POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ INŻYNIERII TRANSPORTU

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Emil AUGUSTYN

ZARZĄDZANIE RYZYKIEM ZAGROŻEŃ W SYSTEMIE UŻYTKOWANIA SAMOLOTÓW LOTNICTWA TAKTYCZNEGO SIŁ POWIETRZNYCH

Promotor: dr hab. inż. Adam KADZIŃSKI

Promotor pomocniczy: dr inż. Piotr SMOCZYŃSKI

Poznań 2019

Recenzenci rozprawy powołani przez Radę Wydziału Inżynierii Transportu Politechniki Poznańskiej:

gen. dyw. pil. dr hab. inż. Leszek CWOJDZIŃSKI
płk dr hab. inż. Mariusz ZIEJA, prof. ITWL

Opracowanie komputerowe:

mgr inż. Emil AUGUSTYN

SPIS TREŚCI

STRESZCZENIA 5

WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ 11

1. WSTĘP 15

2. LOTNICTWO TAKTYCZNE SIŁ POWIETRZNYCH 19
2.1. Wprowadzenie 19
2.2. System lotnictwa taktycznego sił powietrznych 19
2.3. Metamodel systemu lotnictwa taktycznego 25

3. PROBLEMATYKA BADAWCZA ROZPRAWY 29
3.1. Geneza problematyki badawczej 29
3.2. Przegląd obecnego stanu wiedzy 32
3.2.1. Inżynieria bezpieczeństwa 32
3.2.2. Systemy zarządzania bezpieczeństwem 37
3.2.3. Zarządzanie ryzykiem zagrożeń w lotnictwie 48
3.3. Wskazanie luki badawczej 56
3.4. Cele i zakres rozprawy 59

4. SYSTEM UŻYTKOWANIA SAMOLOTÓW LOTNICTWA TAKTYCZNEGO JAKO ZAGREGOWANA DOMENA ZARZĄDZANIA RYZYKIEM ZAGROŻEŃ 63
4.1. Wprowadzenie 63
4.2. Eksploatacja samolotów jako obiektów technicznych 64
4.3. Cykle czynności lotniczych pilotów lotnictwa taktycznego 65
4.4. Model systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego 71
4.4.1. Format zagregowanej domeny analiz 71
4.4.2. Przygotowania do misji lotniczej 74
4.4.3. Przed startem 75
4.4.4. Odlot 76
4.4.5. Zadanie lotnicze 77
4.4.6. Przylot 79
4.4.7. Po lądowaniu 81
4.4.8. Podsumowania misji lotniczej 82

5. ELEMENTY SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA W SYSTEMIE UŻYTKOWANIA SAMOLOTÓW LOTNICTWA TAKTYCZNEGO 83
5.1. Wprowadzenie 83
5.2. Kategorie elementów systemów bezpieczeństwa w SUżSLT 84
5.3. Wybrane elementy systemu bezpieczeństwa samolotu Su-22M4 86
5.4. Zapis formalny wybranych elementów systemu bezpieczeństwa samolotu Su-22M4 94

6. IDENTYFIKACJA ZAGROŻEŃ W SYSTEMIE UŻYTKOWANIA SAMOLOTÓW LOTNICTWA TAKTYCZNEGO 99
6.1. Wprowadzenie 99
6.2. Zastosowanie arkusza HIM do identyfikacji zagrożeń w domenie zadanie lotnicze 100
6.2.1. Charakterystyka Zakresu 1 arkusza HIM 103
6.2.2. Implementacja metody „6M" w ramach Zakresu 2 arkusza HIM 104
6.2.3. Charakterystyka Zakresu 3 arkusza HIM 106
6.3. Karty charakterystyki wybranych zagrożeń generowanych w domenie zadanie lotnicze 108
7. MODEL RYZYKA I JEGO ZASTOSOWANIE 111
7.1. Wprowadzenie 111
7.2. Uogólniony model ryzyka zagrożeń 111
7.3. Model ryzyka zagrożeń dedykowany domenom analiz SUżSLT 113
7.4. Ocena ryzyka zagrożeń generowanych w domenie zadanie lotnicze 122
7.5. Reagowanie na ryzyko zagrożeń generowanych w domenie zadanie lotnicze 127
8. ZAKOŃCZENIE 137
8.1. Podsumowanie rozprawy 137
8.2. Uwagi i wnioski końcowe 139
8.3. Propozycje obszarów dalszych badań 141
LITERATURA 143
ZAŁĄCZNIKI 169
ZAŁĄCZNIK Z1 – Baza pojęć rozprawy
ZAŁĄCZNIK Z2 – Charakterystyka modelu uogólnionego systemu technicznego
ZAŁĄCZNIK Z3 – Rysunki i tabele do rozdziału 3. rozprawy (płyta CD)
ZAŁĄCZNIK Z4 – Arkusz identyfikacji zagrożeń HIM (*Hazard Identification Model*). Plik *Arkusz_HIM.xlsx* przygotowany w programie MS Excel (płyta CD)
ZAŁĄCZNIK Z5 – Karty charakterystyki zagrożeń zidentyfikowanych w domenie zadanie lotnicze (D4) systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4
ZAŁĄCZNIK Z6 – Karta informacji o ryzyku zagrożeń

ZARZĄDZANIE RYZYKIEM ZAGROŻEŃ W SYSTEMIE UŻYTKOWANIA SAMOLOTÓW LOTNICTWA TAKTYCZNEGO SIŁ POWIETRZNYCH

Streszczenie

Problematyka badawcza rozprawy dotyczy zarządzania ryzykiem zagrożeń w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego sił powietrznych i jest realizowana z wykorzystaniem metodologii systemowej na przykładzie lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych RP.

W pierwszej części rozprawy zostaje omówiona problematyka badawcza. Na tle wyników przeglądu aktualnego stanu wiedzy, wskazana zostaje luka badawcza oraz cele i zakres rozprawy. Pierwsza część rozprawy zawiera kompleksową charakterystykę lotnictwa taktycznego jako uogólnionego obszaru analiz.

W drugiej części rozprawy z systemu lotnictwa taktycznego wydzielony zostaje system użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego jako zagregowana domena analiz do zarządzania ryzykiem zagrożeń. Jedna z jej składowych, a mianowicie domena analiz zadanie lotnicze staje się przedmiotem szczegółowych badań w ramach kolejnych procesów wchodzących w skład schematu procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń.

Trzecia część rozprawy dotyczy elementów systemów bezpieczeństwa funkcjonujących w lotnictwie taktycznym. Przedstawiona zostaje ich klasyfikacja oraz model formalnego zapisu. Rozważania prowadzone są na przykładzie elementów systemu bezpieczeństwa związanych z samolotem Su-22M4 i istotnych z punktu widzenia realizacji zadań lotniczych.

Czwarta część rozprawy została poświęcona procesowi identyfikacji zagrożeń. Z wykorzystaniem arkusza identyfikacji zagrożeń (HIM) przeprowadzona zostaje identyfikacja zagrożeń generowanych w domenie zadanie lotnicze systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4. W arkuszu HIM zastosowano metodę „6M" rozpoznawania źródeł zagrożeń, w której to znaną metodę „5M" rozszerzono o klasę związaną z elementami systemów bezpieczeństwa.

W piątej części rozprawy, na podstawie uogólnionego modelu ryzyka, opracowano autorski model ryzyka przewidziany do zastosowań w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. Zastosowanie modelu ryzyka zostaje przedstawione na przykładzie oceny ryzyka zagrożeń generowanych w domenie zadanie lotnicze systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4. W tej części rozprawy zostają również zaprezentowana przykładowe procedury procesu reagowania na ryzyko zagrożeń.

W ramach wszystkich części rozprawy uporządkowany zostaje aparat pojęciowy związany z lotnictwem taktycznym ogólnie, ale i także ten dotyczący zarządzania ryzykiem zagrożeń generowanych w rozważanym obszarze analiz.

RISK MANAGEMENT IN THE TACTICAL AIRCRAFT OPERATING SYSTEM OF THE AIR FORCE

Summary

The research conducted within the dissertation concern the hazards risk management processes in the tactical aircraft operating system of the air force. The following considerations are based on the systems methodology and an example of the Polish Tactical Ai Force.

In the first part of the dissertation, the research issue is discussed. As a result of wide literature analysis the research gap, desired objectives and scope of the dissertation are indicated. The first part also includes the complex description of the tactical air force that constitutes a generalized area of interests.

In the second part of the dissertation the tactical aircraft operating system, as a component system of the tactical air force system, is presented in an innovative form of an aggregated analysis domain for hazards risk management processes. One of its component domains – namely the air task domain – constitutes the subject of further detailed research within the subsequent processes that are included in the scheme of risk management processes.

Third part of the dissertation concerns the safety systems components that are functioning in the tactical air force. Their classification and model of formal notation are presented. The following considerations are conducted on the basis of examples of safety system components that are installed in the Su-22M4 fighter-bomber aircraft and they are essential from the air task execution point of view.

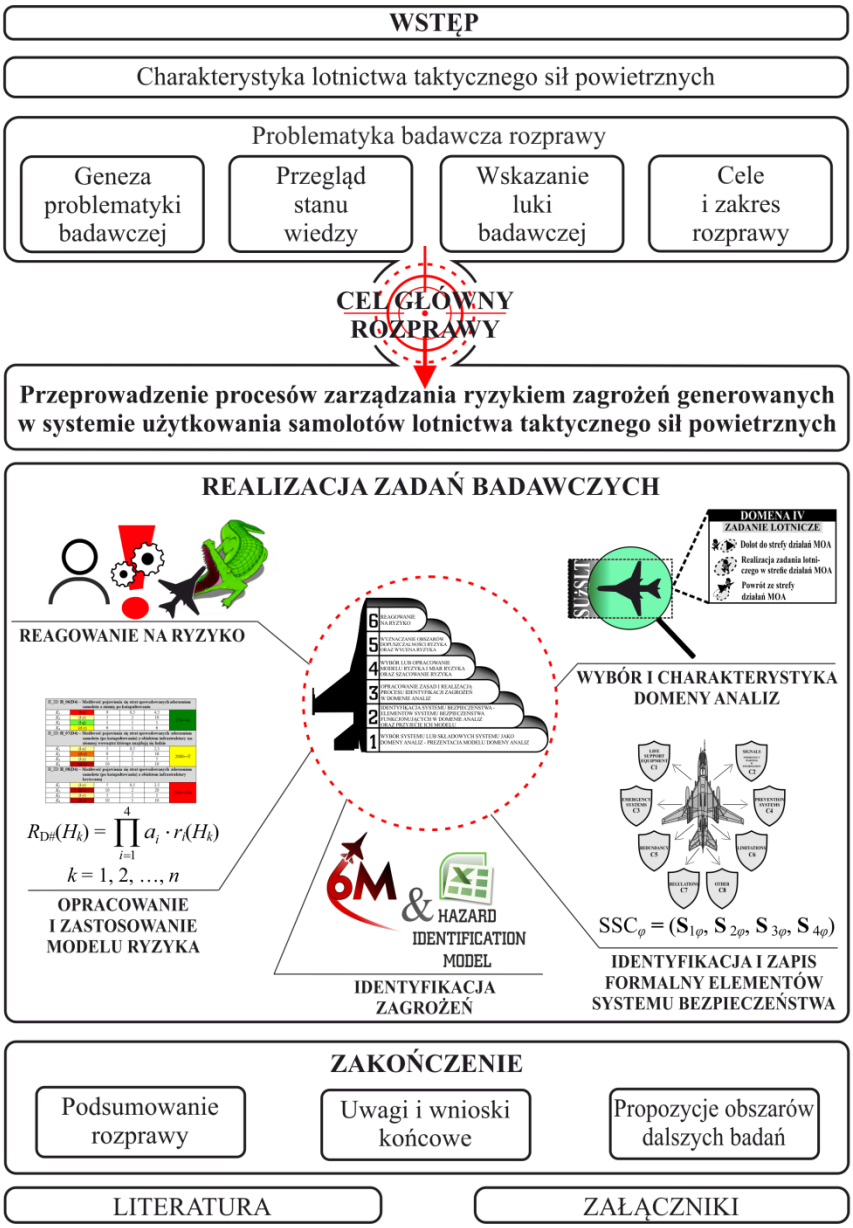
Within the fourth part of the dissertation the hazards identification process is described. With using the spreadsheet of Hazard Identification Model (HIM) the hazard identification process is carried out in the air task domain of the Su-22M4 tactical aircraft operating system. Within the HIM spreadsheet new "6M" method of hazard sources recognition is implemented. The "6M" method constitutes the extended version of the commonly known "5M" method that additionally includes sixth class of elements named "Multisafety" which concerns safety systems components.

