygacją (O12)	Potrzeba mitygacji (O13)		Kierownictwo (O6)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2) Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19)
Ustalenie mitygacji (F12) <i>funkcja ludzka</i>	Potrzeba mitygacji (O13)	Wykaz działań mitygujących (O14)	Opinia ekspertów wewnętrznych (O7) Opinia ekspertów zewnętrznych (O8) Procedury lotniska (O4)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Oprogramowanie SMS (O9)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2) Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19) Lista kontrolna „mitygacja” (O23)
Ocena ryzyka rezydualnego (F13) <i>funkcja ludzka</i>	Wykaz działań mitygujących (O14) Indeks ryzyka przed mitygacją (O12)	Indeks rezydualnego ryzyka i wnioski (O15) Dane rejestru ryzyka (O16)	Opinia ekspertów wewnętrznych (O7) Opinia ekspertów zewnętrznych (O8) Metoda zarządzania ryzykiem (O10) Wskazanie narzędzi do danej analizy (O21)	Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Oprogramowanie SMS (O9)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2) Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19)

Funkcja (F)	Input (I)	Output (O)	Preconditions (P)	Resources (R)	Time (T)	Control (C)
Akceptacja ryzyka rezydualnego (F14) <i>funkcja ludzka</i>	Indeks rezydualnego ryzyka i wnioski (O15)	Pozytywna lub negatywna decyzja dot. akceptacji ryzyka rezydualnego (O17) Wnioski dot. jakości przebiegu procesu zarządzania ryzykiem (O18)		Kierownictwo (O6)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2) Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19)
Udokumentować ocenę ryzyka (F15) <i>funkcja ludzka</i>	Indeks rezydualnego ryzyka i wnioski (O15) Pozytywna lub negatywna decyzja dot. akceptacji ryzyka rezydualnego (O17)			Personel zarządzający bezpieczeństwem (O5) Oprogramowanie SMS (O9)		Procedura zarządzania ryzykiem i rejestr ryzyka (O2) Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19)

Wprowadzenie do procesu funkcji <F16 Zapewnić metodę zarządzania ryzykiem> zapewniło mechanizm kontroli wielu pozostałych funkcji, co jest zgodne ze zidentyfikowanymi potrzebami (rozdział 5.2). Zapewnienie kontroli funkcji procesu zarządzania ryzykiem ma na celu ograniczanie jego zmienności.

W celu porównania funkcjonowania procesu przed wdrożeniem metody oraz po jej wdrożeniu powrócono do przykładu zmienności przebiegu tego procesu opisanego w rozdziale 5.1.3. Poniżej zaprezentowano analizę rezonansu funkcjonalnego zmienności (precyzji) zapewniania procedur i wytycznych dla SMS uwzględniającą wdrożenie opracowanej metody do procesu zarządzania ryzykiem.

Ponownie analizowano możliwość zmienności funkcji <F2 Zapewnić procedury i wytyczne dla SMS>. W zmodyfikowanym procesie zarządzania ryzykiem w celu realizacji tej funkcji konieczne jest spełnienie dodatkowych warunków wstępnych, tj. zapewnienie:

- Algorytmu postępowania podczas zarządzania ryzykiem (O19)
- Drzewa decyzyjnego wyboru narzędzi analizy ryzyka (O20)
- Wskazania narzędzi do danej analizy (O21)
- Listy kontrolnej „zagrożenie” (O22)
- Listy kontrolnej „mitygacja” (O23)

Zapewnienie tych elementów do wykorzystania podczas opracowania procedur i wytycznych dla SMS zapewnia, że procedury te są precyzyjne i dostosowane do potrzeb organizacji (funkcja F2 jest realizowana w sposób precyzyjny). Wyniki analizy wpływu F2 na <F8 Wybrać metodę> przedstawiono w Tabeli 61.

Tabela 61 Możliwy wpływ na <F8 Wybrać metodę> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Input	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędną
F2 Zapewnić procedury i wytyczne dla SMS	Procedury SMS zapewniają wytyczne w zakresie wyboru metody zarządzania ryzykiem	F8 Wybrać metodę	Terminowość i precyzja funkcji mają potencjalny wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Na czas	Precyzyjnie	Brak zmienności

Zmienność funkcji nadrzędnej F8 może wpływać zarówno na czas, jak i precyzję realizacji F9: niewłaściwie dobrana metoda prowadzi do niekompletnej i nieprawidłowej listy zagrożeń oraz straty czasu. Funkcja <F8 wybrać metodę> poprzez zapewnienie jej mechanizmu kontroli w postaci <O19 Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem> oraz warunku wstępnego w postaci <O20 Drzewo decyzyjne wyboru narzędzi analizy ryzyka> stała się dużo

mniej zmienna zarówno pod względem precyzji jak i terminowości wykonania. Rozważono możliwą zmienność funkcji niższego rzędu F9 (Tabela 62).

Tabela 62 Możliwy wpływ na <F9 Zidentyfikować zagrożenia> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Precondition	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędną
Wybrać metodę (F8)	Identyfikacja zagrożeń jest prowadzona z wykorzystaniem metody dobranej do analizowanego zagadnienia	Zidentyfikować zagrożenia (F9)	Terminowość i precyzja funkcji mają znaczący wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Za późno	Precyzyjnie	Stracono czas podczas identyfikacji zagrożeń. (wzrost zmienności)
				Na czas	Precyzyjnie	Brak zmienności

<F9 Zidentyfikować zagrożenia> jest funkcją nadrzędną dla <F10 Ocena ryzyka przed mitygacją>, ponieważ jej wyjście (output) jest wejściem (input) F10. <O11 Wykaz zagrożeń dla danego zagadnienia> jest niezbędna do przeprowadzenia <F10 Ocena ryzyka przed mitygacją>. Dla funkcji F9 zapewnia się wskazanie narzędzi do danej analizy oraz mechanizmy kontrolne w postaci algorytmu postępowania podczas zarządzania ryzykiem oraz listy kontrolnej „zagrożenie”. Silnie ograniczono ryzyko wyboru i zastosowania w kolejnych etapach procesu niewłaściwej metody zarządzania ryzykiem.

Analizę wpływu zmienności funkcji F9 na <F10 Ocena ryzyka przed mitygacją> przedstawiono w poniższej tabeli (Tabela 63).

Tabela 63 Możliwy wpływ na <F10 Ocena ryzyka przed mitygacją> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Input	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędną
F9 Zidentyfikować zagrożenia	Dostarczono kompletny oraz zweryfikowany wykaz zagrożeń.	F10 Ocena ryzyka przed mitygacją	Precyzja funkcji ma znaczący wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Nieistotna	Precyzyjnie	Brak zmienności

Możliwa samoistna zmienność F10 jest kontrolowana przez <O19 Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem> oraz ograniczona poprzez wskazanie ekspertowi narzędzia do wykorzystania podczas danej analizy <O21>.

Kolejną funkcją procesu jest <F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją>. Ma ona miejsce, gdy menedżerowie (ds. bezpieczeństwa, operacyjnych, technicznych i kierownik odpowiedzialny) zapoznają się z wynikami oceny ryzyka i proszeni są o podjęcie decyzji o ew. wprowadzeniu środków łagodzących (mitygacji ryzyka). Do wykonania tej funkcji niezbędne jest wygenerowanie efektu (output) funkcji <F10 Ocena ryzyka przed mitygacją>.

Jest nim <O12 Indeks ryzyka przed mitygacją>. Wyniki analizy wpływu F10 na <F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją> przedstawiono w kolejnej tabeli (Tabela 64).

Tabela 64 Możliwy wpływ na <F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Input	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędną
F10 Ocena ryzyka przed mitygacją	Indeks ryzyka przed mitygacją jest podstawą dla podjęcia decyzji dot. akceptacji ryzyka.	F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją	Czasowość i precyzja funkcji mają znaczący wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Nieistotna	Precyzyjnie	Brak zmienności

Dzięki kontroli algorytmu przebiegu procesu zarządzania ryzykiem zrealizowano kolejne działanie tj. pozyskano decyzję dot. akceptacji ryzyka od kierownictwa. W odpowiedzi na wskazane podczas realizacji <F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją> ryzyka wymagające mitygacji możliwe było ustalenie działań mitygujących <F12 Ustalenie mitygacji>. Wyniki tej analizy przedstawiono w Tabeli 65.

Tabela 65 Możliwy wpływ na <F12 Ustalenie mitygacji> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Input	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędną
F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją	Potrzeba ustalenia mitygacji ryzyka wywołuje funkcję zaplanowania działań mitygujących.	F12 Ustalenie mitygacji	Czasowość i precyzja funkcji mają znaczący wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Na czas	Nieistotna	Brak zmienności

Dzięki precyzyjnemu przekazaniu informacji o konieczności mitygacji ryzyka (<O13 Potrzeba mitygacji>) z funkcji F11 oraz zastosowaniu dodatkowych mechanizmów kontrolnych w postaci <O19 Algorytm postępowania podczas zarządzania ryzykiem> oraz <O23 Lista kontrolna „mitygacja”> podczas ustalania mitygacji (F12) możliwym było zrealizowanie tej funkcji w sposób precyzyjny. Precyzyjne ustalenie mitygacji oraz wsparcie funkcji <F13 ocena ryzyka rezydualnego> elementami opracowanej metody ograniczyły potencjalną zmienność tej funkcji. Wynik <O15 Indeks rezydualnego ryzyka i wnioski> nie jest obciążony negatywną zmiennością.

Również drugi wynik <F13 Ocena ryzyka rezydualnego>, czyli <O16 Dane rejestru ryzyka> ma charakter precyzyjny. Warto zauważyć, że ten wynik stanowi zasób <F2 Zapewnić

procedury i wytyczne dla SMS>. Funkcje omawianego procesu są zatem ze sobą powiązane. Wyniki tej analizy przedstawiono poniżej (Tabela 66).

Tabela 66 Możliwy wpływ na <F13 Ocena ryzyka rezydualnego> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Input	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędną
F12 Ustalenie mitygacji	Wykaz działań mitygujących oraz dotychczasowe dane są wykorzystywane do oceny ryzyka.	F13 Ocena ryzyka rezydualnego	Czasowość i precyzja funkcji mają znaczący wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Nieistotna	Precyzyjnie	Brak zmienności

W ostatnim kroku potwierdzono, że również <F14 akceptacja ryzyka rezydualnego> nie jest narażona na zmienność (Tabela 67).

Tabela 67 Możliwy wpływ na <F14 Akceptacja ryzyka rezydualnego> (źródło: opracowanie własne).

Funkcja nadrzędna	Output → Input	Funkcja podrzędna	Krytyczność funkcji podrzędnej	Terminowość	Precyzja	Wpływ na funkcję podrzędną
F13 Ocena ryzyka rezydualnego	Ostateczny indeks ryzyka oraz wnioski są podstawą ostatecznej decyzji dot. akceptacji ryzyka.	F14 Akceptacja ryzyka rezydualnego	Czasowość i precyzja funkcji mają znaczący wpływ na realizację funkcji podrzędnych	Nieistotna	Precyzyjnie	Brak zmienności

Za pomocą FRAM udowodniono, że opracowana metoda spełnia swoje zadanie związane z minimalizowaniem zmienności przebiegu procesu zarządzania ryzykiem. Porównanie analizy modelu procesu przed wdrożeniem metody (rozdział 5.2) z modelem po jej wdrożeniu (rozdział 7.1) wskazuje, że metoda zwiększa stabilność przebiegu procesu zarządzania ryzykiem.

7.2 Ocena ekspercka

Przeprowadzono także weryfikację opracowanej metody pozyskując jej ocenę od dwóch ekspertów zajmujących się zarządzaniem ryzykiem na Lotnisku Chopina w Warszawie. Zadano 6 zamkniętych pytań oraz 2 otwarte. W Tabeli 68 zestawiono pozyskane odpowiedzi.

Tabela 68 Ocena ekspercka opracowanej metody (źródło: opracowanie własne).

Treść pytania	Odpowiedź eksperta nr 1	Odpowiedź eksperta nr 2
Stosowanie metody może zapewnić możliwość poprawy efektywności zarządzania ryzykiem	Zgadzam się	Zgadzam się
Metoda jest dopasowana do uwarunkowań organizacyjnych i operacyjnych Lotniska Chopina	Zgadzam się	Raczej się zgadzam
Opracowana metoda dobrze integruje się z obowiązującymi rozwiązaniami, pełniąc rolę narzędzia wspierającego i uzupełniającego, a nie konkurencyjnego	Zgadzam się	Zgadzam się
Opracowana metoda pozwala na zmniejszenie negatywnego wpływu czynnika ludzkiego na jakość wyników SMS	Zgadzam się	Zgadzam się
Opracowana metoda ma praktyczny charakter, jest możliwa do wdrożenia w praktyce i może stanowić realne wsparcie w realizacji procesów zarządzania ryzykiem	Zgadzam się	Zgadzam się
Zastosowanie metody przyczynia się do ustrukturyzowania procesu zarządzania ryzykiem oraz zwiększenia jego przejrzystości	Zgadzam się	Zgadzam się
Metodę należy rozwijać w zakresie	Budowania świadomości personelu w zakresie realnych korzyści po wdrożeniu metody. Rozwijaniu (stworzeniu) narzędzi informatycznych, które pomogłyby w implementacji zaproponowanej metody.	Zintegrowania z procesem zarządzania zmianą.

Treść pytania	Odpowiedź eksperta nr 1	Odpowiedź eksperta nr 2
Uwagi, dodatkowe komentarze	Opracowana metoda może pozytywnie wpłynąć na poprawę efektywności zarządzania ryzykiem na lotnisku Chopina. Jasne i sprecyzowane kryteria mogą wspomóc zrozumienie całego procesu zarządzania ryzykiem przez osoby zaangażowane. Zaproponowany sposób identyfikacji zagrożeń, który ma odbywać się w szerszym gronie np. z wykorzystaniem burzy mózgów wydaje się dużym krokiem ku budowaniu świadomości pracowników lotniska.	Warto rozważyć stworzenie materiałów szkoleniowych dla zarządzających lotniskami. Stworzenie skrótu / materiału dydaktycznego ułatwiającego wdrożenie na lotnisku.

Zebrane odpowiedzi wskazują na pozytywną opinię ekspertów. Nakreślone przez nich kierunki rozwoju oraz uwagi dotyczą przede wszystkim procesu wdrażania metody do stosowania. Eksperti w rozmowie uznali za bardzo istotne, że metoda jest opracowana w sposób umożliwiający jej częściowe lub podzielone na etapy wprowadzanie do stosowania, co ułatwia jej wdrożenie.

7.3 Wnioski z przeprowadzonej weryfikacji

- Skuteczność proponowanego podejścia – analiza uzupełnionego o stworzoną metodę modelu FRAM wykazała, że opracowana metoda zarządzania ryzykiem skutecznie wspiera precyzję realizacji kolejnych funkcji procesu, dzięki czemu można uniknąć ich zmienności, a tym samym wytwarzania się rezonansu funkcjonalnego.
- Dostosowanie do specyfiki lotniska – metoda została pozytywnie oceniona pod względem jej dopasowania do uwarunkowań organizacyjnych i operacyjnych Lotniska Chopina.
- Komplementarność względem istniejących narzędzi – opracowana metoda dobrze integruje się z obowiązującymi rozwiązaniami, pełniąc rolę narzędzia wspierającego i uzupełniającego, a nie konkurencyjnego.
- Możliwość zastosowania praktycznego – przeprowadzone testy i analiza wykazały, że metoda jest możliwa do wdrożenia w praktyce i może stanowić realne wsparcie w realizacji procesów zarządzania ryzykiem. Metoda jest opracowana w sposób umożliwiający jej częściowe lub podzielone na etapy wprowadzanie do stosowania, co ułatwia jej wdrożenie.

- Zwiększenie transparentności procesu oceny ryzyka – zastosowanie metody przyczynia się do ustrukturyzowania procesu zarządzania ryzykiem oraz zwiększenia jego przejrzystości, co jest istotne z perspektywy audytów oraz zgodności z przepisami krajowymi i międzynarodowymi.

Wyniki weryfikacji potwierdzają możliwość poprawy efektywności zarządzania ryzykiem dzięki wdrożeniu opracowanej metody, co stanowi realizację jednego z celów badań.

8 Wnioski

8.1 Ocena rozwiązania problemu badawczego

Przeprowadzone badania pozwoliły zweryfikować postawione szczegółowe hipotezy badawcze:

1. Wyniki przeglądu literatury (rozdział 1.2.4) oraz analiz zaprezentowanych w rozdziale 3 potwierdzają, że istnieje wiele metod i narzędzi zarządzania ryzykiem, jednak brak jest metody dedykowanej do zarządzania ryzykiem na lotniskach, w szczególności na Lotnisku Chopina w Warszawie. Przeprowadzono szczegółową analizę porównawczą cech istniejących metod względem potrzeb zarządzającego lotniskiem aby w dalszej części pracy dostosować ich wykorzystanie do potrzeb oraz okoliczności zarządzania ryzykiem na lotnisku.
2. Przeprowadzone obserwacje, wywiady, badania ankietowe oraz analizy dotyczące procesu zarządzania ryzykiem w wybranych organizacjach lotniczych (rozdział 4) potwierdziły, że zarządzający lotniskami potrzebują zwiększenia wydajności systemu zarządzania bezpieczeństwem, ograniczenia liczby powtarzalnych, dających się zmechanizować zadań dla personelu oraz sposobu na uniknięcie większości pomyłek i przeoczeń człowieka z zachowaniem obecnego osobowego charakteru zarządzania ryzykiem.
3. Analiza z wykorzystaniem modelu FRAM (rozdział 5) wykazała, że zarządzanie ryzykiem na Lotnisku Chopina można udoskonalić. Analiza potwierdziła, że przyczyny zmienności różnych funkcji procesu zarządzania ryzykiem na Lotnisku Chopina związane są głównie z czynnikiem ludzkim. Zidentyfikowano możliwości wprowadzenia mechanizmów kontroli, mogących zapewnić bardziej stabilny przebieg procesu i poprawić jego efektywność. Znajduje to odzwierciedlenie także w wynikach badań przedstawionych w rozdziale 4. Przeprowadzenie oceny przebiegu procesu zarządzania ryzykiem uzupełnia zidentyfikowaną w przeglądzie

literatury (rozdział 1.2) lukę badawczą i stanowi podstawę proaktywnego wdrażania zmian w lotniskowym systemie zarządzania bezpieczeństwem.

Opracowano metodę zarządzania ryzykiem (rozdział 6), stanowiącą element systemu zarządzania bezpieczeństwem Lotniska Chopina w Warszawie. Metoda została oparta o wyniki przeprowadzonych analiz, w szczególności badań modelowych (rozdział 5). Istotnym atutem metody jest to, że opiera się na rzeczywistych danych dotyczących systemów zarządzania bezpieczeństwem w organizacjach lotniczych. W szczególności metoda ta:

- Jest innowacyjna,
- Obejmuje cały proces zarządzania ryzykiem,
- Stanowi instrukcję realizacji procesu zarządzania ryzykiem dla eksperta, a tym samym zapewnia kontrolę przebiegu tego procesu pozwalającą na minimalizację jego negatywnej zmienności,
- Zawiera w sobie mechanizm doboru odpowiedniej techniki zarządzania ryzykiem w odniesieniu do analizowanego zagadnienia,
- Wprowadza nowe, ilościowe metody zarządzania ryzykiem,
- Utrzymuje stosowanie obecnych rozwiązań, które są skuteczne,
- Wykorzystuje istniejące rozwiązania w inny niż dotychczas sposób,
- Ma charakter uniwersalny, dzięki czemu można ją wykorzystywać także w innych organizacjach lotniczych, w szczególności na innych lotniskach,
- Została opracowana w sposób umożliwiający jej wdrożenie na Lotnisku Chopina w Warszawie, jest dostosowana do jego potrzeb i specyfiki działalności.