In the fifth part of the dissertation, based on a generalized risk model, an original risk model dedicated to use in the tactical aircraft operating system, was developed. The application of the original risk model is presented on the example of hazards risk assessment in the air task domain of the Su-22M4 tactical aircraft operating system. This part also contains examples of two procedures of the process of reacting to the risk of hazards.

Within all the parts of the dissertation, the nomenclature related to tactical air force and risk management in the considered area of interests, is also sorted out.

ZARZĄDZANIE RYZYKIEM ZAGROŻEŃ W SYSTEMIE UŻYTKOWANIA SAMOLOTÓW LOTNICTWA TAKTYCZNEGO SIŁ POWIETRZNYCH

Streszczenie graficzne



WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

5M	–	metoda wykorzystywana w procesie identyfikowania i klasyfikowania źródeł zagrożeń: M-*Man* (człowiek), M-*Media* (środowisko), M-*Machine* (technika), M-*Management* (zarządzanie), M-*Mission* (zadanie)
6M	–	metoda „5M" rozszerzona o szóstą klasę elementów obszaru analiz – M-*Multisafety* (elementy systemu bezpieczeństwa)
AE	–	*Adverse Event* – zdarzenie niepożądane
AGL	–	*Above Ground Level* – nad poziomem terenu
APE	–	*Assessed Proportion of Effect* – współczynnik ważności względnej współczynnika korygującego stosowanego w metodzie HEART
ATC	–	*Air Traffic Control* – kontrola ruchu lotniczego
ATCO	–	*Air Traffic Control Officer* – kontroler ruchu lotniczego
AZR	–	arkusz zarządzania ryzykiem
BHIP	–	*Backward Hazard Identification Process* – proces identyfikacji zagrożeń wstecz
BL	–	bezpieczeństwo lotów
BLT	–	baza lotnictwa taktycznego
CCLP	–	cykl czynności lotniczych pilota
CLEF	–	*Clear the area, Loose items stowed, Engine, Fuel balance*
CRM	–	*Crew Resource Management* – zarządzenie zasobami w załodze
DG RSZ	–	Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych
DSO	–	deficyt skuteczności oddziaływania (elementów systemów bezpieczeństwa)
ELT	–	eskadra lotnictwa taktycznego
EO	–	eskadra obsługi
EPC	–	*Error-Producing Condition* – współczynnik korygujący stosowany w metodzie HEART
ET	–	eskadra techniczna
FENCE	–	*Fuel, Engine, Navaids, Communications, Equipment* lub *Fire control, Emitters, Navaids, Communications, Electronic countermeasures*
FHIP	–	*Forward Hazard Identification Process* – proces identyfikacji zagrożeń w przód
FMEA	–	*Failure Modes and Effect Analysis* – analiza skutków i rodzajów uszkodzeń
GDL	–	grupa działań lotniczych

GOT	–	grupa obsługi technicznej
GTT	–	*generic task type* – typowe zadania zdefiniowane w metodzie HEART
H	–	*Hazard – zagrożenie*
HEART	–	*Human Error Assessment and Reduction Technique* – metoda oceny i redukcji ryzyka błędu ludzkiego
HEP	–	*Human Error Probability* – prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka
HIM	–	*Hazard Identification Model* – model identyfikacji zagrożeń
HRA	–	*Human Reliability Analysis* – analiza błędów ludzkich
HRO	–	*High Reliability Organization* – organizacja o wysokiej niezawodności
HS	–	*Hazard Source* – źródło zagrożenia
ICAO	–	*International Civil Aviation Organization* – Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego
IF	–	*Impact Factor* – współczynnik wpływu *i*-tego czynnika mającego wpływ na działanie człowieka stosowany w metodzie HEART
IFR	–	*Instrument Flight Rules* – przepisy wykonywania lotów według wskazań przyrządów
IMON ds. BL	–	Inspektorat Ministerstwa Obrony Narodowej do spraw Bezpieczeństwa Lotów
IMC	–	*Instrument Meteorological Conditions* – warunki meteorologiczne dla lotów według wskazań przyrządów
KSR	–	karta szacowania ryzyka
ML	–	misja lotnicza
MOA	–	*Military Operations Area*
MRM	–	*Maintenance Risk Management* – zarządzanie ryzykiem w systemie utrzymania
(M)ATZ	–	*(Military) Air Traffic Zone* – (wojskowa) strefa ruchu lotniskowego
(M)CTR	–	*(Military) Control Zone* – (wojskowa) strefa kontrolowana lotniska
MON	–	Ministerstwo Obrony Narodowej
MSLTkt	–	model systemu lotnictwa taktycznego
(M)TMA	–	*(Military) Terminal Control Area* – (wojskowy) rejon kontrolowany lotniska
MZR	–	Metodyka Zarządzania Ryzykiem
NATO	–	*North Atlantic Treaty Organization* – Organizacja Paktu Północnoatlantyckiego

NHEP	–	*Nominal HEP* – nominalna wartość prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez człowieka stosowana w metodzie HEART
P1	–	wstępne przygotowanie do misji lotniczej
P2	–	bezpośrednie przygotowanie do misji lotniczej
PZR	–	Poradnik. Podstawy zarządzania ryzykiem w lotnictwie
RE	–	*Resilience Engineering* – inżynieria odporności
RRM	–	*Risk Reduction Measure* – środek redukcji ryzyka
S1	–	podsumowanie bieżące
S2	–	podsumowanie organizacyjno-specjalistyczne
S3	–	podsumowanie organizacji lotów i szkolenia lotniczego
SBN	–	System Bezpieczeństwa Narodowego
SBL	–	system bezpieczeństwa lotów
SCCLP	–	seria cykli czynności lotniczych pilotów
SESLT	–	system eksploatacji samolotów lotnictwa taktycznego
SID	–	*Standard Instrument Departure* – standardowy odlot wg wskazań przyrządów
SIL	–	służba inżynieryjno-lotnicza
SLTkt	–	system lotnictwa taktycznego
SLT	–	skrzydło lotnictwa taktycznego
SMM	–	*Safety Management Manual* – Podręcznik zarządzania bezpieczeństwem
SMS	–	*Safety Management System* – system zarządzania bezpieczeństwem
SRK	–	*skill-rules-knoweledge* – elementy teorii Rasmussena
SSC	–	*Safety System Component* – element systemu bezpieczeństwa
SUtSLT	–	system utrzymania samolotów lotnictwa taktycznego
SUżSLT	–	system użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego
SP RP	–	Siły Powietrzne Rzeczypospolitej Polskiej
STAR	–	*Standard Instrument Arrival* – standardowy dolot wg wskazań przyrządów
SZ RP	–	Siły Zbrojne Rzeczypospolitej Polskiej
UST	–	uogólniony system techniczny
VFR	–	*Visual Flight Rules* – przepisy wykonywania lotów z widocznością
VMC	–	*Visual Meteorological Conditions* – warunki meteorologiczne dla lotów z widocznością
ZIB	–	zbiór informacji bieżących
ZDA	–	zagregowana domena analiz
ZL	–	zadanie lotnicze

1. WSTĘP

Podejście systemowe lub tak zwana metodologia systemowa [49, 232, 374] stanowi jedną z możliwości prowadzenia badań naukowych przyrody, człowieka czy też techniki. Nieodzownie wiąże się to z pojęciem systemu [49] oraz pojęciami innych bytów [53] do wyróżnienia pewnych obiektów i zjawisk w zbiorze innych obiektów. Zasadniczą cechą systemu jako bytu jest to, iż przejawia on swoje istnienie przez synergiczne współdziałanie elementów składowych. Człowiek zdając sobie sprawę ze wspólnoty struktur oraz procesów występujących zarówno w naturze jak i technice, zaczął dostrzegać coraz szerszą potrzebę uprawiania ogólnej teorii systemów [33, 41], a także jej możliwości zastosowania w inżynierii systemów [49, 232, 291, 315, 374].

Termin inżynieria systemów, pojawił się stosunkowo niedawno. Z początkiem lat 70-tych XX w. dostrzeżono, że sztuka konstytuowania systemów różni się na tyle znacząco od konwencjonalnego konstytuowania obiektów, że wymaga dedykowanej nazwy. W stosunku do tradycyjnej inżynierii – inżynieria systemów wyróżnia obiekt i przedmiot rozważań oraz właściwy im specyficzny sposób podejścia. Obiektem tym jest złożony system powiązany z otoczeniem, a nie wyizolowany obiekt. Jednakże elementami takiego systemu są zazwyczaj grupy pojedynczych obiektów, synergicznie ze sobą powiązanych i charakterystycznych dla określonej domeny analiz. Przedmiotem rozważań jest zaś kształtowanie różnorodnych powiązań, przede wszystkim w samym systemie, ale i również pomiędzy systemem, a otoczeniem [291].

W ostatnich dekadach obserwuje się szerokie rozpowszechnianie podejścia systemowego praktycznie we wszystkich dziedzinach ludzkiej aktywności, co niewątpliwie świadczy o przystępności i uniwersalności holistycznego patrzenia na świat. Pierwsze systemy biorą swe początki w przyrodzie, lecz wraz z rozwojem człowieka zaczęto tworzyć/konfigurować inne złożone systemy – zwłaszcza systemy sztuczne (*man-made systems*), takie jak np. systemy techniczne [372].

System techniczny to stworzony przez człowieka i realnie istniejący zbiór komponentów, obiektów technicznych, a nawet systemów obiektów technicznych stanowiących współzależną całość [188, 232, 254]. Element charakterystyczny jak i wiodący takiego systemu stanowią obiekty techniczne, co wynika z zastosowania podejścia obiektowego w stosunku do wybranej domeny analiz.

Postęp nauki i technologii doprowadził do wprost wymarzonej sytuacji, że potencjał człowieka do powoływania nowych systemów wydaje się wprost niezmierzony. Proces projektowania jest realizowany z wykorzystaniem inżynierii systemów, która syntezuje całą dostępną wiedzę zarówno z zakresu ogólnej teorii systemów jak i wybranej domeny analiz [13]. W efekcie kreatywnego myślenia pozwala to uzyskać pożądany produkt – system.

Dobrze rozpoznany i opisany system to fundament prowadzenia analiz, zwłaszcza jeśli chodzi o analizę ryzyka zagrożeń generowanych w tym systemie.

W środowisku lotnictwa taktycznego sił powietrznych rzadko używa się określenia „system lotnictwa taktycznego". Zwykle operuje się po prostu określeniem „lotnictwo taktyczne". A przecież jest to bardzo skomplikowany i rozbudowany byt militarny. Dlatego podjęto próby przedstawienia tego bytu w postaci modelu systemu lotnictwa taktycznego [14, 15]. W modelu systemu lotnictwa taktycznego zastosowano pewne uproszczenia, natomiast w trakcie rozważań przyjęta koncepcja modelowania ewoluowała dając efekt w postaci metamodelu systemu lotnictwa taktycznego. Okazało się bowiem, iż poszczególne składowe systemu dają się przedstawić w postaci kolejnych modeli systemów składowych. Zasadność powstania koncepcji metamodelu systemu lotnictwa taktycznego została potwierdzona m.in. w pracy Szramy [349], który wykorzystując omawiany metamodel wybrał system utrzymania samolotów lotnictwa taktycznego jako obszar dalszych analiz w zakresie zarządzania ryzykiem zagrożeń. Kolejnym z systemów składowych metamodelu systemu lotnictwa taktycznego jest system użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego, który funkcjonuje równolegle z systemem utrzymania samolotów lotnictwa taktycznego na trzecim poziomie dekompozycji metamodelu systemu lotnictwa taktycznego. System użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego sił powietrznych stanowi obszar dalszych rozważań niniejszej rozprawy.