Opracowana metoda składa się m. in. z nowatorskiej automatycznej metody klasyfikacji zdarzeń pod względem indeksu ryzyka opartej na naiwnym klasyfikatorze bayesowskim. Narzędzie to znacząco przyspiesza pracę lotniskowych ekspertów zajmujących się zarządzaniem bezpieczeństwem. Ponadto częścią metody jest drzewo decyzyjne pomagające w doborze odpowiednich narzędzi do realizacji procesu, zestaw list kontrolnych wspierających poprawny przebieg procesu oraz opis postępowania na każdym etapie realizacji procesu. Jako element uzupełniający opracowano zestaw wskaźników poziomu bezpieczeństwa. Metoda uwzględnia aspekty praktyczne, techniczne i organizacyjne, co umożliwia wdrożenie opracowanego rozwiązania w środowisku operacyjnym Lotniska Chopina. Metoda została zweryfikowana poprzez porównawczą analizę procesu zarządzania ryzykiem za pomocą FRAM (porównano dotychczasowe funkcjonowanie procesu z jego funkcjonowaniem z użyciem opracowanej metody) oraz poprzez pozyskanie oceny eksperckiej. Wyniki

weryfikacji potwierdzają możliwość poprawy efektywności zarządzania ryzykiem dzięki wdrożeniu tej metody. Metoda została opracowana tak, aby możliwe było jej częściowe lub etapowe wdrażanie, co znacząco zwiększa elastyczność procesu jej wprowadzania.

Stwierdza się, że ogólna hipoteza badawcza została udowodniona: przeprowadzone badania potwierdziły, że istnieje metoda zarządzania ryzykiem systematyzująca i standaryzująca ten proces na lotniskach, zmniejszająca negatywny wpływ czynnika ludzkiego na jakość wyników SMS oraz w większym stopniu wykorzystująca doświadczenie organizacji. Praca zasilona danymi wejściowymi pochodzącymi od lidera polskiej branży lotniczej oraz realizowana w jego środowisku zyskała praktyczny charakter.

8.2 Kierunki dalszych badań

Opracowana w ramach badań przedstawionych w niniejszej dysertacji metoda zarządzania ryzykiem została doprowadzona do postaci zalgorytmizowanej, co umożliwia wykorzystanie jej jako podstawy do stworzenia dedykowanego narzędzia informatycznego. Realizacja takiego narzędzia nie została jednak uznana za celową w trakcie prac nad doktoratem, ponieważ zaproponowana metoda stanowi strukturę nadrzędną, złożoną z wielu metod elementarnych, które są samodzielnymi procedurami decyzyjnymi lub analitycznymi. Z tego względu stworzenie kompletnego narzędzia wymagałoby osobnego, rozbudowanego projektu informatycznego. Stworzenie takiego narzędzia autorka ocenia jako celowe w ramach doskonalenia funkcjonowania SMS Lotniska Chopina w Warszawie. Z punktu widzenia celu wdrożeniowego rozprawy istotne było opracowanie i wdrożenie metody zarządzania ryzykiem, co zostało zrealizowane.

W niniejszej pracy nie prowadzono porównania różnych narzędzi sztucznej inteligencji, co stanowi odrębny i złożony obszar wymagający pogłębionych badań. Klasyfikator bayesowski został zastosowany jako narzędzie potencjalnie adekwatne do analizowanego problemu, jednak nie przesądzono, że jest to rozwiązanie optymalne. W przyszłości planuje się kontynuację badań w celu oceny innych metod AI pod kątem ich skuteczności i dopasowania do specyfiki danych. Możliwe jest także kontynuowanie analiz dotyczących zbudowanego klasyfikatora bayesowskiego, np. poprzez zwiększenie liczby zmiennych oraz rozbudowania bazy wiedzy o kolejne dane.

Zidentyfikowano także potencjał i celowość dalszych analiz dotyczących konstrukcji wskaźników bezpieczeństwa oraz ustalania ich celów i poziomów alarmowych. Choć w pracy przedstawiono kierunki zmian odpowiadające zidentyfikowanym potrzebom, ze względu na złożoność tematu dalsze badania w tym zakresie pozostają zasadne.

Bibliografia

Publikacje zwarte

1. Ali, H., Pham, D.-T. i Alam, S. (2023) 'Enhancing airside monitoring: a multi-camera view approach for aircraft position estimation for digital control towers'. Dostęp: <https://hdl.handle.net/10356/172917>.
2. Allison, C.K., Revell K. M., Sears R. i Stanton N. A. (2017) 'Systems Theoretic Accident Model and Process (STAMP) safety modelling applied to an aircraft rapid decompression event.' *Safety Science* 98, s. 159–166. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.06.011>.
3. Altabbakh, H., Murray, S. i Grantham, K. (2014) 'STAMP – Holistic system safety approach or Just another risk model?', *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 32. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.07.010>.
4. Altringer, L., Begier M. J., Washburn J. E., Shwiff S. A. (2024) 'Estimating the impact of airport wildlife hazards management on realized wildlife strike risk', *Scientific Reports*, 14(1). Dostęp: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79946-3>.
5. Ang, H., Cai, Q. i Alam, S. (2020) 'A collision risk assessment method for runway threshold management: A case study of Singapore Changi Airport', *Case Studies on Transport Policy*, 8(3), s. 784–795. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.06.004>.
6. Bae, J.-H., Park, J.-W. (2021) 'Research into individual factors affecting safety within airport subsidiaries', *Sustainability* (Switzerland), 13(9). Dostęp: <https://doi.org/10.3390/su13095219>.
7. Barry, D.J. (2021) 'Estimating runway veer-off risk using a Bayesian network with flight data', *Transportation Research część C: Emerging Technologies*, 128, 103180. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103180>.
8. Bartulović, D., Steiner, S. (2023) 'Predictive Analysis of Airport Safety Performance: Case Study of Split Airport', *Aerospace*, 10(3). Dostęp: <https://doi.org/10.3390/aerospace10030303>.
9. Bayes, M. i Price, M. (1763) 'An Essay towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances. By the Late Rev. Mr. Bayes, F. R. S. Communicated by Mr. Price, in a Letter to John Canton', *A. M. F. R. S. Royal Society of London*. Dostęp: <https://doi.org/10.1098/rstl.1763.0053>.
10. Bishop, C.M. (2006) 'Pattern Recognition and Machine Learning', Springer New York.
11. Bjerga, T., Aven T. i Zio E. (2016) 'Uncertainty treatment in risk analysis of complex systems: The cases of STAMP and FRAM', *Reliability Engineering & System Safety*, 156, s. 203–209. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.res.2016.08.004>.
12. Buselli, I., Oneto L., Dambra C., Gallego C. V. i Martinez M. G. (2023) 'Data-Driven Methods for Aviation Safety: From Data to Knowledge', *Lecture Notes in Networks and Systems*, 546 LNNS, s. 126–136. Dostęp: https://doi.org/10.1007/978-3-031-16281-7_13.
13. Buzan, T. i Buzan, B. (1996) 'The Mind Map Book: How to Use Radiant Thinking to Maximize Your Brain's Untapped Potential', Penguin Publishing Group.
14. Carswell, B.M., Rea R. V., Searing G. F. i Hesse G. (2021) 'Towards building a species-specific risk model for mammal-aircraft strikes', *Journal of Airport Management*, 15(3), s. 288–303. Dostęp: <https://doi.org/10.69554/KBZN1899>.
15. Chen, M., Chen Y. i Ma S. (2021) 'Identifying Safety Performance Indicators for Risk Assessment in Civil Aviation', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1043(3), 032010. Dostęp: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1043/3/032010>.
16. Chikha, P. i Skorupski, J. (2022) 'The risk of an airport traffic accident in the context of the ground handling personnel performance', *Journal of Air Transport Management*, 105, 102295. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102295>.

17. Claros, B., Sun, C., i Edara, P. (2017) 'Enhancing Safety Risk Management with Quantitative Measures', *Transportation Research Record*, 2603(1), s. 1-12. Dostęp: <https://doi.org/10.3141/2603-01>.
18. Cunha, D. i Andrade, M. (2021) 'Expert's Heuristic Biases in Airport Predictive Risk Assessments', *SAE International Journal of Transportation Safety*, 10(1). Dostęp: <https://doi.org/10.4271/09-10-01-0002>.
19. de Carvalho, P.V.R. (2011) 'The use of Functional Resonance Analysis Method (FRAM) in a mid-air collision to understand some characteristics of the air traffic management system resilience', *Reliability Engineering & System Safety*, 96(11), s. 1482-1498. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.res.2011.05.009>.
20. Di Mascio, P., Fusco R., Cosciotti M. i Moretti L. (2020) 'Runway veer-off risk analysis: An international airport case study', *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), s. 1-17. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/su12229360>.
21. Domingos, P. i Pazzani, M. (1997) 'On the Optimality of the Simple Bayesian Classifier under Zero-One Loss', *Machine Learning*, 29(2), s. 103-130. Dostęp: <https://doi.org/10.1023/A:1007413511361>.
22. Dougherty, J., Kohavi, R. i Sahami, M. (1997) 'Supervised and Unsupervised Discretization of Continuous Features', *ICML*, 1995. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/B978-1-55860-377-6.50032-3>.
23. Dziak, D. Gradolewski D., Witkowski S., Kaniecki D., Jaworski A., Skakuj M. i Kulesza W. (2022) 'Airport Wildlife Hazard Management System', *Elektronika i Elektrotechnika*, 28(3), s. 45-53. Dostęp: <https://doi.org/10.5755/j02.eie.31418>.
24. ElKalaawy, N. i Wassal, A. (2015) 'Methodologies for the modeling and simulation of biochemical networks, illustrated for signal transduction pathways: A primer', *Biosystems*, 129, s. 1-18. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2015.01.008>.
25. Falavigna, G. P., Iescheck A. L. i Souza S.F. (2021) 'Obstacles risk classification model in aerodromes protection zones using the multi-criteria decision analysis ahp', *Universidade Federal do Parana*, 27, 4, e2021027. Dostęp: <https://doi.org/10.1590/s1982-21702021000400027>.
26. Felkel, R. Barth T., Schnei T. i Vieten B. D. (2021) 'From laboratory to real life: Fraport's approach to applying artificial intelligence in airside operations and ground handling.', EBSCO. Dostęp: <https://research-1ebSCO-1com-1k0bk0pbr0154.eczyt.bg.pw.edu.pl/c/3gv2jg/viewer/pdf/fcl4ryi2lb?route=details>.
27. Flage, R. i Askeland, T. (2020) 'Assumptions in quantitative risk assessments: When explicit and when tacit?', *Reliability Engineering & System Safety*, 197, 106799. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.106799>.
28. Gill A. i Kadziński A. (2016) 'Rejestr zagrożeń', *Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe*, t. 17, nr 12, 2016, s. 158-61. Dostęp: <https://bibliotekanauki.pl/articles/316977>.
29. Goodfellow, I., Bengio, Y. i Courville, A. (2016) 'Deep Learning', Cambridge, Mass: The MIT Press.
30. Guldenmund, F. i Li, Y. (2017) 'Safety management systems: A broad overview of the literature', *Safety Science*, 103, s. 94-123. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.11.016>.
31. Gutiérrez Serralde S.M., Soldatitni C., Albores-Barajas, Y.V., Rosas-Hernandez M. P., de la Cueva H., Baron R. R. (2023) 'Comparing bird strike risk assessment methods: a new perspective for safety management', *European Journal of Wildlife Research* 69, 57. Dostęp: <https://doi.org/10.1007/s10344-023-01691-1>.