Zarządzanie ryzykiem zagrożeń generowanych w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego sił powietrznych to szerokie zagadnienie. W lotnictwie wojskowym RP funkcjonują dokumenty [97, 98], które regulują kwestie związane z zarządzaniem ryzykiem zagrożeń m.in. w lotnictwie taktycznym sił powietrznych. Jednak niebawem minie dekada od ich wprowadzenia, natomiast nie dokonano w nich żadnych istotnych aktualizacji, podczas gdy dokonał się ogromny postęp zarówno w dziedzinie zarządzania ryzykiem zagrożeń jak i w dziedzinie rozwoju lotnictwa. Ponadto wraz z postępującym wiekiem samolotów użytkowanych w lotnictwie taktycznym sił powietrznych, pojawiły się także nowe źródła zagrożeń. Przykładem tego, iż w lotnictwie (ogólnie) niezbędne są aktualizacje dokumentów dotyczących zarządzania ryzykiem zagrożeń niech będzie Podręcznik Zarządzania Bezpieczeństwem wydawany przez ICAO (SMM – *Safety Management Manual* [169]), którego to już czwarte wydanie zostało opublikowane w 2018 roku, po niespełna pięciu latach od publikacji wydania trzeciego. Tematyka niniejszej rozprawy wychodzi na przeciw potrzebom wprowadzenia aktualizacji treści zawartych w dokumentach [97, 98] dotyczących zarządzania ryzykiem w lotnictwie wojskowym RP.

Podejmowana tematyka wpisuje się w pełni w rozwój zawodowy autora niniejszej rozprawy. Kilkuletnie doświadczenie i wnikliwe obserwacje systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego stały się zaczynem „nowego" spojrzenia na system lotnictwa taktycznego, system użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego, a także na zagadnienia związane z zarządzaniem ryzy-

kiem zagrożeń generowanych w rozważanym obszarze zainteresowań. Dostrzeżono, iż kwestie związane z zarządzaniem ryzykiem zagrożeń traktowane są przez część personelu latającego jak przysłowiowa „kula u nogi". W natłoku obowiązków związanych z przygotowaniami pilota do misji lotniczej kwestie związane z oceną ryzyka zazwyczaj spychane są na boczny plan. Rodzi to potrzebę zwiększenia świadomości pilotów w tym zakresie, zachęcenia do głębszej refleksji nad tymi zagadnieniami poprzez wprowadzenie bardziej przystępnych i atrakcyjniejszych procesów w ramach metody zarządzania ryzykiem. Jest to niewątpliwie wyzwanie dla dobrze przygotowanego zespołu ludzi o wysokim poziomie przygotowania merytorycznego oraz dużym lotniczym doświadczeniu.

Autor niniejszej rozprawy przeprowadza przede wszystkim gruntowny przegląd definicji podstawowych pojęć związanych zarówno z lotnictwem taktycznym ogólnie jak i zarządzaniem ryzykiem zagrożeń w lotnictwie taktycznym. Szczególna uwaga zostaje zwrócona na takie pojęcia jak: misja lotnicza, zadanie lotnicze, lot, zagrożenie, ryzyko zagrożenia, element systemu bezpieczeństwa. Przeprowadzono dokładną charakterystykę systemu lotnictwa taktycznego oraz systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. Wiele uwagi poświęcono elementom systemów bezpieczeństwa samolotów lotnictwa taktycznego, które jako środki redukcji ryzyka pełnią różne funkcje bezpieczeństwa oddziałując na źródła zagrożeń. W efekcie prowadzonych rozważań dotyczących elementów systemów bezpieczeństwa, opracowano model formalnego zapisu elementów systemów bezpieczeństwa stosowanych w samolotach lotnictwa taktycznego. Jednak zasadniczą część niniejszej rozprawy stanowią rozdziały dotyczące identyfikacji zagrożeń, modelu ryzyka oraz oceny ryzyka zagrożeń generowanych w jednej z domen systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. Ze względu na to iż sporo uwagi poświęca się elementom systemów bezpieczeństwa, autor niniejszej rozprawy rozpoznaje źródła zagrożeń w ramach sześciu, a nie pięciu klas elementów obszaru analiz, jak to aktualnie ma miejsce w lotnictwie taktycznym sił powietrznych, gdzie wykorzystuje się metodę „5M". Szósta klasa elementów obszaru analiz jako rozwinięcie metody „5M" została określona mianem *Multisafety***,** co stanowi skrót myślowy do elementów systemów bezpieczeństwa, których coraz więcej pojawia się we współczesnych obiektach technicznych takich jak właśnie samoloty wojskowe.

Przewiduje się iż treści zawarte w niniejszej rozprawie mogą posłużyć jako podstawa do dalszych rozważań w ramach systemu lotnictwa taktycznego sił powietrznych, a w tym także w ramach składowych metamodelu tego systemu. Za wartość dodaną rozprawy należy uznać uporządkowanie aparatu pojęciowego związanego z lotnictwem taktycznym, a także lotnictwem wojskowym ogólnie. Natomiast zaproponowana metoda identyfikacji zagrożeń oraz model ryzyka mogą posłużyć jako matryce do analiz ryzyka w innych obszarach zainteresowań.

2. LOTNICTWO TAKTYCZNE SIŁ POWIETRZNYCH

2.1. Wprowadzenie

Obiekty techniczne takie jak np. samochody, pociągi, samoloty itp., na całym świecie działają w zróżnicowanych środowiskach technicznych i skonfigurowanych na bazie wielu systemów, obiektów oraz komponentów, które mają lub powinny ze sobą synergicznie współdziałać. Każdy system, a tym bardziej system techniczny charakteryzuje się pewną strukturą, którą można poddać dekompozycji. Przyjęcie systemowego podejścia do budowy wybranego obiektu pozwala na jego dekompozycję do dowolnego poziomu, bądź zakwalifikowanie go jako jednego z elementów (systemów) wyższego poziomu dekompozycji. Liczba stopni dekompozycji zależy zwykle od założeń i złożoności przeprowadzanych badań w wybranej domenie analiz.

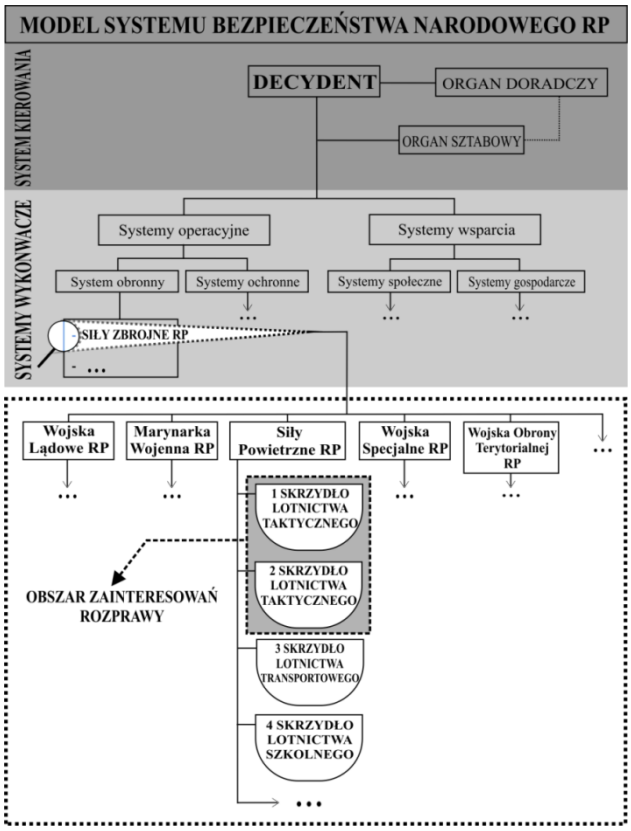
Na podstawie analizy literatury [188, 254, 291] w zakresie problematyki systemów eksploatacji obiektów technicznych oraz zasad organizacji i funkcjonowania tych systemów, w pracy [13] zaprezentowano model uogólnionego systemu technicznego – UST (załącznik Z2). Model ten zastępuje oryginały istniejących już np. w transporcie systemów technicznych i stanowi przyjętą formę ich reprezentacji wykorzystywaną do prezentowania i wyjaśniania zachowania się oryginału w sposób adekwatny do rozważanej domeny analiz.

Główny cel rozdziału stanowi charakterystyka lotnictwa taktycznego sił powietrznych z wykorzystaniem metamodelu systemu lotnictwa taktycznego sił powietrznych, który został opracowany na podstawie modelu uogólnionego systemu technicznego. Autor na przykładzie lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych RP charakteryzuje ten rodzaj lotnictwa wojskowego. Główna uwaga zostaje jednak skupiona na trzecim poziomie dekompozycji metamodelu systemu lotnictwa taktycznego sił powietrznych, który dotyczy m.in. systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego.

2.2. System lotnictwa taktycznego sił powietrznych

Lotnictwo taktyczne to rodzaj lotnictwa wojskowego przeznaczony do prowadzenia taktycznych operacji powietrznych na poziomie taktycznym tzn. na poziomie, na którym planuje się i prowadzi bitwy oraz inne działania dla osiągnięcia celów wojskowych jakie zostały przydzielone siłom taktycznym [14, 134, 272]. Poszczególne elementy składowe lotnictwa taktycznego niewątpliwie tworzą razem system. Dalsze rozważania dotyczące lotnictwa taktycznego jako systemu bazują na przykładzie lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych Rzeczypospolitej Polskiej (Sił Powietrznych RP / SP RP). Natomiast System Bezpieczeństwa Narodowego Rzeczypospolitej Polskiej (SBN RP – rys. 2.1) oraz System Lotnictwa Rzeczypospolitej Polskiej (SL RP – rys. 2.2) prezentują usytuow-

anie lotnictwa taktycznego SP RP jako obiektu w strukturach większych, bardziej ogólnych systemów.



Rysunek 2.1. Strukturalno-organizacyjne usytuowanie lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych Rzeczypospolitej Polskiej w Systemie Bezpieczeństwa Narodowego Rzeczypospolitej Polskiej [14]

Strategia Bezpieczeństwa Narodowego Rzeczypospolitej Polskiej [37], odpowiednio definiuje SBN RP oraz szczegółowo prezentuje jego strukturę, którą tworzą system[1] kierowania i systemy wykonawcze (rys. 2.1). Ze względu na rozważania dotyczące lotnictwa taktycznego SP RP należy przede wszystkim poddać analizie systemy wykonawcze SBN RP. Dzielą się one na systemy operacyjne (obronny i ochronne) oraz wsparcia (społeczne i gospodarcze). System

[1] W nomenklaturze Strategii Bezpieczeństwa Narodowego Rzeczypospolitej Polskiej stosowane jest określenie *podsystemu*. Autor ze względu na jednolitość pojęciową przyjmują w całej pracy technikę umieszczania systemów w systemach.

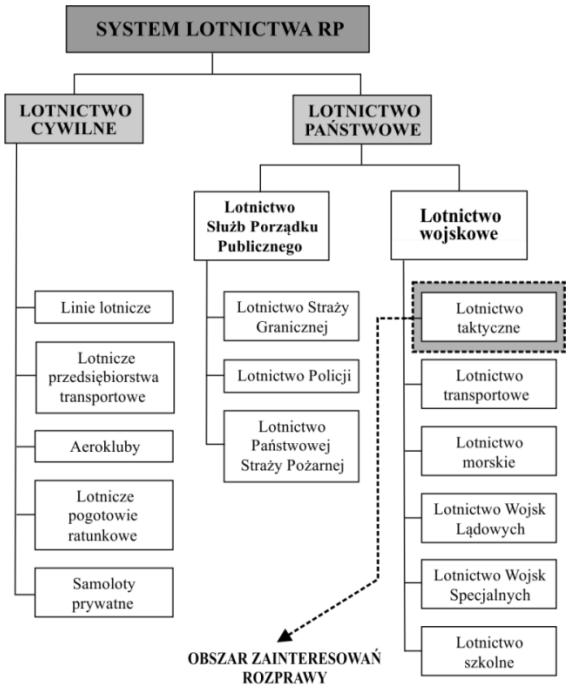
obronny tworzą Siły Zbrojne Rzeczypospolitej Polskiej (SZ RP), jako zasadniczy element wykonawczy, przeznaczony do skutecznej realizacji polityki bezpieczeństwa państwa. W skład SZ RP (rys. 2.1) wchodzą jako ich rodzaje: Wojska Lądowe RP, Siły Powietrzne RP, Marynarka Wojenna RP, Wojska Specjalne RP oraz Wojska Obrony Terytorialnej RP [247, 369].