32. Hales, B.M. i Pronovost, P.J. (2006) 'The checklist--a tool for error management and performance improvement', *Journal of Critical Care*, 21(3), s. 231–235. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2006.06.002>.
33. Han J., Kamber M., Pei J. (2012) 'Data Mining: Concepts and Techniques.', Morgan Kaufmann.
34. Hollnagel, E. (2012) *FRAM: The Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-Technical Systems*. Dostęp: <https://doi.org/10.1201/9781315255071>.
35. Hollnagel, E. (2017) 'Safety-II in Practice: Developing the Resilience Potentials, Safety-II in Practice: Developing the Resilience Potentials', s. 130. Dostęp: <https://doi.org/10.4324/9781315201023>.
36. Hollnagel, E. (2018) 'Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management. London: CRC Press.' Dostęp: <https://doi.org/10.1201/9781315607511>.
37. Hou, Q., Wang, L. i Yuan, T. (2022) 'Research on Automatic Classifying Method for Incident Reports with Runway Incursion', w: *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. Dostęp: <https://doi.org/10.1117/12.2640188>.
38. House, A.P.N., Ring J. G., Hill M. J. i Shaw P. P. (2020) 'Insects and aviation safety: The case of the keyhole wasp *Pachodynerus nasidens* (Hymenoptera: Vespidae) in Australia', *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100096>.
39. Japkowicz, N. i Stephen, S. (2002) 'The Class Imbalance Problem: A Systematic Study', *Intell. Data Anal.*, 6, s. 429–449. Dostęp: <https://doi.org/10.3233/IDA-2002-6504>.
40. Jian W., Zhenhong X., Xiping Z. (2019), 'Operational Safety Risk Assessment of Civil Aviation based on Grey Clustering', *Journal of Physics: Conference Series*, 1168. Dostęp: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1168/3/032109>
41. Kabir, S. i Papadopoulos, Y. (2019) 'Applications of Bayesian networks and Petri nets in safety, reliability, and risk assessments: A review', *Safety Science*, 115, s. 154–175. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.02.009>.
42. Kadziński A. (2013) 'Studium wybranych aspektów niezawodności systemów oraz obiektów pojazdów szynowych', Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
43. Kelleher, J., Mac Namee, B. i D'Arcy, A. (2015) *Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics: Algorithms, Worked Examples, and Case Studies*.
44. Ketabdari, M., Giustozzi, F. i Crispino, M. (2018) 'Sensitivity analysis of influencing factors in probabilistic risk assessment for airports', *Safety Science*, 107, s. 173–187. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.07.005>.
45. Khan, W.A., Ma H-L., Chung S-H. i Wen X. (2021) 'Hierarchical integrated machine learning model for predicting flight departure delays and duration in series', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 129, 103225. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103225>.
46. Kirwan, B. (1998) 'Human error identification techniques for risk assessment of high risk systems - Part 2: Towards a framework approach', *Applied ergonomics*, 29, s. 299–318. Dostęp: [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(98\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(98)00011-8).
47. Kirwan, B. (2024) 'The Impact of Artificial Intelligence on Future Aviation Safety Culture', *Future Transportation*, 4(2), s. 349–379. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/futuretransp4020018>.
48. Kobaszyńska-Twardowska, A. i Gill, A. (2025) 'Analysis of safety indicators in air transport', *Combustion Engines*, 200(1), s. 128–135. Dostęp: <https://doi.org/10.19206/CE-200436>.
49. Korkmaz, H., Filazoglu, E. i Ates, S.S. (2023) 'Enhancing airport apron safety through intelligent transportation systems: Proposed FEDA model', *Safety Science*, 164, 106184. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106184>.

50. Kwasiborska, A. i Kądzioła, K. (2023) 'Application of causal analysis of disruptions and the functional resonance analysis method (FRAM) in analyzing the risk of the baggage process', *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 119, s. 63–81. Dostęp: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.119.4>.
51. Kwasiborska, A. i Ścigaj, S. (2025) 'Assessment of the Risks Associated with the Handling and Transportation of Air Shipments Containing Lithium-Ion Batteries', *Energies*, 18(6). Dostęp: <https://doi.org/10.3390/en18061538>.
52. Kwasiborska, A. i Stelmach, A. (2023) 'Identification of threats and risk assessment in air transport with the use of selected models and methods', *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Służby Pożarniczej*, 86. Dostęp: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.7147>.
53. Kwasiborska, A., Grabowski M., Sedlackova A. N. i Novak A. (2023) 'The Influence of Visibility on the Opportunity to Perform Flight Operations with Various Categories of the Instrument Landing System', *Sensors*, 23(18), 7953. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/s23187953>.
54. Lawrence, E. (2024) 'Data-Driven Decision-Making and Business Intelligence in Modern Organizations' *ResearchGate*. Dostęp: https://www.researchgate.net/publication/386385015_Data-Driven_Decision-Making_and_Business_Intelligence_in_Modern_Organizations
55. Lee, H., Madar S., Sairam S., Puranik T. G., Payan A. P., Kirby M., Pinon O. J. i Mavris D. N. (2020) 'Critical Parameter Identification for Safety Events in Commercial Aviation Using Machine Learning', *Aerospace*, 7(6), 73. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/aerospace7060073>.
56. Leveson, N.G. (2016) 'Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety. The MIT Press.' Dostęp: <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/26043>.
57. Liu, S., McGree J., Ge Z. i Xie Y. (2016) 'Computational and Statistical Methods for Analysing Big Data with Applications.' San Diego: Academic Press, s. 7–28. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803732-4.00002-7>.
58. Majid, S.A., Sulistiyono B. B., Nugraha A. i Suryaningsih L. (2022) 'The effect of safety risk management and airport personnel competency on aviation safety performance', *Uncertain Supply Chain Management*, 10(4), s. 1509–1522. Dostęp: <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2022.6.004>.
59. Martin, G., Frazier, D. i Robert, C. (2020) 'Computing Bayes: Bayesian Computation from 1763 to the 21st Century'. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.06425>.
60. Marzec D. (2023). 'Analiza potrzeb lotnisk w zakresie zarządzania ryzykiem', w: Nowakowski, T., Rosiński, A., Siergiejczyk, M. (red.), 'Zagadnienia eksploatacji i niezawodności wybranych systemów antropotechnicznych', s. 75-88, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
61. Marzec, D., Fellner, R. (2023) 'Review of risk assessment tools and techniques for selected aspects of functioning aerodrome operator', *WUT Journal of Transportation Engineering*, (136), pp. 5–22. Dostęp: <http://dx.doi.org/10.5604/01.3001.0016.3201>.
62. Marzec, D., Skorupski, J. (2025) 'FRAM-Based Analysis of Airport Risk Assessment Process', *Aerospace*, 12(2), 99. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/aerospace12020099>.
63. Mendes, N., Vieira G. V., i Mano P. (2022) 'Risk management in aviation maintenance: A systematic literature review', *Safety Science*, 153, 105810. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105810>.
64. Mogles, N., Padget J. i Bosse T. (2018) 'Systemic approaches to incident analysis in aviation: Comparison of STAMP, agent-based modelling and institutions', *Safety Science*, 108, s. 59–71. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.04.009>.
65. Muecklich, N., Sikora I., Paraskevas A. i Padhra A. (2023) 'The role of human factors in aviation ground operation-related accidents/incidents: A human error analysis approach',

- Transportation Engineering, 13, 100184, Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100184>.
66. Naciri B. i AliKhalid A. (2022) 'Overview of a Fuzzy Bayesian Network Approach for Dynamic Safety Analysis of Runway Incursion Occurrences', w: *Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development (AI2SD'2020)*. Dostęp: https://doi.org/10.1007/978-3-030-90639-9_68.
 67. Ng, C.B.R., Bil C., Sardina S. i O'bree T. (2022) 'Designing an expert system to support aviation occurrence investigations', *Expert Systems with Applications*, 207, 117994. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117994>.
 68. Niu Y., Yunxiao F. i Xing J. (2024) 'Critical review on data-driven approaches for learning from accidents: Comparative analysis and future research', *Safety Science*, 171, 106381. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106381>.
 69. Noroozi, M. i Shah, A. (2023) 'Towards optimal foreign object debris detection in an airport environment', *Expert Systems with Applications*, 213, 118829. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118829>.
 70. Nouvel, D., Travadel, S. i Hollnagel, E. (2007) 'Introduction of the Concept of Functional Resonance in the Analysis of a Near-Accident in Aviation.', 33rd ESReDA Seminar: Future challenges of accident investigation, s. 9. Dostęp: <https://minesparis-psl.hal.science/hal-00614258>
 71. Ohno, T. (1988) *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, CRC Press.
 72. Otway H. i von Winterfeldt D. (1992). 'Expert Judgment in Risk Analysis and Management: Process, Context, and Pitfalls'. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 22 (6): 1480–1487. Dostęp: <https://doi.org/10.1109/21.199466>.
 73. Pan, X., Zuo D., Zhang W., Hu L., Wang H. i Jiang J. (2021) 'Research on Human Error Risk Evaluation Using Extended Bayesian Networks with Hybrid Data', *Reliability Engineering & System Safety*, 209, 107336. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.107336>.
 74. Pascarella D., Gigante G., Vozella A., Sodano M., Ippolito M., Bieber P., Dubot T., and Martinavarró E. (2023) 'Evaluation of a Resilience-Driven Operational Concept to Manage Drone Intrusions in Airports', *Information* 14, 4, s. 239. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/info14040239>.
 75. Passenier, D., Sharpanskykh A. i de Boer R. J. (2015) 'When to STAMP? A Case Study in Aircraft Ground Handling Services', *Procedia Engineering*, 128, s. 35–43. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.502>.
 76. Patriarca, R., Chatzimichailidou M., Karanikas N. i Di Gravio G. (2022) 'The past and present of System-Theoretic Accident Model And Processes (STAMP) and its associated techniques: A scoping review', *Safety Science*, 146, 105566. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105566>.
 77. Patriarca, R., Del Pinto G., Di Gravio G. i Francesco C. (2018) 'FRAM for Systemic Accident Analysis: A Matrix Representation of Functional Resonance', *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 25(01), 1850001. Dostęp: <https://doi.org/10.1142/S0218539318500018>.
 78. Patriarca, R., Di Gravio G. i Costantino F. (2017) 'A Monte Carlo evolution of the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) to assess performance variability in complex systems', *Safety Science*, 91, s. 49–60. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.07.016>.
 79. Patriarca, R., Simone F. i Di Gravio G. (2023) 'Supporting weather forecasting performance management at aerodromes through anomaly detection and hierarchical clustering', *Expert Systems with Applications*, 213. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119210>.

80. Pestana, G., Reis, P. i da Silva, T.R. (2021) 'Smart Surveillance of Runway Conditions', in A.L. Martins et al. (eds) *Intelligent Transport Systems, From Research and Development to the Market Uptake*. Cham: Springer International Publishing, s. 252–270. Dostęp: https://doi.org/10.1007/978-3-030-71454-3_16.
81. Potente, C., Ragnoli A., Tamasi G., Vergari R. i Di Mascio P. (2018) 'Quantitative Risk Assessment of Temporary Hazards and Maintenance Worksites in the Airport Safety Areas: a case study', *INAIR 2018 AVIATION ON THE GROWTH PATH*, 35, s. 166–175. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.031>.
82. Puranik, T.G., Rodriguez N. i Mavris D. N. (2020) 'Towards online prediction of safety-critical landing metrics in aviation using supervised machine learning', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 120, 102819. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102819>.
83. Rathnakumar, R. i Liu, Y. (2025) 'Towards safer general aviation operations using a vision-based decision support system for weather threat avoidance', *Journal of Air Transport Management*, 123, 102709. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102709>.
84. Rauch, R., Hen, C. (2024) 'From bricks to bytes: AI-based airport digital transformation in practice', EBSCO. Dostęp: <https://research-1ebSCO-1com-1k0bk0ps2010e.eczyt.bg.pw.edu.pl/c/3gv2jg/viewer/pdf/nraw5a5qgb?route=details>.
85. Rish, I. (2001) 'An Empirical Study of the Naïve Bayes Classifier', *IJCAI 2001 Work Empir Methods Artif Intell*, 3.
86. Robinson, S.D. (2019) 'Temporal topic modeling applied to aviation safety reports: A subject matter expert review', *Safety Science*, 116, s. 275–286. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.03.014>.
87. Salmon, P., Cornelissen, M. i Trotter, M. (2012) 'Systems-based accident analysis methods: a comparison of Accimap, HFACS, and STAMP', *Safety Science*, 50, s. 1158–1170. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.11.009>.
88. Sarkheil H., Eraghi M. T. i Khah S. V. (2021) 'Hazard identification and risk modeling on runway bird strikes at Sardar-e-Jangal International Airport of Iran', *Modeling Earth Systems and Environment*, 7, s. 2589–2598. Dostęp: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-020-01032-0>.
89. Schultz, M., Lorenz S., Shmitz R. i Delgado L. (2018) 'Weather Impact on Airport Performance', *Aerospace*, 5(4), 109. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/aerospace5040109>.
90. Shahriari, M., Aydin, M.E. (2019) 'Airport Runway Incursions and Safety.' w: Arezes, P. (red.) *Advances in Safety Management and Human Factors. AHFE 2018*, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 791, Springer, Cham. Dostęp: https://doi.org/10.1007/978-3-319-94589-7_27.
91. Shappell, S., Wiegmann, D.A. (2000) 'The Human Factors Analysis and Classification System: HFACS: Final Report.'
92. Shorrock, S.T. i Kirwan, B. (2002) 'Development and application of a human error identification tool for air traffic control', *Applied Ergonomics*, 33(4), s. 319–336. Dostęp: [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(02\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(02)00010-8).
93. Si, Q., Zhao Y., Li J., Wang H. i Zhai K. (2024) 'Risk Cause Analysis of Runway Excursion Accidents in the Aircraft Landing Stage through Integrated FTA-BN Method', *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 17, s. 178–186. Dostęp: <https://doi.org/10.25103/jestr.171.21>.
94. Sivakumar S. (2022) 'A novel Integrated Risk Management Method for Airport operations', *Journal of Air Transport Management*, 105, 102296. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102296>.

95. Skorupski, J., Grabarek I., Kwasiborska A. i Czyżo S. (2020) 'Assessing the suitability of airport ground handling agents', *Journal of Air Transport Management*, 83, 101763. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101763>.
96. Skorupski, J., Rutkowska, P. (2021) 'Quantitative Assessment of Minor Incidents to Accident Transformation Probability and Its Impact on Aerodrome Operations', *SAE International Journal of Transportation Safety*, 9(2), s. 141–172. Dostęp: <https://doi.org/10.4271/09-09-02-0004>.
97. Spriggs, J. (2002) 'Airport Risk Assessment: Examples, Models and Mitigations', in F. Redmill and T. Anderson (eds) *Components of System Safety*. London: Springer, s. 183–195. Dostęp: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0173-4_11.
98. Stroeve, S.H., Som P., van Doorn B. A. i Bakker G. J.(2016) 'Strengthening air traffic safety management by moving from outcome-based towards risk-based evaluation of runway incursions', *Reliability Engineering & System Safety*, 147, s. 93–108. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.11.003>.
99. Su, Z., Deng S., Zheng L., Chen H., Liu Y. i Yang Y. (2023) Development and Application of the ADS-B Based Vehicle Operation Vision Enhancement System, 505. Dostęp: <https://doi.org/10.1109/ICCASIT58768.2023.10351560>.
100. Tengiz E. I i Unal G.(2023) 'A fuzzy logic evolution of the functional resonance analysis method (FRAM) to assess risk in ground operation', *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 95 (10), s. 1614–1623. Dostęp: <https://doi.org/10.1108/AEAT-01-2023-0007>.
101. Thallapureddy, S., Sherratt F., Hallowell M. i Bhandari S. (2024) 'Effective information collection in incident investigations: A systematic review and narrative synthesis', *Safety Science*, 171, 106404. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106404>.
102. Thomson M. E., Onkal D., Avcioglu A. i Goodwin P. (2004). 'Aviation Risk Perception: A Comparison Between Experts and Novices.' *Risk Analysis* 24 (6): 1585–1595. Dostęp: <https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00552.x>.
103. Thupakula, K., Sivaramasastry A. i Gampa S. (2016) 'A Methodology for Collision Prediction and Alert Generation in Airport Environment', *SAE International Journal of Aerospace*, 9, s. 1–7. Dostęp: <https://doi.org/10.4271/2016-01-1976>.
104. Tian, J., Wu J., Yang Q. i Zhao T. (2016) 'FRAMA: A safety assessment approach based on Functional Resonance Analysis Method', *Safety Science*, 85, s. 41–52. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.01.002>.
105. Tomaszewska, J. (2024) 'Wspomaganie decyzji oceny wystąpienia zdarzeń niepożądanych w transporcie lotniczym z wykorzystaniem modeli uczenia maszynowego.' Dostęp: <https://bibliotekanauki.pl/books/57646975>.
106. Tubis A.A., Ryczyński J. i Żurek A.(2021) 'Risk Assessment for the Use of Drones in Warehouse Operations in the First Phase of Introducing the Service to the Market.', *Sensors* 21(20): 6713. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/s21206713>.
107. Tversky A., Kahneman D. (1971) 'Belief in the law of small numbers', *Psychological Bulletin*, 76(2), s. 105–110. Dostęp: <https://doi.org/10.1037/h0031322>.
108. Uchroński P. (2020) 'Analysis of the Operation of the Ground Handling Agent in the Aspect of Safety', *Journal of KONBiN*, 50(1). Dostęp: <https://doi.org/10.2478/jok-2020-0019>.
109. Walton, P. (2018) 'Artificial Intelligence and the Limitations of Information', *Information*, 9(12), 332. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/info9120332>.
110. Wawrzyński, W., Zieja M., Tomaszewska J. i Michalski M. (2021) 'Reliability Assessment of Aircraft Commutators', *Energies*, 14(21), 7404. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/en14217404>.