Siły Powietrzne RP są rodzajem SZ RP przeznaczonym głównie do obrony przestrzeni powietrznej kraju. Występują w strukturze SBN RP i w czasie pokoju funkcjonują operacyjnie w ramach Systemu Obrony Powietrznej Rzeczypospolitej Polskiej [164, 248] oraz w NATINAMDS (*NATO Integrated Air and Missile Defence System*) [271]. Siły Powietrzne RP składają się z następujących rodzajów wojsk: lotniczych, obrony przeciwlotniczej, radiotechnicznych. Ponadto w skład SP RP wchodzą jednostki wsparcia i zabezpieczenia oraz szkolnictwa wojskowego. Zasadniczy potencjał SP RP stanowią (rys. 2.1) jednak skrzydła lotnictwa taktycznego, skrzydło lotnictwa transportowego oraz brygady rakietowe obrony powietrznej i brygada radiotechniczna [134].

Inną drogą do zlokalizowania lotnictwa taktycznego SP RP jest analiza SL RP (rys. 2.2), w którego skład wchodzi zarówno lotnictwo cywilne jak i lotnictwo państwowe [370]. W lotnictwie państwowym wyróżnia się m.in. lotnictwo wojskowe. Lotnictwo wojskowe zostało podzielone pod względem funkcjonalnym oraz w zależności od przeznaczenia eksploatowanych statków powietrznych na kilka rodzajów, wśród których wyodrębniono m.in. lotnictwo taktyczne (rys. 2.2).

Lotnictwo taktyczne SP RP to funkcjonalnie (rys. 2.2) rodzaj lotnictwa wojskowego poziomu (szczebla) taktycznego w ramach którego w Polsce funkcjonują samoloty lotnictwa taktycznego tj. myśliwskie, myśliwsko-bombowe oraz myśliwce wielozadaniowe [283]. Zgodnie ze swym przeznaczeniem w przypadku realnych działań wojennych prowadzą one działania taktyczne. Strukturalnie (rys. 2.1) lotnictwo taktyczne SP RP jest zorganizowane w związki taktyczne [99] w postaci skrzydeł lotnictwa taktycznego (SLT) [14]. Skrzydła lotnictwa taktycznego stanowią organy dowodzenia poziomu (szczebla) taktycznego SP RP. W Polsce funkcjonują dwa SLT wraz z podległymi jednostkami [185, 295] (rys. 2.3).

Dowództwa SLT sprawują funkcje dowodzenia i zarządzania podległymi jednostkami wojskowymi (JW) [369] w procesie ich wszechstronnego przygotowania do realizacji zadań w okresie pokoju, kryzysu i wojny. Skrzydła lotnictwa taktycznego odpowiadają za proces szkolenia programowego w podległych jednostkach lotniczych [90], zabezpieczenie i uzupełnienie logistyczne oraz mobilizację. Dowództwo SLT w czasie realnych działań bojowych jest wyłączone z łańcucha dowodzenia operacyjnego i spełnia funkcje wspierające [134].



Rysunek 2.2. Funkcjonalne usytuowanie lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych Rzeczypospolitej Polskiej w Systemie Lotnictwa Rzeczypospolitej Polskiej [245]

Skrzydłom lotnictwa taktycznego, podlegają bazy lotnictwa taktycznego (BLT – rys. 2.3) [14]. Bazy lotnictwa taktycznego są jednostkami lotniczymi poziomu (szczebla) taktycznego przeznaczonymi głównie do realizacji zadań w ramach SBN RP, a także jednocześnie pełnią funkcje organów logistycznych SP RP. Prowadzą również działania związane z realizacją zabezpieczenia szkolenia głównie personelu latającego [90] w grupach działań lotniczych (GDL) oraz personelu służby inżynieryjno-lotniczej (SIL) [91] w grupach obsługi technicznej (GOT). W strukturze organizacyjnej BLT przede wszystkim wyróżnia się cztery podstawowe elementy: sztab, grupę działań lotniczych, grupę obsługi technicznej oraz grupę wsparcia [134, 294].

Grupa działań lotniczych [14] odpowiada za realizację procesu szkolenia lotniczego personelu latającego w podległych im eskadrach lotnictwa taktycznego (ELT) [380]. Eskadry lotnictwa taktycznego realizują zadania lotnicze [16] podczas lotów [246] wykonywanych w ramach misji lotniczych [16] zgodnie z operacyjnym przeznaczeniem jednostki lotniczej – BLT. Ogólnie GDL zajmuje się użytkowaniem sprzętu lotniczego [91] zgodnie z jego przeznaczeniem.



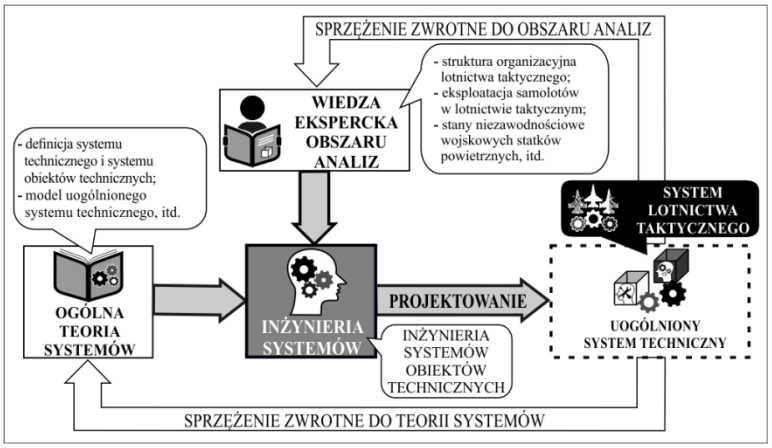
Rysunek 2.3. Rozmieszczenie baz lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych Rzeczypospolitej Polskiej. Opracowanie własne na podstawie [283]

Grupa obsługi technicznej [14] zajmuje się utrzymaniem sprzętu lotniczego, wykonując na nim prace obsługowe, naprawcze i remontowe, zabezpieczając tym samym proces szkolenia lotniczego i działalność bojową ELT, a także szkoleniem personelu SIL. Realizacją zadań w BLT przewidzianych dla GOT zajmują się podległe tej komórce organizacyjnej eskadry techniczne (ET) oraz eskadry obsługi (EO) [91, 134, 294].

Ogólnie eskadry zazwyczaj dzielą się jeszcze na mniejsze elementy – nazywane kluczami [294]. Ze względów praktycznych w dalszych rozważaniach przyjmuje się, że eskadry (ELT, ET, EO) stanowią najmniejszą jednostkę organizacyjną lotnictwa taktycznego. Pozostałe komórki organizacyjne BLT, tj. sztab, grupa wsparcia, eskadry wsparcia, eskadry zabezpieczenia, piony, sekcje, działy, zespoły, itp., odpowiadają głównie za sprawy administracyjne

i logistyczne, a w ramach prowadzonych rozważań traktowane są jako elementy otoczenia.

Wykorzystując matrycę modelu UST (załącznik Z2 – rys. Z2.1) oraz schemat uproszczonego procesu projektowania systemów technicznych (rys. 2.4), w pracy [14] zaproponowano nowy *man-made system* – system lotnictwa taktycznego (SLTkt), którego zasadniczy element stanowią obiekty techniczne w postaci samolotów lotnictwa taktycznego. System lotnictwa taktycznego wg autorów pracy [14] definiowany jest jako byt militarny stanowiący synergiczny zbiór elementów hierarchicznej struktury organizacyjnej, personelu osobowego oraz samolotów lotnictwa taktycznego, jako złożonych obiektów technicznych uczestniczących w procesie eksploatacji.



Rysunek 2.4. Schemat uproszczonego procesu projektowania SLTkt

Reprezentację SLTkt stanowi pewnego rodzaju metamodel wzorowany na modelu UST. Autorzy prac [15, 17] w stosunku do SLTkt posługują się określeniem metamodelu ze względu na fakt iż dostrzeżona została możliwość prezentowania kolejnych obiektów (systemów) tworzących SLTkt, na poszczególnych poziomach dekompozycji, za pomocą odpowiednich modeli. Sprawia to iż SLTkt, początkowo traktowany w pracy [14] jako model, staje się jednak modelem modeli – metamodelem o szerokich możliwościach rozbudowy. Pomimo iż w pracy [14] SLTkt rozpatrywany jest w kategorii systemu technicznego to tak naprawdę można się w nim doszukać znamion systemu socjotechnicznego. Wynika to z faktu iż poza obiektami technicznymi, w metamodelu SLTkt występują także elementy struktur organizacyjnych oraz związane z nimi zespoły ludzkie. Ze względu na zamiar podkreślenia znaczenia samolotów jako obiektów technicznych w SLTkt, w dalszej części niniejszej rozprawy SLTkt określany jest mianem systemu technicznego.

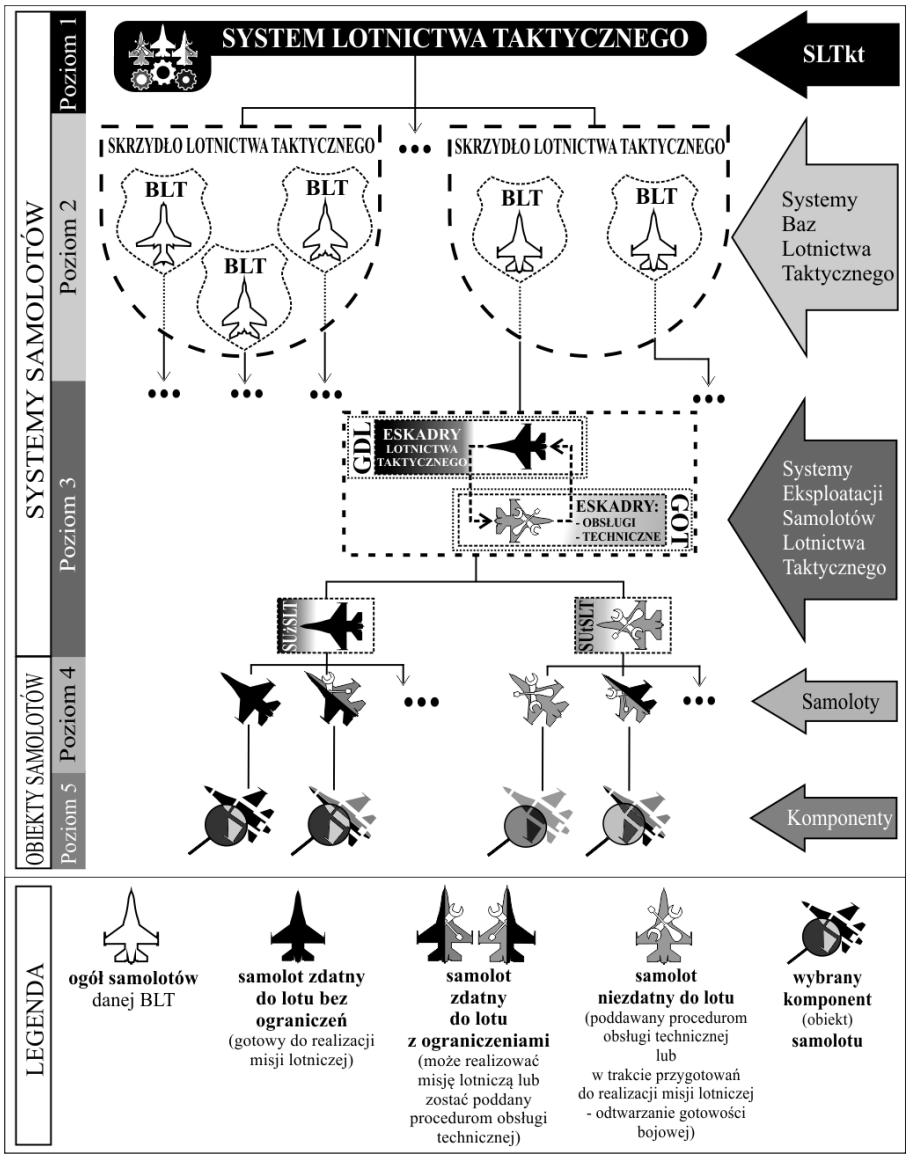
2.3. Metamodel systemu lotnictwa taktycznego

W postaci systemów technicznych bazujących na odpowiednich obiektach technicznych, w literaturze [188] zaprezentowano m.in. model systemu transportu kolejowego, czy też model systemu transportu miejskiego. Zastosowanie metodologii systemowej, inżynierii systemów, podejścia obiektowego oraz konfrontacja struktur lotnictwa taktycznego SP RP z modelem UST dały efekt w postaci metamodelu SLTkt jako systemu technicznego, który organizacyjnie oraz funkcjonalnie spaja istniejące obiekty techniczne, systemy obiektów technicznych oraz struktury tego obszaru zainteresowań. Zachowane zostają przy tym wojskowe zasady hierarchiczności oraz podległości. Metamodel SLTkt obrazuje ogólnie z ilu i jakich elementów składa się ten system oraz zachowuje taksonomię tych elementów, która uzasadnia ich rozmieszczenie na odpowiednich poziomach dekompozycji.

Poziom 1 (rys. 2.5) dekompozycji pełni przede wszystkim funkcję tytularną prezentując SLTkt jako byt/system poddawany dekompozycji. Przedstawia on czytelnikowi rozprawy jej ogólny obszar zainteresowań.

Poziom 2 (rys. 2.5) dekompozycji powstał na zasadzie analogii do modelu UST. Samoloty lotnictwa taktycznego jako obiekty techniczne są rozlokowane w BLT w całym kraju (rys. 2.5). Stąd też drugi poziom dekompozycji nazwano jako Systemy Baz Lotnictwa Taktycznego (SBLT). Baza lotnictwa taktycznego to lotnicza JW – jednostka lotnicza. Dowódca jednostki lotniczej jest nazywany operatorem [90], gdyż to na jego stanie/ewidencji znajdują się określone wojskowe statki powietrzne – w omawianym obszarze zainteresowań są to samoloty lotnictwa taktycznego. W takim przypadku stwarza to również zasadność nazywania tego poziomu dekompozycji jako systemy operatorów samolotów lotnictwa taktycznego. Mając na uwadze hierarchię i podległość służbową poszczególnych szczebli strukturalnych, jaka obowiązuje w SP RP, widać że system złożony z kilku BLT strukturalnie stanowi SLT.

Poziom 3 (rys. 2.5) stanowią Systemy Eksploatacji Samolotów Lotnictwa Taktycznego (SESLT). Poziom ten prezentuje modelowy obraz eksploatacji powstały na podstawie analizy sytuacji eksploatacyjnej [254] w BLT. Eksploatacja samolotów [91] odbywa się według złożonego procesu eksploatacji [223], w określonym systemie eksploatacji [224], który obejmuje dwa stany eksploatacyjne: użytkowanie oraz utrzymanie [16, 223–225, 227]. W literaturze przedmiotu [38] wskazuje się również na występowanie stanu dyżurowania samolotów. Ze względu na zasady eksploatacji samolotów w BLT, ten stan można zakwalifikować do pozostawania samolotów w stanie utrzymania, gdyż zakłada się, że do momentu zdarzenia przyjęcia samolotu przez pilota znajduje się on pod „opieką" personelu technicznego SIL odpowiadającego za proces utrzymania samolotów.



Rysunek 2.5. Metamodel systemu lotnictwa taktycznego

Obiekty techniczne SLTkt uczestniczące w eksploatacji zostały obiektowo pogrupowane na eskadry zajmujące się użytkowaniem oraz utrzymaniem. Występuje tutaj również taksonomicznie określona ważność elementów strukturalnych w systemie eksploatacji. Użytkowanie samolotów w BLT odbywa się w strukturach GDL, w ramach których funkcjonują ELT. Utrzymanie samolotów

w BLT odbywa się w strukturach GOT, w ramach których funkcjonują ET i EO. GOT wraz z ET i EO stanowią SIL.

Przyjmuje się, że w projektowanym SLTkt, użytkowanie odbywa się w tak zwanym Systemie Użytkowania Samolotów Lotnictwa Taktycznego (SUżSLT), a utrzymanie w tak zwanym Systemie Utrzymania Samolotów Lotnictwa Taktycznego (SUtSLT). Głównym zadaniem SUtSLT jest utrzymanie (podtrzymywanie, zapewnianie) zdatności samolotu (technicznej, do lotu) na potrzeby SUżSLT. Warunkiem podstawowym użytkowania jest status zdatności technicznej statku powietrznego (samolotu) [91, 227], a po alimentacji w paliwo, tlen, azot, dane nawigacyjne itp. podczas przygotowania przedstartowego [91], samolot uzyskuje status zdatności statku powietrznego (samolotu) do lotu [91, 227]. Samolot (obiekt) może być elementem SUżSLT lub SUtSLT w zależności od jego stanu niezawodnościowego, a przebieg zmienności stanu niezawodnościowego opisuje proces eksploatacji. Personel latający wraz z samolotami funkcjonującymi w GDL/ELT stanowi SUżSLT. Natomiast SUtSLT jest zbiorem takich elementów jak: obsługownicy (SIL – technicy GOT / ET, EO), obiekt techniczny (samoloty) jako przedmiot obsługiwania, urządzenia diagnostyczne, narzędzia, materiały eksploatacyjne, elementy wymienne, infrastruktura.

Na poziomie 3 należy zauważyć, że BLT to w pewnym uproszczeniu, system eskadr zadaniowo pogrupowanych głównie w takie jednostki organizacyjne jak GDL oraz GOT – pomijając pozatechniczne elementy otoczenia systemu takie jak m.in. sztab czy grupa wsparcia.

Poziom 4 (rys. 2.5) dekompozycji stanowią obiekty techniczne SLTkt – Samoloty, występujące w różnych stanach niezawodnościowych. Przyjęto, że poziom składowych SESLT – SUżSLT, SUtSLT – może być traktowany jako poziom systemów podlegających dekompozycji przy zastosowaniu kryterium niezawodnościowego obiektów technicznych. Generalnie w literaturze przedmiotu [244] określa się stany niezawodnościowe jako stany zdatności lub niezdatności. W lotnictwie wojskowym wyróżnia się również stan ograniczonej [91] lub też częściowej [223] zdatności do lotu, który jest hybrydą stanów zdatności do lotu i niezdatności do lotu.

Instrukcje wojskowe [91] określają następujące stany niezawodnościowe statków powietrznych – samolotów:

- zdatny do lotu bez ograniczeń – jest to samolot w pełni ukompletowany, posiadający zapas resursu, na którym można wykonywać misje lotnicze z możliwością wykorzystania wszystkich elementów i systemów wyposażenia pokładowego po przygotowaniu przedstartowym,
- zdatny do lotu z ograniczeniami – jest to samolot, na którym wykryto uszkodzenie instalacji, systemu, agregatu, które nie ma wpływu na wykonanie określonej misji lotniczej oraz nie wpływa negatywnie na poziom bezpieczeństwa jej wykonania,

- niezdatny do lotu – jest to samolot, który nie spełnia warunków określonych jako: zdatny do lotu bez ograniczeń lub zdatny do lotu z ograniczeniami.

Samolot zdatny do lotu z ograniczeniami może zostać dopuszczony do użytkowania w SUżSLT z zachowaniem pewnych ograniczeń, ale także może zostać skierowany na obsługę techniczną celem przywrócenia pełnej zdatności. Wiele w tym przypadku zależy od rodzaju misji lotniczej jaką planuje się wykonać w SUżSLT. Nie każda misja lotnicza wymaga pełnej zdatności wszystkich systemów/komponentów samolotu. Na przykład w misji szkolnej lub treningowej, gdzie ćwiczone jest tylko wykonywanie procedur podejścia do lądowania wg przepisów wg wskazań przyrządów (IFR – *Instrument Flight Rules* [170]), nie jest wymagana zdatność systemu uzbrojenia samolotu ponieważ misja lotnicza tego typu nie obejmuje użycia uzbrojenia. Dla planowanej misji lotniczej określany jest wykaz (dokument) zasadniczych systemów/komponentów samolotu do misji (MESL – *Mission Essential Subsystem List* [362]), które muszą poprawnie działać, aby można było zrealizować konkretną misję lotniczą.

Odnawialny obiekt techniczny taki jak samolot, przebywa w trakcie procesu eksploatacji w niezawodnościowych stanach zdatności, zdatności ograniczonej, niezdatności do lotu. Stany zdatności obejmują eksploatacyjne podstany: oczekiwania na użytkowanie, aktywnego użytkowania operacyjnego (spełniania funkcji – realizacji misji lotniczej / cyklu użytkowania samolotu [16]). Niezawodnościowe stany niezdatności obejmują eksploatacyjne podstany: postoju w oczekiwaniu na obsługę, aktywnej obsługi profilaktycznej lub korekcyjnej (naprawy). Stan ograniczonej zdatności samolotu do lotu dopuszcza istnienie niezdatności niektórych jego komponentów.

Poziom 5 (rys. 2.5) to najniższy poziom dekompozycji w zaimplementowanym modelu UST. W metamodelu SLTkt stanowią go poszczególne Komponenty samolotu składające się na całość jego konstrukcji. Każdy samolot to setki części, podzespołów, zespołów, modułów, układów. Pomimo, że ten poziom dekompozycji występuje pod nazwą Komponenty to warto podkreślić, że współczesne samoloty to systemy synergicznie ze sobą powiązanych systemów kilku rzędów [232] o celowo zaprojektowanych funkcjach.

Zastosowana na poziomie 5 dekompozycji grafika nie jest przypadkowa. Konstruktorzy lotniczy co raz częściej projektują samoloty o strukturze modułowej. Wynika to chociażby z tego względu, że w warunkach bojowych, gdzie przy deficycie czasu nie można pozwolić sobie na mozolne lokalizowanie uszkodzeń i próby naprawiania uszkodzonych komponentów. Łatwiej i sprawniej jest wymienić cały moduł tak by samolot mógł wrócić do SUżSLT jak najszybciej.

3. PROBLEMATYKA BADAWCZA ROZPRAWY

3.1. Geneza problematyki badawczej

Albert Einstein twierdził że: „Życie jest jak jazda na rowerze. Żeby utrzymać równowagę musisz poruszać się naprzód". Te słowa można odnieść do współczesnych systemów obiektów technicznych, w których dla równowagi ich funkcjonowania niezbędny jest rozwój inżynierii bezpieczeństwa, systemów bezpieczeństwa, systemów zarządzania bezpieczeństwem oraz procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń rozumianych jak w pracy [190]. Aby lotnictwo taktyczne mogło zachować pewnego rodzaju równowagę funkcjonowania w realizacji misji lotniczych [16], potrzebny jest nieustanny rozwój personelu w zakresie umiejętności związanych m.in. z zarządzaniem ryzykiem zagrożeń. Niezbędny jest ruch naprzód w rozwoju technik zarządzania ryzykiem zagrożeń poprzez m.in. implementację osiągnięć naukowych z zakresu inżynierii bezpieczeństwa. Wspomniana potrzeba rozwoju dotyczy nie tylko osób, które sprawują stanowiska kierownicze (dowódcze) w systemach takich jak system lotnictwa taktycznego, ale także operatorów pierwszej linii (pilotów), którzy w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego, z racji sprawowanych funkcji, na co dzień mają do czynienia z wieloma różnymi postaciami źródeł zagrożeń rozumianymi jak w pracach [118, 190]. Piloci lotnictwa taktycznego muszą często w deficycie czasu identyfikować pojawiające się zagrożenia [118, 190] i podejmować właściwe decyzje. Dlatego niezbędnym jest podnoszenie poziomu świadomości całego personelu lotnictwa taktycznego – funkcjonującego w specyficznym rodzaju organizacji wysokiej niezawodności (HRO – *High Reliability Organization* [261]) – w kwestii zarządzania ryzykiem zagrożeń.