111. Wawrzyński, W., Zieja M., Tomaszewska J. i Michalski M., Kamiński G. i Wabik D. (2022) 'The Potential Impact of Laser Pointers on Aviation Safety', *Energies*, 15(17), 6226. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/en15176226>.
112. Wilke, S., Majumdar, A. i Ochieng W.Y. (2015) 'The impact of airport characteristics on airport surface accidents and incidents', *Journal of Safety Research*, 53, s. 63–75. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2015.03.006>.
113. Xu, Q., Liu J., Su M. i Chen W. (2023) 'Quantitative Bird Activity Characterization and Prediction Using Multivariable Weather Parameters and Avian Radar Datasets', *Aerospace*, 10(5), 462. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/aerospace10050462>.
114. Yazgan, E., Durmaz V., Yilmaz A. K. i Malagas K. N. (2022) 'Integrated risk assessment in ramp handling operations: risk mapping for turkish airports', *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 9(4). Dostęp: <https://doi.org/10.58940/2374-6793.1761>.
115. Yousefi, Y. Karballaezadeh N., Moazami D. Zahed A. S. Mohammadzadeh S. D. i Mosavi A. (2020) 'Improving Aviation Safety through Modeling Accident Risk Assessment of Runway', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 6085. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/ijerph17176085>.
116. Zhang, X., Mahadevan, S. (2019) 'Ensemble machine learning models for aviation incident risk prediction', *Decision Support Systems*, 116, s. 48–63. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2018.10.009>.
117. Zhang, X., Zhong S., Mahadevan S. (2022) 'Airport surface movement prediction and safety assessment with spatial-temporal graph convolutional neural network', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, s. 144. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103873>.
118. Zhao, N., Li N., Sun Y. i Zhang L. (2021) 'Research on Aircraft Surface Taxi Path Planning and Conflict Detection and Resolution', *Journal of Advanced Transportation*, 2021, s. 1–12. Dostęp: <https://doi.org/10.1155/2021/9951206>.
119. Zhou, L. i Chen, Z. (2020) 'Measuring the performance of airport resilience to severe weather events', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, 102362. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102362>.
120. Zhu, R., Guo, Y. i Xue, J.-H. (2020) 'Adjusting the imbalance ratio by the dimensionality of imbalanced data', *Pattern Recognition Letters*, 133, s. 217–223. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2020.03.004>.
121. Ziakkas, D., Pechlivanis, K. (2023) 'Artificial intelligence applications in aviation accident classification: A preliminary exploratory study', *Decision Analytics Journal*, 9, 100358. Dostęp: <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100358>.
122. Zieja, M. i in. (2021) 'Lifetime prediction of bearings in on-board starter generator', *Advances in Aircraft and Spacecraft Science*, 8(4), s. 289–302.
123. Żurek, J. i Tomaszewska, J. (2016a) 'Analiza systemu eksploatacji z punktu widzenia gotowości', *Journal of KONBiN*, 40(4), s. 14–20. Dostęp: <https://doi.org/10.1515/jok-2016-0038>.
124. Żurek, J. i Tomaszewska, J. (2016b) 'Analysis of the Equipment Operation System in Terms of Availability', *Journal of KONBiN*, 40. Dostęp: <https://doi.org/10.1515/jok-2016-0038>.
125. Żyluk, A., Cur K., Tomaszewska J. i Czerwiński T. (2022) 'Analysis of Aircraft Operation System Regarding Readiness—Case Study', *Aerospace*, 9(1), s. 14. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/aerospace9010014>.
126. Żyluk, A., Kuźma K., Grzesik N., Zieja M. i Tomaszewska J. (2021) 'Fuzzy Logic in Aircraft Onboard Systems Reliability Evaluation—A New Approach', *Sensors*, 21(23), 7913. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/s21237913>.

127. Żyluk, A., Zieja M., Grzesik N., Tomaszewska J. Kozłowski G. i Jasztal M. (2023) 'Implementation of the Mean Time to Failure Indicator in the Control of the Logistical Support of the Operation Process', *Applied Sciences*, 13(7), 4608. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/app13074608>.
128. Żyluk, A., Zieja M., Szelmanowski A., Tomaszewska J., Perlińska M. i Głyda K. (2022) 'Electrical Disturbances in Terms of Methods to Reduce False Activation of Aerial Fire Protection Systems', *Sensors*, 22(20), 8059. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/s22208059>.
129. Żyluk, A., Zieja M., Tomaszewska J., Michalski M. i Kordys K. (2023) 'Service Life Prediction for Rotating Electrical Machines on Aircraft in Terms of Temperature Loads', *Energies*, 16(1), s. 218. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/en16010218>.

Uregulowania formalno-prawne

1. Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA), 2014. 'Akceptowalne sposoby spełnienia wymagań (AMC) oraz materiały zawierające wytyczne (GM) w zakresie wymagań dla władz, organizacji i funkcjonowania lotnisk'. Decyzja Dyrektora Wykonawczego EASA 2014/012/R z dnia 27 lutego 2014 r. (ze zmianami). Kolonia: Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego.
2. Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA), 2017, Management System Assessment Tool.
3. Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA), 2022, Annual Safety Review 2022.
4. Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA), 2022. 'Akceptowalne sposoby spełnienia wymagań (AMC) i materiały zawierające wytyczne (GM) do rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) 2019/947 w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych'. Decyzja Dyrektora Wykonawczego EASA 2019/021/R z dnia 9 października 2019 r. (ze zmianami). Kolonia: Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego.
5. Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA), 2025, European Plan for Aviation Safety.
6. IEC (International Electrotechnical Commission), 2016. IEC 61882: Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies) – Application Guide. Geneva.
7. IEC (International Electrotechnical Commission), 2019. IEC 31010:2019 Risk management — Risk assessment techniques. Geneva.
8. Konwencja o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, podpisana w Chicago dnia 7 grudnia 1944 r., 1944. Dz. U. z 1959 r. Nr 35, poz. 212 (ze zmianami).
9. Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego (ICAO), 2013a, Załącznik 19 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym: Zarządzanie bezpieczeństwem, Montreal (ze zmianami).
10. Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego (ICAO), 2013b. 'Podręcznik zarządzania bezpieczeństwem (SMM)', wyd. 3. ICAO Doc 9859, Montreal.
11. Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego (ICAO), 2018. 'Podręcznik zarządzania bezpieczeństwem (SMM)', wyd. 4. ICAO Doc 9859, Montreal.
12. Obwieszczenie nr 1 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 10 stycznia 2020 r. w sprawie ogłoszenia tekstu Załącznika 19 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, sporządzonej w Chicago dnia 7 grudnia 1944 r., Dz. Urz. ULC z 2020 r. poz. 2.
13. Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2020/2034 z dnia 3 listopada 2020 r. uzupełniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 w odniesieniu do kompetencji i zadań EASA w zakresie zarządzania bezpieczeństwem, 2020. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, L 416, 11.12.2020, s. 1–6 (ze zmianami).

14. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 139/2014 z dnia 12 lutego 2014 r. ustanawiające wymagania oraz procedury administracyjne dotyczące lotnisk zgodnie z rozporządzeniem (WE) nr 216/2008, 2014. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, L 44, 14.2.2014, s. 1–34 (ze zmianami).
15. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju (MiR) z dnia 11 września 2014 r. w sprawie warunków eksploatacji lotnisk, Dz. U. z 2023 r. poz. 1014 (ze zmianami).
16. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej (MTBiGM) z dnia 5 lipca 2013 r. w sprawie klasyfikacji lotnisk i rejestru lotnisk, Dz. U. z 2023 r. poz. 1065 (ze zmianami).
17. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 z dnia 4 lipca 2018 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie lotnictwa cywilnego i utworzenia Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego oraz zmieniające i uchylające niektóre akty prawne, 2018. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, L 212, 22.08.2018, s. 1–122 (ze zmianami).
18. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 376/2014 z dnia 3 kwietnia 2014 r. w sprawie zgłaszania i analizy zdarzeń w lotnictwie cywilnym oraz podejmowanych w związku z nimi działań następczych, zmiany rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 996/2010 oraz uchylenia dyrektywy 2003/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady i rozporządzeń Komisji (WE) nr 1321/2007 i (WE) nr 1330/2007, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L122 z 24.4.2014: Maastricht, Holandia, strony 18-43 (ze zmianami).
19. Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezałogowych statków powietrznych, 2019. Dz. Urz. UE L 152 z 11.06.2019, s. 45–71 (ze zmianami).
20. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2021/2082 z dnia 26 listopada 2021 r. ustanawiające zasady wdrożenia rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 376/2014 w odniesieniu do wspólnego europejskiego systemu klasyfikacji ryzyka, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 426 z 29.11.2021: Maastricht, Holandia, strony 32–40 (ze zmianami).
21. Urząd Lotnictwa Cywilnego (2021), Krajowy Plan Bezpieczeństwa 2021 – 2024, Załącznik B „Zestawienie wartości SPIs z podziałem miesięcznym: 2021”. Dostęp: https://ulc.gov.pl/_download/bezpieczenstow_lotow/SPI/KPB_SPIs_3_kwarta%C5%82_2_021.pdf
22. Urząd Lotnictwa Cywilnego (ULC, 2019), Krajowy Plan Bezpieczeństwa na lata 2019–2022. Załącznik do Krajowego Programu Bezpieczeństwa w Lotnictwie Cywilnym. Dostęp: <https://ulc.gov.pl/zarzadzanie-bezpieczenstwem/program-bezpieczenstwa-w-lotnictwie-cywilnym/krajowy-plan-bezpieczenstwa/krajowy-plan-bezpieczenstwa-2019-2022>
23. Urząd Lotnictwa Cywilnego (ULC, 2024), Krajowy Program Bezpieczeństwa w Lotnictwie Cywilnym. Wydanie 3. Dostęp: https://ulc.gov.pl/_download/KPBwLC_2024.pdf.
24. Urząd Lotnictwa Cywilnego (ULC, 2025), Krajowy Plan Bezpieczeństwa na lata 2025–2027. Załącznik do Krajowego Programu Bezpieczeństwa w Lotnictwie Cywilnym. Dostęp: <https://ulc.gov.pl/zarzadzanie-bezpieczenstwem/program-bezpieczenstwa-w-lotnictwie-cywilnym/krajowy-plan-bezpieczenstwa/krajowy-plan-bezpieczenstwa-2025-2027>
25. Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. – Prawo lotnicze, 2002. Dziennik Ustaw z 2023 r., poz. 2110 (ze zmianami).