Niestety w kontekście systemu lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych RP pojawia się pewna niepokojąca kwestia, którą również można zestawić z cytowanymi słowami Einsteina. Połowę eskadr lotnictwa taktycznego w Polsce, stanowią eskadry, w których wciąż eksploatuje się wysłużone samoloty Su-22 oraz MiG-29. Te samoloty wciąż posiadają duże możliwości oraz cieszą się dobrą opinią wśród pilotów, ale po około 30 latach eksploatacji, każdy obiekt techniczny ma prawo „odejść na zasłużoną emeryturę" [69, 70]. Cały czas liczba tych samolotów, które pozostają w eksploatacji maleje ze względu na ich kończące się resursy. Natomiast piloci potrzebują samolotów, by móc się szkolić i podtrzymywać nawyki. Niestety przerwy w lotach stają się coraz dłuższe, zaburzona zostaje dynamika szkolenia lotniczego, a to z kolei należy traktować jako poważne źródła zagrożenia, które mogą zachwiać równowagę funkcjonowania systemu lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych RP [117]. Eksperci od lat zwracają uwagę na to, że należy pozyskać nowoczesny samolot bojowy, jednak realizacja programu „Harpia" [69, 283], przedłuża się. Wiek oraz technologia zastosowana w części obecnie eksploatowanych samolotów, w połączeniu

z potencjalnie niepełnym poziomem wyszkolenia pilotów mogą spowodować, że w pewnych sytuacjach ta para antropotechniczna może przestać spełniać założone funkcje w kontekście inżynierii odporności (RE – *Resilience Engineering* [304]).

Potrzebę prowadzenia dalszych prac oraz nieustannego rozwoju kwestii dotyczących systemów zarządzania bezpieczeństwem oraz związanych z nimi procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń, uzasadniają m.in. różnie zakwalifikowane lotnicze zdarzenia niepożądane (załącznik Z3 – rys. Z3.1) do jakich doszło w latach 2017-2018 w lotnictwie taktycznym Sił Powietrznych RP. Niektóre z tych zdarzeń, to pewnego rodzaju „Czarne Łabędzie" (*Black Swans* [356]), jednak ze względu na ich wojskowy charakter oraz niejawne postępowania wyjaśniające, nie będą one prezentowane ze szczegółami w niniejszej rozprawie, a jedynie w oparciu o doniesienia medialne potwierdzone przez MON. We wspomnianym okresie doszło m.in. do dwóch poważnych zdarzeń w wyniku których jeden pilot zginał, jeden został poważnie ranny oraz całkowitemu zniszczeniu uległy dwa samoloty MiG-29 [72, 74]. Oba zdarzenia miały miejsce w krótkim odstępie czasu, natomiast z doniesień medialnych wiadomo, iż w jednym z tych zdarzeń doszło do nieprawidłowego zadziałania jednego z elementów systemu bezpieczeństwa samolotu jakim jest fotel katapultowy [73, 117].

Media poinformowały również o trzech innych zdarzeniach z udziałem polskich samolotów MiG-29 do jakich doszło w latach 2015-2018. Jedno z nich dotyczyło awarii pokładowej instalacji tlenowej, a więc kolejnego z elementów systemu bezpieczeństwa samolotu. W wyniku tego zdarzenia, pilot z poważnymi obrażeniami trafił do szpitala. Natomiast do pozostałych dwóch zdarzeń doszło podczas lądowania samolotów, kiedy to przyziemienie nastąpiło przed progiem drogi startowej [116, 385]. W wyniku tych dwóch zdarzeń uszkodzone zostały m.in. elementy infrastruktury lotnisk oraz silniki tych samolotów.

Z danych, które MON przedstawiło 4 października 2018 roku sejmowej komisji obrony wynika, że liczba incydentów w lotnictwie wojskowym z roku na rok maleje [71]. Jednak statystyki te dotyczą wyłącznie incydentów, a więc pewnej części ogółu lotniczych zdarzeń niepożądanych (załącznik Z3 – rys. Z3.1) do jakich doszło w całym lotnictwie SZ RP w Polsce w danym okresie. Z danych przedstawionych przez MON sejmowej komisji obrony wynika, że od 1 grudnia 2015 roku do 2 października 2018 roku w całym lotnictwie SZ RP zgłoszono 2822 zdarzenia, w tym 8 wypadków i 38 poważnych incydentów [71].

Od 2014 roku Zintegrowany Wieloszczeblowy System Informatyczny Resortu Obrony Narodowej (ZWSI RON) [39] zapewnia wsparcie eksploatacji samolotów F-16. Analiza lotniczych zdarzeń niepożądanych zarejestrowanych w tym systemie z udziałem samolotów F-16, należących do 31. Bazy Lotnictwa Taktycznego (31. BLT), do jakich doszło w latach 2006-2017 wskazuje, że około

23% niezdatności samolotów zostało wykrytych podczas lotu tych samolotów, natomiast około 2% niezdatności podczas kołowania tych samolotów zarówno przed startem jak i po lądowaniu [349]. Przedstawione przykłady wykrycia łącznie około 25% z ogółu wszystkich niezdatności samolotów F-16 w 31. BLT miały więc miejsce podczas realizacji misji lotniczych w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. Konsekwencją wykrycia niezdatności samolotów F-16 w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego są różnego rodzaju lotnicze zdarzenia niepożądane. Zestawienie statystyczne okoliczności wykrycia niezdatności samolotów F-16 w latach 2006-2017, przedstawiono w załączniku Z3 – rys. Z3.2. Okoliczności wykrycia aż 25% ogółu zdarzeń związanych z systemem użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego w 31. BLT świadczą o tym, iż ten obszar analiz wymaga prowadzenia ciągłych działań związanych z procesami zarządzania ryzykiem zagrożeń.

Prowadząc rozważania w kontekście zarządzania ryzykiem zagrożeń, nie sposób pominąć aspektów ekonomicznych związanych z ewentualnymi stratami/szkodami [118, 190] do jakich może dojść w wyniku aktywizacji zagrożeń podczas lotniczego zdarzenia niepożądanego w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. To że rozwój w dziedzinie zarządzania ryzykiem zagrożeń w lotnictwie taktycznym jest jak najbardziej pożądany uzasadniają kwoty jakie są inwestowane w tego rodzaju lotnictwo wojskowe. Posługując się przykładem samolotu wielozadaniowego F-16, jaki między innymi jest eksploatowany w lotnictwie taktycznym Sił Powietrznych RP, należy zaznaczyć, iż pozyskanie jednego samolotu kosztowało podatników około 40 milionów dolarów (USD). Natomiast wyszkolenie pilota samolotu F-16 to kwota jednostkowa od około 2 milionów dolarów w przypadku tylko szkolenia podstawowego (*basic*), do nawet 4 milionów dolarów w przypadku szkolenia do uzyskania przez pilota zdolności bojowej (*combat ready*). Z kolei koszt wyszkolenia instruktora sięga kwoty około 6 milionów dolarów. Przedstawione dane dotyczą wyłącznie samolotu i pilota natomiast w grę wchodzą również takie elementy jak uzbrojenie, symulatory, infrastruktura naziemna, paliwo oraz wiele innych [86, 277, 320]. Godzina lotu samolotem F-16 to koszt około 60 tysięcy złotych (PLN). Szacuje się, że łączny koszt pozyskania i eksploatacji samolotów F-16 w Polsce po dekadzie eksploatacji sięgnął kwoty około 18 miliardów złotych [27]. W kontekście przedstawionych danych ekonomicznych warto sobie wyobrazić, że dochodzi do straty w postaci całkowitego uszkodzenia choćby jednego takiego samolotu oraz śmierci lub trwałego uszczerbku na zdrowiu (uniemożliwiającego jego powrót do służby) choćby jednego pilota. Same straty ekonomiczne w takim przypadku sięgnęłyby dziesiątek milionów dolarów. Aspekt ekonomiczny wydaje się więc najwyraźniej uzasadniać potrzebę zajmowania się tematyką zarządzania ryzykiem zagrożeń w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego.

3.2. Przegląd obecnego stanu wiedzy

3.2.1. Inżynieria bezpieczeństwa

Lotnictwo stanowi szczególnie istotny obszar badań w ramach inżynierii bezpieczeństwa, która praktykowana jest od wielu lat w różnych dziedzinach ludzkiej aktywności [28, 113, 132, 205, 243]. Należy jednak podkreślić, iż lotnictwo pośród innych rodzajów transportu przoduje w rozwoju tych badań. Potwierdza to m.in. koncepcja modelu „3+1" zintegrowanego systemu bezpieczeństwa transportu w Polsce, opracowanego w ramach projektu ZEUS, który opisano w pracach [213–216]. Kosztowne badania prowadzone w obszarze lotnictwa mają zapewnić człowiekowi bezpieczeństwo w czasie przebywania w przestrzeni powietrznej, a więc w środowisku do którego nie został ewolucyjnie przystosowany. W [199] Klich w pewnym sensie wyjaśnia fenomen wysokiego poziomu rozwoju inżynierii bezpieczeństwa w lotnictwie, używając stwierdzenia, że: „Każdy wie, że lotnictwo jest niebezpieczne, więc dlatego jest tak bezpieczne". Co więcej, również powszechnie znane w świecie lotniczym powiedzenie „*safety first*" zdaje się uzasadniać wspomniany fenomen.

Pierwszym podejściem zaproponowanym do opisu sposobu funkcjonowania organizacji, których działalność charakteryzuje się znaczącym ryzykiem generowanych zagrożeń była teoria zwyczajnego wypadku (*normal accident*) sformułowana przez Perrowa w latach 80-tych XX wieku [284]. Zakłada ona, że w bardzo złożonych systemach, których elementy wchodzą ze sobą w skomplikowane interakcje – takich jak samoloty, elektrownie jądrowe, zakłady chemiczne, itp. – nie da się uniknąć wypadków bez względu na poziom umiejętności operatorów pierwszej linii, zarządzających i projektantów tych systemów. Wyniki badań Perrowa wpisują się w ogólne stwierdzenie dotyczące endogenizacji nieredukowalności wypadków omówionej w pracy [83] Delorme'a, który poddaje szczegółowej analizie kwestię niemożności zredukowania do zera ryzyka występowania wypadków w systemach i organizacjach złożonych wykorzystujących nowoczesne, zautomatyzowane technologie. Perrow wykazał także, że z powodu złożoności systemów awarie są nieuniknione, a typowe środki zapobiegawcze w postaci np. barier bezpieczeństwa [325] zwiększają tę złożoność i mogą się nawet przyczynić do powstania nowych rodzajów wypadków.

Z kolei Reason podkreśla w pracach [300, 301] udział czynnika organizacyjnego w genezie wypadków (*orgax* – wypadek organizacyjny), obok czynników ludzkich i technicznych [231]. Podobnie jak Perrow, uważa on, że konwencjonalne próby zapewniania bezpieczeństwa – poprzez np. wbudowywanie dodatkowych wielowarstwowych barier bezpieczeństwa – nie zawsze są skuteczne. Reason analizuje kwestie związane z zarządzaniem bezpieczeństwem w kontekście cech organizacyjnych nowoczesnych technologii. Wśród systemów bada-

nych przez Reasona znajdują się takie, w których osiąga się wysoki poziom bezpieczeństwa, a poważne wypadki, zdarzają się rzadko. Takie systemy to m.in. lotnictwo, nowoczesne kolejnictwo oraz elektrownie jądrowe [300].

Teoria dotycząca zwyczajnych wypadków, których nie da się uniknąć, przedstawiona przez Perrowa jest jednak kwestionowana przez naukowców (na przykład w pracy [60] Le Coze) rozwijających współczesne teorie w obszarze inżynierii bezpieczeństwa, dotyczące organizacji o wysokiej niezawodności (HRO) oraz inżynierii odporności (RE) [61, 140, 278, 376].

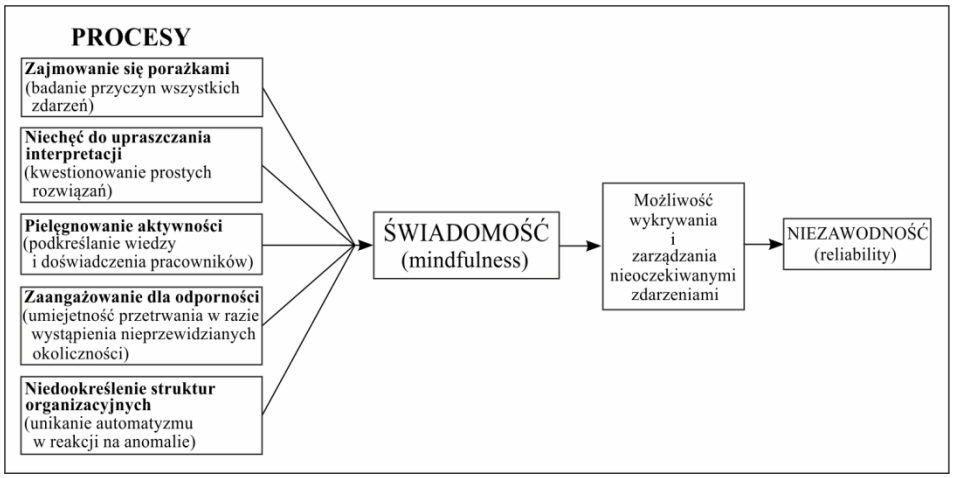
Wspólna świadomość w organizacjach wysokiej niezawodności

Pierwsza teoria dotycząca organizacji o wysokiej niezawodności (HRO) [82, 222, 261, 275, 322] narodziła się w Stanach Zjednoczonych jako rezultat badań polegających na obserwacji działalności m.in. służb kontroli ruchu lotniczego oraz lotniskowców z napędem atomowym. Roberts w pracy [306] opisuje swoje obserwacje związane z prowadzeniem badań nad systemem kontroli ruchu lotniczego *Federal Aviation Administration*, dystrybutorem energii *Pacific Gas and Electric Company* oraz lotniskowcami z napędem atomowym w *United States Navy*. Na podstawie obserwacji tych trzech organizacji, Roberts i Rousseau w pracy [307] przedstawili osiem podstawowych cech odróżniających HRO od innych organizacji.

Teoria HRO jest stosunkowo nowa w zarządzaniu organizacjami. Od czasu wprowadzenia HRO liczba badań mających na celu identyfikację cech HRO wzrasta, podobnie jak próby uzyskania statusu HRO przez organizacje z wielu różnych branż. Naukowcy tacy jak La Porte, Roberts, Rochlin, Rosseau i Weick dążyli do znalezienia odpowiedzi na pytanie, dlaczego w niektórych branżach do wypadków dochodzi zdecydowanie rzadziej niż w innych. W rezultacie tych dociekań sformułowano definicję tzw. „wspólnej świadomości" (*collective mindfulness* [62, 106, 377]) która charakteryzuje niektóre organizacje. Na model „wspólnej świadomości" składają się procesy przedstawione na rysunku 3.1.

Przykładem działań w duchu „wspólnej świadomości" jest zachęcanie pracowników do zgłaszania jak największej liczby zdarzeń, w tym także tzw. incydentów, które nie doprowadziły do pojawienia się strat/szkód. Zgłoszone zdarzenia mają być następnie badane w celu znalezienia ich źródeł/przyczyn, tak aby je zneutralizować oraz by popłynęła z nich nauka na przyszłość w celu uniknięcia podobnych zdarzeń [143]. Proponowane działanie uzasadnia się teorią „piramidy bezpieczeństwa", bazującą na opracowaniu Heinricha [150], według której zmniejszenie liczby incydentów powinno skutkować zmniejszeniem skorelowanej z nią liczby wypadków [133, 143]. Pewnego rodzaju współczesną kontynuacją takiego podejścia są prace Skorupskiego [326–331], który uważa, że w celu poprawy bezpieczeństwa w ruchu lotniczym, należy większą uwagę

poświęcić analizie zdarzeń drobniejszych takich jak incydenty, by w efekcie zmniejszyć liczbę wypadków.



Rysunek 3.1. Procesy składające się na model wspólnej świadomości [377]

Inżynieria odporności w koncepcji Safety-II

Druga teoria określana jest mianem inżynierii odporności (RE) [32, 80, 160, 274, 304], której początki sięgają lat 80-tych XX wieku i związane są z inżynierią kognitywną (*cognitive engineering* [205, 241, 309]). Inżynieria odporności dotyczy nie tylko zdolności systemów do absorbowania zaburzeń, ale także ich zdolności do szybkiego wyjścia z perturbacji i powrotu do stanu normalnej pracy. Woods w pracy [384] przedstawia również odporność jako synonim solidności, przeciwieństwo nietrwałości oraz jako zdolność dostosowywania się struktury systemu do zmiennych warunków otoczenia. Ta ostatnia definicja odporności wydaje się być najbardziej adekwatna w stosunku do elementów pary antropotechnicznej pilot-wojskowy statek powietrzny, która bierze udział w realizacji misji lotniczej rozumianej jak w pracy [16] – zwłaszcza jeśli misja lotnicza realizowana jest w realnych warunkach bojowych.

Inżynieria odporności została uznana za nowy paradygmat zarządzania bezpieczeństwem, zgodny z naturą złożonych systemów socjotechnicznych, natomiast w ostatnich latach zyskuje coraz większą popularność [162]. Bazuje ona na koncepcji nazywanej „Bezpieczeństwo-II" (*Safety-II* [155, 156, 159, 281]), zgodnie z którą zarówno sukcesy, jak i porażki wynikają z ciągłej zmienności systemów i ich dostosowywania się do warunków otoczenia. Koncepcja „Bezpieczeństwo-II" jest jednym z najpopularniejszych trendów jakie w ostatnich latach pojawiły się w systemach zarządzania bezpieczeństwem w branży lotniczej [219]. W tejże koncepcji ogromną rolę odgrywa człowiek, który jako opera-

tor pierwszej linii w różnego rodzaju systemach, cechuje się ogromnymi, a także ponadstandardowymi predyspozycjami do dostosowywania swoich zachowań zależnie od sytuacji.

Inżynieria odporności postuluje badanie przede wszystkim sukcesów i wzmacnianie ich źródeł/przyczyn [9, 233]. Badania związane z inżynierią odporności prowadzone były w wielu obszarach zainteresowań takich jak, np. medycyna [260, 282], energetyka [321, 388], infrastruktura krytyczna [230], a także transport, zwłaszcza transport pasażerski [255, 302, 342].

Idea *just culture* w lotnictwie

Należy zaznaczyć, że obie teorie – HRO oraz RE – chociaż oparte na różnych założeniach oraz posiadające różne korzenie [61] nie są ze sobą zasadniczo sprzeczne [61, 62, 140, 278]. Wspólne jest m.in. pojęcie tzw. „kultury bezpieczeństwa" w organizacji [28, 59, 138, 142, 149, 300, 303]. Termin „kultura bezpieczeństwa" został po raz pierwszy użyty przez grupę doradców Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w odniesieniu do awarii reaktora atomowego w Czarnobylu w 1986 roku. Komisja badająca ten wypadek doszła do wniosku, że głównymi przyczynami prowadzącymi do awarii reaktora były zaniedbania związane z kulturą bezpieczeństwa [177, 178]. Po raporcie komisji, koncepcja kultury bezpieczeństwa znalazła się w centrum zainteresowania, a jej celem była optymalizacja wpływu kultury bezpieczeństwa organizacji na jednostkowe działania pracowników związane z bezpieczeństwem. W kształtowaniu kultury bezpieczeństwa organizacji biorą udział przede wszystkim trzy czynniki tzw. *HOT factors*: czynnik ludzki (*Human*), czynnik organizacyjny (*Organizational*) oraz czynnik techniczny (*Technical*). Wymienione czynniki w kontekście kultury bezpieczeństwa organizacji omówiono w pracy [319].

W lotnictwie w ramach kultury bezpieczeństwa szczególną uwagę zwraca się na tzw. kulturę sprawiedliwego traktowania – *just culture* [77, 131, 236, 300]. *Just culture* to jeden z pięciu elementów składowych kultury bezpieczeństwa [218], obejmujący wszelkie działania prowadzące do podniesienia świadomości z zakresu bezpieczeństwa w lotnictwie, mające na celu zwiększenie liczby zgłaszanych zdarzeń w ramach zarówno obowiązkowego, jak i dobrowolnego systemu zgłaszania zdarzeń lotniczych [367]. Zakłada się bowiem, że ludzie popełniali, popełniają i będą popełniać błędy, jednak istotne jest, żeby przyznawali się do nich, gdyż dzięki temu przyczyniają się do usprawnienia procedur mających na celu poprawę bezpieczeństwa lotniczego. Reason w [300] opisuje *just culture* jako atmosferę zaufania, w której ludzie są zachęcani (nawet nagradzani) do zgłaszania wszelkich zdarzeń / niezbędnych informacji związanych z bezpieczeństwem, ale w której są także określone jasne zasady, gdzie należy wyznaczyć graniczną linię [78] pomiędzy zachowaniem dopuszczalnym i tym nie do zaakceptowania.

W lotnictwie cywilnym w państwach Unii Europejskiej funkcjonuje deklaracja *European Corporate Just Culture Declaration* wprowadzona na podstawie [311]. Dotyczy ona współpracy w zakresie wdrażania i promowania kluczowych zasad idei *just culture* w organizacjach lotniczych. *Just culture* gwarantowana jest poprzez regulacje prawne np. [311], a wspierana jest praktycznymi działaniami mającymi na celu podnoszenie świadomości i odpowiedzialności z zakresu bezpieczeństwa.

Również w lotnictwie wojskowym aspekty związane z kulturą bezpieczeństwa odgrywają znaczącą rolę, o czym świadczą m.in. prace [48, 179, 337, 353]. Instrukcja bezpieczeństwa lotów lotnictwa SZ RP (IBL-2015) [166] kulturze bezpieczeństwa lotów poświęca aż trzy oddzielne załączniki. Natomiast aż dwa z nich dotyczą kultury sprawiedliwego traktowania w lotnictwie – *just culture*.

„Wizja Zero" vs. „Czarne Łabędzie"

Od kilku lat komentowana i rozwijana jest również teoria dotycząca *zero accident vision*. W 2013 roku w pracy [395] zauważono, że wiele firm zaczyna stosować tę teorię w praktyce bez względu na fakt, iż dotychczas nie przeprowadzono stosownych badań naukowych w tym zakresie. Pomimo, że od tamtej pory w pracach [81, 211, 396–398] opisano i wykazano, że jest to interesujące podejście, to jednak nie jest ono tak bardzo podkreślane przez społeczność badawczą zajmującą się inżynierią bezpieczeństwa. *Zero accident vision* to filozofia, która mówi, że w wypadkach można uniknąć ofiar śmiertelnych oraz rannych. Jeśli chodzi o strategie zapobiegania wypadkom, *zero accident vision* można postrzegać jako sposób myślenia w ten sposób, że można zapobiec wszystkim wypadkom. *Zero accident vision* jest ambicją i zobowiązaniem do tworzenia i zapewniania bezpiecznej pracy i zapobiegania wszystkim (poważnym) wypadkom w celu osiągnięcia doskonałości w zakresie bezpieczeństwa. Najlepszym przykładem rozwoju tej teorii w praktyce jest szwedzka filozofia podejścia do kwestii bezpieczeństwa w transporcie drogowym, jaką jest „Wizja Zero" (*Vision Zero* [30, 139, 197, 210]). Pierwszy i najważniejszy z paradygmatów „Wizji Zero", to skupienie wysiłku działań przede wszystkim na sukcesywnym zmniejszaniu liczby ofiar śmiertelnych i ciężkich obrażeń w zdarzeniach drogowych. Z kolei znaczenie samej nazwy streszcza cel, do jakiego owa inicjatywa dąży – do całkowitego wyeliminowania właśnie takich skutków zdarzeń drogowych.