Źródła internetowe

1. Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA), 'Specific Operations Risk Assessment (SORA)', <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/operating-drone/specific-category-civil-drones/specific-operations-risk-assessment-sora> (dostęp 23 czerwca 2025).
2. Hill, R. FRAM Model Visualizer (2024), <https://zerprize.co.nz/home/fram> (dostęp 17 grudnia 2024).
3. Hugin Expert, <https://www.hugin.com/> (dostęp 10 sierpnia 2025).
4. Investigations Quality (2021), 'Structured What-If Technique as a Risk Assessment Tool', <https://investigationsquality.com> (dostęp 20 listopada 2023).
5. Organ nadzoru lotniczego Wielkiej Brytanii (UK CAA), 'About Bowtie', <https://www.caa.co.uk/safety-initiatives/working-with-industry/bowtie/about-bowtie/#> (dostęp 5 lipca 2025).
6. PRISMA, <https://www.prisma-statement.org/> (dostęp 4 stycznia 2025).
7. SKYbrary Aviation Safety, 'Safety Culture', <https://www.skybrary.aero/articles/safety-culture> (dostęp 7 stycznia 2023).
8. Think Reliability, 'Crash of the Concorde- Root Cause Analysis of Air France Flight 4590', https://dev.thinkreliability.com/case_studies/crash-of-the-concorde/ (dostęp 12 stycznia 2025).
9. Urząd Dozoru Technicznego, <https://www.udt.gov.pl/> (dostęp 20 czerwca 2025).
10. Urząd Lotnictwa Cywilnego (2023), Diagramy Bow-Tie, <https://ulc.gov.pl/zarzadzanie-bezpieczenstwem/analizy-bezpieczenstwa/diagramy-bow-tie> (dostęp 5 lipca 2025).

Arkusze wywiadów

1. Czech, Piotr. Wywiad przeprowadzony przez autorkę. 3 października 2022 r.
2. Danielkiewicz, Maciej. Wywiad przeprowadzony przez autorkę. 20 listopada 2022 r.
3. Galej, Piotr. Wywiad przeprowadzony przez autorkę. 8 października 2022 r.

Załączniki

1. Eksperymenty Bayes (załącznik w formie elektronicznej)
2. Dane1 (załącznik w formie elektronicznej)
3. Dane2 (załącznik w formie elektronicznej)
4. Dane3 (załącznik w formie elektronicznej)
5. Dane4 (załącznik w formie elektronicznej)
6. Dane5 (załącznik w formie elektronicznej)
7. Test1 (załącznik w formie elektronicznej)
8. Test2 (załącznik w formie elektronicznej)
9. Test3 (załącznik w formie elektronicznej)
10. Test4 (załącznik w formie elektronicznej)
11. Test5 (załącznik w formie elektronicznej)
12. Wynik1 (załącznik w formie elektronicznej)
13. Wynik2 (załącznik w formie elektronicznej)
14. Wynik3 (załącznik w formie elektronicznej)
15. Wynik4 (załącznik w formie elektronicznej)
16. Wynik5 (załącznik w formie elektronicznej)

Spis rysunków

Rysunek 1 Uproszczony schemat organizacyjny zarządzającego lotniskiem (źródło: opracowanie własne).	14
Rysunek 2 Proces zarządzania ryzykiem jako komponent systemu zarządzania bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne na podstawie (ICAO, 2018)).	20
Rysunek 3 Przebieg procesu zarządzania ryzykiem (źródło: opracowanie własne na podstawie (ICAO, 2018)).	20
Rysunek 4 Diagram przepływu PRISMA wyszukiwania dot. metod zarządzania ryzykiem (źródło: opracowanie własne).	28
Rysunek 5 Drzewo zdarzeń (event tree) dla samolotu biorącego udział w zdarzeniu z 22 czerwca 2015 r. na lotnisku Chopina; P – prawdopodobieństwo zdarzenia; EMB – statek powietrzny Embraer; S – scenariusz; N – nie; Y - tak (źródło: (Skorupski i Rutkowska, 2021))	32
Rysunek 6 Konstrukcja diagramu bow-tie (źródło: opracowanie własne).	48
Rysunek 7 Przykład mapy myśli stworzonej podczas burzy mózgów (źródło: opracowanie własne).	51
Rysunek 8 Przykład roboczego arkusza łagodzenia ryzyka (źródło: (ICAO, 2013b))	53
Rysunek 9 Przykład jakościowej analizy ETA dot. zdarzenia (źródło: opracowanie własne).	66
Rysunek 10 Zastosowanie metody 5 × dlaczego dla nieprzeprowadzenia przeglądu urządzenia w wymaganym terminie (źródło: opracowanie własne).	67
Rysunek 11 Metoda SORA w 10 krokach (źródło: (EASA, 2025)).	72
Rysunek 12 Sześciokąt przedstawiający funkcję oraz jej cechy według metody FRAM. (źródło: opracowanie własne)	73
Rysunek 13 Podział algorytmów uczenia maszynowego (źródło: opracowanie własne na podstawie (Tomaszewska, 2024)).	78
Rysunek 14 Wartości wskaźnika bezpieczeństwa „liczba zderzeń z ptakami w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych” Lotniska Chopina w Warszawie w 2022 r. (źródło: Polskie Porty Lotnicze S. A.).	93
Rysunek 15 Wartości wskaźnika bezpieczeństwa „Liczba zdarzeń z powodu FOD w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych” Lotniska Chopina w Warszawie w 2022 r. (źródło: Polskie Porty Lotnicze S. A.).	94

Rysunek 16 Wartości wskaźnika bezpieczeństwa „Liczby zdarzeń FOD związanych z obsługą techniczną/naziemną statków powietrznych w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych” Lotniska Chopina w Warszawie w 2022 r. (źródło: Polskie Porty Lotnicze S. A.).....	95
Rysunek 17 Metod wykorzystywane do identyfikacji zagrożeń w badanych organizacjach lotniczych (źródło: opracowanie własne).....	99
Rysunek 18 Narzędzia wykorzystywane do identyfikacji zagrożeń w badanych organizacjach lotniczych (źródło: opracowanie własne).....	99
Rysunek 19 Klasyfikacja „lądowanie statku powietrznego na lotnisku poza drogą startową w RESA (runway end safety area)” (źródło: opracowanie własne).	101
Rysunek 20 Klasyfikacja „ciało obce (pojedynczy przedmiot $> 5\text{cm}$, $\leq 20\text{ cm}$) na drodze startowej” (źródło: opracowanie własne).	101
Rysunek 21 Przykład 1 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).	102
Rysunek 22 Przykład 2 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).	102
Rysunek 23 Przykład 3 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).	103
Rysunek 24 Przykład 4 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).	103
Rysunek 25 Przykład 5 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).	103
Rysunek 26 Przykład 6 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).	104
Rysunek 27 Przykład 7 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).	104
Rysunek 28 Przykład 8 dotyczący klasyfikacji zagadnień związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).	104
Rysunek 29 Powiązanie pomiędzy opisaniem i przeanalizowaniem zagadnienia a identyfikacją zagrożeń w procesie zarządzania ryzykiem (źródło: opracowanie własne).....	114
Rysunek 30 Warunki wstępne oraz zasoby niezbędne do zapewnienia procedur i wytycznych SMS oraz powiązanie pomiędzy zapewnianiem procedury i wytycznych SMS a identyfikacją zagrożeń w procesie zarządzania ryzykiem (źródło: opracowanie własne).....	115
Rysunek 31 Model FRAM procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina w Warszawie; funkcje scharakteryzowane za pomocą jednej cechy oznaczono na szaro (źródło: opracowanie własne).....	119
Rysunek 32 Graficzne przedstawienie rezonansu funkcjonalnego zmienności funkcji zapewniania procedur i wytycznych SMS; funkcje scharakteryzowane za pomocą jednej cechy oznaczono na szaro (źródło: opracowanie własne).	131
Rysunek 33 Graficzne przedstawienie rezonansu funkcjonalnego zmienności funkcji zapewniania rekrutacji i szkolenia; funkcje scharakteryzowane za pomocą jednej cechy oznaczono na szaro (źródło: opracowanie własne).	132
Rysunek 34 Schemat blokowy proponowanej metody zarządzania ryzykiem (źródło: opracowanie własne).....	137
Rysunek 35 Ryzyka zmieniania i ryzyka zmiany (źródło:opracowanie własne).	141
Rysunek 36 Drzewo decyzyjne wspomagające proces wyboru techniki analizy ryzyka (źródło: opracowanie własne).....	143
Rysunek 37 Sieć bayesowska składająca się z trzech zmiennych losowych (A, B, C).(źródło: opracowanie własne).	153
Rysunek 38 Podział Lotniska Chopina na sektory (źródło: opracowanie własne, z wykorzystaniem mapy dostępnej w AIP Polska).	159

Rysunek 39 Statek powietrzny bez ruchu (standing) (źródło: archiwum własne).	160
Rysunek 40 Kołujący statek powietrzny (taxiing) (źródło: archiwum własne).	160
Rysunek 41 Holowany statek powietrzny (towed) (źródło: archiwum własne).....	161
Rysunek 42 Możliwe wartości zmiennej opisującej zdarzenie według czasu jego wystąpienia (źródło: opracowanie własne).	162
Rysunek 43 Graficzna analiza danych pod względem wartości indeksu prawdopodobieństwa (output_1, z lewej) oraz dotkliwości (output_2, z prawej) (źródło: opracowanie własne)....	168
Rysunek 44 Widok programu Hugin Expert po dodaniu danych (źródło: opracowanie własne).	169
Rysunek 45 Struktura zbudowanego modelu (źródło: opracowanie własne).	170
Rysunek 46 Model wraz z wyliczonym prawdopodobieństwem (źródło: opracowanie własne)	170
Rysunek 47 Fragment tabeli prawdopodobieństw warunkowych (źródło: opracowanie własne).	171
Rysunek 48 Zmodyfikowany model pod względem liczby etykiet klas (źródło: opracowanie własne).	172
Rysunek 49 Symulacja nr 1 (źródło: opracowanie własne).	173
Rysunek 50 Symulacja nr 2 (źródło: opracowanie własne).	174
Rysunek 51 Symulacja nr 3 (źródło: opracowanie własne).	175
Rysunek 52 Symulacja nr 4 (źródło: opracowanie własne).	176
Rysunek 53 Schemat blokowy procesu „weryfikacja zagrożeń” (źródło: opracowanie własne).	180
Rysunek 54 Model FRAM procesu zarządzania ryzykiem z uwzględnieniem istnienia opracowanej metody (źródło: opracowanie własne).....	196

Spis tabel

Tabela 1 Liczba operacji pasażerskich w ruchu krajowym i międzynarodowym – regularnym i czarterowym w latach 2022 -2024; UWAGA: dane nie uwzględniają pasażerów w ruchu tranzytowym oraz lotnictwa ogólnego (źródło: Urząd Lotnictwa Cywilnego na podstawie informacji uzyskanych z portów lotniczych).	16
Tabela 2 Wybrane terminy związane z systemem zarządzania bezpieczeństwem (źródło: opracowanie własne).	17
Tabela 3 Wykaz technik zarządzania ryzykiem w podziale na zakres stosowania (źródło: (IEC, 2019)).	26
Tabela 4 Szczegóły wyszukiwania literatury związanej ze sztuczną inteligencją (źródło: opracowanie własne).	29
Tabela 5 Fragment wyników analizy "What-If?" dotyczącego wtargnięć na drogę startową (źródło: (Shahriari i Aydin, 2019)).....	30
Tabela 6 Wybrane zastosowania sztucznej inteligencji w obszarze działalności zarządzających lotniskami (źródło: opracowanie własne)	34
Tabela 7 Zadania związane z zarządzaniem bezpieczeństwem, dla których można wykorzystać diagramy bow-tie (źródło: (UK CAA).	49
Tabela 8 Tabela oceny dotkliwości materializacji zagrożeń (opracowanie własne na podstawie (ICAO, 2018))	55
Tabela 9 Tabela oceny prawdopodobieństwa materializacji zagrożeń (opracowanie własne na podstawie (ICAO, 2018))	56
Tabela 10 Matryca oceny ryzyka (źródło: opracowanie własne na podstawie (ICAO, 2018).	56
Tabela 11 Tabela tolerancji ryzyka (opracowanie własne na podstawie (ICAO, 2018))	57
Tabela 12 Przykładowa skala oceny dotkliwości (SEV) (źródło: opracowanie własne).	59

Tabela 13 Przykładowa skala oceny częstości występowania (OCC) (źródło: opracowanie własne).	60
Tabela 14 Przykładowa skala oceny możliwości wykrycia lub wyeliminowania (DET) (źródło: opracowanie własne).	60
Tabela 15 Fragment przykładowego arkusza FMEA dla procesu wykonania zdjęć lotniska za pomocą kamery wbudowanej w bezzałogowy statek powietrzny; BSP - bezzałogowy statek powietrzny (źródło: opracowanie własne).	61
Tabela 16 Fragment arkusza HAZOP dla procesu wdrożenia nowego systemu łączności radiowej (źródło: opracowanie własne).	63
Tabela 17 Matryca ERCS (źródło: (Komisja Europejska, 2020)).	69
Tabela 18 Charakterystyka wybranych technik zarządzania ryzykiem (źródło: opracowanie własne na podstawie: (Marzec i Fellner, 2023), (IEC, 2019),(Ohno, 1988)).	80
Tabela 19 Przykłady ocen ryzyka prowadzonych przez zarządzającego lotniskiem (źródło: (Marzec i Fellner, 2023)).	81
Tabela 20 Przydatność technik do poszczególnych ocen ryzyka prowadzonych przez zarządzających lotniskami (źródło: opracowanie własne na podstawie: (Marzec i Fellner, 2023), (IEC, 2019),(Ohno, 1988)).	82
Tabela 21 Liczba zderzeń z ptakami oraz wartości wskaźnika „liczba zderzeń z ptakami w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych” Lotniska Chopina w Warszawie od 2015 r. do 2022 r. (źródło: Polskie Porty Lotnicze S. A.).	93
Tabela 22 Liczba zdarzeń z powodu FOD oraz wartości wskaźnika „Liczba zdarzeń z powodu FOD w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych” Lotniska Chopina w Warszawie od 2015 r. do 04.2023 r. (źródło: Polskie Porty Lotnicze S. A.)	95
Tabela 23 Liczba zdarzeń FOD związanych z obsługą techniczną / naziemną statków powietrznych oraz wartości wskaźnika „Liczby zdarzeń FOD związanych z obsługą techniczną / naziemną statków powietrznych w przeliczeniu na 10000 operacji lotniczych” Lotniska Chopina w Warszawie od 2015 r. do 04.2023 r. (źródło: Polskie Porty Lotnicze S. A.).	95
Tabela 24 Ocena procesów identyfikacji zagrożeń oraz zgłaszania informacji dotyczących bezpieczeństwa (źródło: opracowanie własne).	98
Tabela 25 Wybrane uzasadnienia odpowiedzi Respondentów (źródło: opracowanie własne).	105
Tabela 26 Opis kluczowych funkcji procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina w Warszawie (źródło: opracowanie własne).	116
Tabela 27 Możliwe odchylenia funkcji (źródło: opracowanie własne).	122
Tabela 28 Zależność funkcji od poszczególnych efektów (outputs) (źródło: opracowanie własne).	125
Tabela 29 Możliwy wpływ na <F8 Wybrać metodę> (źródło: opracowanie własne).	127
Tabela 30 Możliwy wpływ na <F9 Zidentyfikować zagrożenia> (źródło: opracowanie własne).	127
Tabela 31 Możliwy wpływ na < F10 Ocena ryzyka przed mitygacją> (źródło: opracowanie własne).	128
Tabela 32 Możliwy wpływ na <F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją> (źródło: opracowanie własne).	129
Tabela 33 Możliwy wpływ na <F12 Ustalenie mitygacji> (źródło: opracowanie własne).	129
Tabela 34 Możliwy wpływ na <F13 Ocena ryzyka rezydualnego> (źródło: opracowanie własne).	130
Tabela 35 Możliwy wpływ na <F14 Akceptacja ryzyka rezydualnego> (źródło: opracowanie własne).	130
Tabela 36 Przykłady zagadnień, dla których prowadzone były analizy i oceny ryzyka na Lotnisku Chopina w Warszawie (źródło: opracowanie własne).	140

Tabela 37 Lista kontrolna „zmiana cech lotniska” (źródło: opracowanie własne).	150
Tabela 38 Powiązanie wyników listy kontrolnej „zmiana cech lotniska” z poziomami ryzyka oraz zakresami jego tolerancji (źródło: opracowanie własne)	151
Tabela 39 Lista kontrolna „prace remontowo-budowlane”(źródło: opracowanie własne)	151
Tabela 40 Powiązanie wyników listy kontrolnej „prace remontowo-budowlane” z poziomami ryzyka oraz zakresami jego tolerancji (źródło: opracowanie własne)	152
Tabela 41 Przykłady ingerencji ze strony pojazdu, urządzeń lub osób, podczas wypychania, wycofywania na silnikach lub kołowania statku powietrznego; PPS – płyta postojowa samolotów; DK – droga kołowania; LT – local time (czas lokalny) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych PPL)	156
Tabela 42 Zestawienie analizowanych zmiennych; wyróżnione zmienne zostały użyte do budowy klasyfikatora;(źródło: opracowanie własne).	163
Tabela 43 Opis przykładowych zdarzeń za pomocą zestawu dobranych atrybutów wraz z wartościami danych wyjściowych (oceny ryzyka) (źródło: opracowanie własne).	165
Tabela 44 Analiza danych pod względem wartości atrybutu „sektor” (var_3) (źródło: opracowanie własne)	166
Tabela 45 Analiza danych pod względem wartości atrybutu „rodzaj ruchu” (var_4) (źródło: opracowanie własne)	166
Tabela 46 Analiza danych pod względem wartości atrybutu „uczestnicy” (var_5) (źródło: opracowanie własne)	166
Tabela 47 Analiza danych pod względem wartości atrybutu „niestandardowe procedury poruszania się” (var_6) (źródło: opracowanie własne)	167
Tabela 48 Analiza danych pod względem wartości atrybutu „czas” (var_9) (źródło: opracowanie własne)	167
Tabela 49 Analiza danych pod względem wartości indeksu prawdopodobieństwa (output_1) (źródło: opracowanie własne)	167
Tabela 50 Analiza danych pod względem wartości indeksu dotkliwości (output_2) (źródło: opracowanie własne)	168
Tabela 51 Wybrane wyniki testu na zbiorze Test1 (źródło: opracowanie własne).....	177
Tabela 52 Wybrane wartości pola pod wykresem krzywej ROC i error rate (źródło: opracowanie własne).	178
Tabela 53 Szablon listy zagrożeń (źródło: opracowanie własne na podstawie (Gill i Kadziński, 2016), (Parlament Europejski i Rada, 2014), (ICAO, 2013b)).	180
Tabela 54 Lista kontrolna „zagrożenie” (źródło: opracowanie własne).....	181
Tabela 55 Kluczowe obszary ryzyka (źródło: opracowanie własne)	182
Tabela 56 Lista kontrolna „mitygacja”; D – ogranicza dotkliwość; P – ogranicza prawdopodobieństwo (źródło: opracowanie własne).....	188
Tabela 57 Przykład mapy ryzyka (źródło: opracowanie własne).....	190
Tabela 58 Doprecyzowanie wskaźnika dot. rozlewisk paliwa (źródło: opracowanie własne).	193
Tabela 59 Przykładowe nowe wskaźniki bezpieczeństwa dla Lotniska Chopina w Warszawie (źródło: opracowanie własne).	194
Tabela 60 Opis kluczowych funkcji procesu zarządzania ryzykiem Lotniska Chopina w Warszawie z uwzględnieniem opracowanej metody (źródło: opracowanie własne).	197
Tabela 61 Możliwy wpływ na <F8 Wybrać metodę> (źródło: opracowanie własne).....	202
Tabela 62 Możliwy wpływ na <F9 Zidentyfikować zagrożenia> (źródło: opracowanie własne).	203
Tabela 63 Możliwy wpływ na < F10 Ocena ryzyka przed mitygacją> (źródło: opracowanie własne).	203

Tabela 64	Możliwy wpływ na <F11 Akceptacja ryzyka przed mitygacją> (źródło: opracowanie własne).	204
Tabela 65	Możliwy wpływ na <F12 Ustalenie mitygacji> (źródło: opracowanie własne)....	204
Tabela 66	Możliwy wpływ na <F13 Ocena ryzyka rezydualnego> (źródło: opracowanie własne).	205
Tabela 67	Możliwy wpływ na <F14 Akceptacja ryzyka rezydualnego> (źródło: opracowanie własne).	205
Tabela 68	Ocena ekspercka opracowanej metody (źródło: opracowanie własne).	206