Jednak *zero accident vision* wydaje się być abstrakcyjna w zestawieniu ze zdarzeniami w postaci tzw. „Czarnych Łabędzi" (*Black Swans* [18, 19, 52, 111, 141, 356]). Według Avena i Krohna [24] można wyróżnić trzy rodzaje zdarzeń typu *Black Swans*:

- zdarzenia zupełnie nieznane,
- zdarzenia nie znajdujące się na liście znanych zdarzeń z punktu widzenia osób, które przeprowadziły identyfikację zagrożeń,
- zdarzenia na liście znanych zdarzeń, ale uznano, że mają znikome prawdopodobieństwo wystąpienia, a zatem w analizie ryzyka uznaje się je za zupełnie nierealne.

Jednak w pracy [148] Haugen i Vinnem postulują ograniczenie definicji *Black Swans* tylko do jej pierwszego znaczenia. Prezentują przykłady ilustrujące, w jaki sposób szersza definicja może prowadzić do nieuczciwych i niefortunnych skutków. Z takim podejściem dyskutuje Aven w pracy [20].

W pracy [356] Taleb zwraca uwagę na zdarzenia typu *Black Swans*, których każdy się spodziewa, a do których nie dochodzi. Należy tutaj podkreślić pewnego rodzaju symetrię. Otóż wystąpienie wysoce nieprawdopodobnego zdarzenia jest tym samym co niewystąpienie zdarzenia wysoce prawdopodobnego.

W zdarzeniach typy *Black Swans* trudno mówić o możliwościach ograniczenia liczby ofiar śmiertelnych lub rannych, nie wspominając już nawet o ich ograniczeniu do zera. Jest to związane z ogólną i wieloaspektową nieprzewidywalnością czy też nieobliczalnością tego typu zdarzeń, na które nie można się przygotować i zastosować np. odpowiednich barier bezpieczeństwa.

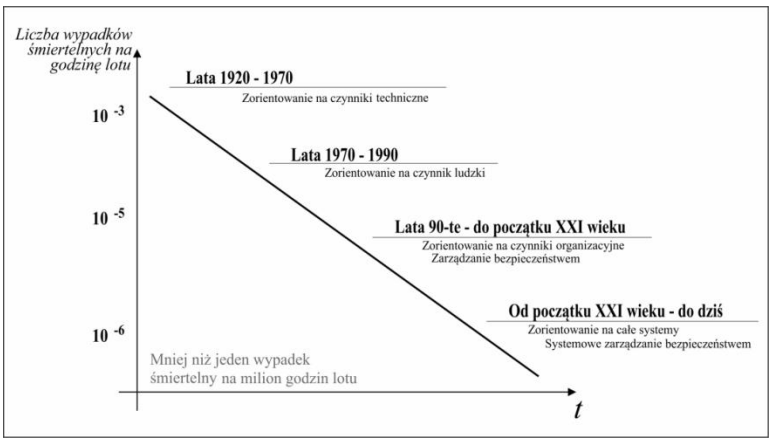
3.2.2. Systemy zarządzania bezpieczeństwem

Przedmiotem badań naukowych jest nie tylko opracowywanie nowych, lepszych rozwiązań pozwalających sprostać współczesnym oczekiwaniom, ale też obserwowanie ich funkcjonowania po wdrożeniu w organizacjach. Wyniki owych badań wskazują jednak na istnienie szeregu problemów takich jak m.in. ten który zaobserwowano w latach 90-tych XX wieku. Zauważono bowiem, że pod wpływem wszechobecnych procedur następują zmiany w zachowaniu ludzi. To zjawisko Power [290] nazwał tworzeniem się „społeczeństwa audytu", w którym większą uwagę przykłada się do zdobycia kolejnego certyfikatu, niż do rzeczywistych efektów pracy. Wymuszanie zgodności z procedurami ma jednak pewne pozytywne skutki, np. czyni współpracę bardziej przewidywalną [187], co z kolei jest niezbędne, a nawet pożądane w lotnictwie. Niestety często prowadzi to także do marginalizacji znaczenia wiedzy i doświadczenia pracowników [10] – zwłaszcza operatorów pierwszej linii. To natomiast sugeruje, iż wraz z ewolucją/rozwojem systemu należy aktualizować procedury wykorzystując właśnie doświadczenie pracowników.

Badania naukowe prowadzone w ramach inżynierii bezpieczeństwa przenikają do organizacji pod postacią nowych regulacji prawnych [10]. Owe regulacje, często o charakterze międzynarodowym, wprowadzają m.in. obowiązek ustanawiania i wdrażania systemów zarządzania bezpieczeństwem (SMS – *Safety Ma-*

nagement System) [190] w różnych typach organizacji. Systemy zarządzania bezpieczeństwem stały się częścią systemów zarządzania organizacji.

Historia ewolucji bezpieczeństwa lotniczego w najnowszym wydaniu Podręcznika Zarządzania Bezpieczeństwem ICAO (SMM – *Safety Management Manual*) [169] została podzielona na cztery ery (rys. 3.2). Po erach technicznej, czynników ludzkich oraz czynników organizacyjnych, od pierwszych lat XXI wieku, trwa era całych systemów (*total systems era*), w której bezpieczeństwo zaczęto postrzegać w sposób całościowy, z punktu widzenia systemowego. Z czynnikami organizacyjnymi wiąże się wspomniane już pojęcie wypadku z przyczyn organizacyjnych (*orgax*) leżące u podstaw modelu „szwajcarskiego sera" Reasona [300]. Dodatkowo w erze czynników organizacyjnych tradycyjne reaktywne wysiłki w zakresie pozyskiwania i analizy danych, które dotychczas ograniczały się do korzystania z danych zebranych podczas badań zdarzeń lotniczych, zostały rozszerzone o nowe proaktywne podejście. Wymienione doprecyzowania jakie pojawiły się w erze czynników organizacyjnych dały uzasadnienie dla przyjęcia podejścia nazwanego zarządzaniem bezpieczeństwem. To co osiągnięto w dziedzinie bezpieczeństwa na przestrzeni trzech pierwszych er, dało możliwość powołania w lotnictwie SMS oraz krajowych programów bezpieczeństwa (SSP – S*tate Safety Programme*) [169]. Taki stan rzeczy umożliwił z kolei wyróżnienie ery systemowego podejścia do bezpieczeństwa.



Rysunek 3.2. Historia ewolucji bezpieczeństwa lotniczego. Opracowanie własne na podstawie [26, 169]

Ogólnie SMS oparto na wynikach procesów zarządzania ryzykiem [84] i metodach zarządzania ryzykiem. W ramach tego typu metod, w postaci odpowiednich algorytmów i procedur, implementowane są różne formy aktywnych postaw człowieka w stosunku do rozpoznawania źródeł zagrożeń oraz formułowania zagrożeń. Te aktywne postawy człowieka określa się mianem postępowa-

nia wobec ryzyka zagrożeń [119, 183, 188], natomiast za jedną z jego form uznaje się powoływanie i organizowanie systemów bezpieczeństwa.

System określa się mianem systemu bezpieczeństwa, gdy jego celem jest racjonalizacja ryzyka zagrożeń w danych obszarach jego zastosowań, tak by zapewnić akceptowany lub co najmniej tolerowany poziom ryzyka. Dwie zasadnicze składowe systemów bezpieczeństwa to [188]:

- elementy systemów bezpieczeństwa – człowiek, elementy materialne i elementy niematerialne,
- struktury systemów bezpieczeństwa – zbiór relacji między elementami systemów bezpieczeństwa do osiągania ich celów.

Elementy systemów bezpieczeństwa także mogą być systemami, a każdy system może być z kolei częścią systemu zlokalizowanego na wyższym poziomie hierarchii systemu. Ogólną propozycję formalnego zapisu oraz dekompozycji systemu bezpieczeństwa przedstawiono w pracy [118].

Wiele lat konsekwentnych prac dorowadziło do sytuacji, gdzie wszystkie elementy odpowiedzialne za bezpieczeństwo misji lotniczych są powiązane w spójne systemy. Te systemy nazywane są w lotnictwie cywilnym systemami zarządzania bezpieczeństwem (SMS) [169], natomiast ich odpowiednikiem w lotnictwie SZ RP jest zarządzanie systemem bezpieczeństwa lotów (SBL) [166]. Wdrażanie SMS wymusza systemowe zarządzanie bezpieczeństwem w ramach którego konieczne jest przewidywanie działań związanych z dostosowywaniem struktury organizacyjnej, określaniem zakresu odpowiedzialności poszczególnych osób, polityki bezpieczeństwa, a także szczegółowych procedur postępowania w rożnych sytuacjach, jakie mogą się pojawić podczas eksploatacji systemu.

Kwestie związane z zarządzaniem bezpieczeństwem w lotnictwie cywilnym zostały uregulowane m.in. w poszczególnych załącznikach do Konwencji o Międzynarodowym Lotnictwie Cywilnym [171]. W 2013 roku wprowadzono Załącznik 19 [172], który w całości został poświęcony zagadnieniom związanym z zarządzaniem bezpieczeństwem w organizacjach lotniczych oraz który określa wymagania dotyczące krajowych programów bezpieczeństwa (SSP). Zgodnie z Załącznikiem 19 SMS każdej organizacji lotniczej powinien opierać się na 4 głównych filarach (rys. 3.3).

Poza zasadami jakie wynikają z Konwencji o Międzynarodowym Lotnictwie Cywilnym oraz jej załączników, na terytorium Polski obowiązują również przepisy Unii Europejskiej, które odgrywają istotną rolę w kształtowaniu i rozwoju międzynarodowego bezpieczeństwa lotniczego. Europejski system bezpieczeństwa lotniczego opiera się na ścisłej współpracy między Komisją Europejską, Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA – *European Aviation Safety Agency*), EUROCONTROL, lotniczymi władzami krajowymi i organizacjami badającymi zdarzenia lotnicze, jak również producentami statków po-

wietrznych, liniami lotniczymi oraz innymi podmiotami, które uczestniczą w jednolitym rynku lotniczym. Kompleksowego przeglądu europejskich przepisów bezpieczeństwa lotniczego dokonano w pracy [44].



Rysunek 3.3. Filary systemu zarządzania bezpieczeństwem. Opracowanie własne na podstawie [209, 390]

System bezpieczeństwa lotów w lotnictwie SZ RP obejmuje wiele obszarów działalności lotniczej. W zakresie funkcjonowania SBL występuje szereg dokumentów normatywnych, których hierarchia oparta jest na sześciu poziomach (załącznik Z3 – rys. Z3.3). Model zarządzania SBL oparty jest na koncepcji ciągłego doskonalenia. Wymogi tego systemu są podzielone pomiędzy 4 elementy (analogia do czterech filarów) tzw. pętli ciągłego doskonalenia (rys. 3.4). Kwestie związane m.in. z polityką bezpieczeństwa lotów w lotnictwie SZ RP, zarządzaniem SBL, organizacją SBL, działalnością personelu SZ RP w ramach zarządzania SBL oraz wiele innych, zostały szczegółowo opisane w [166].



Rysunek 3.4. Model zarządzania systemu bezpieczeństwa lotów lotnictwa Sił Zbrojnych RP – pętla ciągłego doskonalenia [166]

Proaktywne zarządzanie bezpieczeństwem w lotnictwie

Współcześnie w systemach zarządzania bezpieczeństwem (SMS) w lotnictwie postuluje się wprowadzanie zmiany koncepcji zarządzania bezpieczeństwem z reaktywnego (*fly-crash-fix-fly*) na proaktywne [64, 153, 169, 220, 242, 324, 357]. W pracy [326] wykazano wiele działań szczegółowych, które służą realizacji podejścia proaktywnego, i które powinny być kompleksowo stosowane w organizacjach lotniczych skutecznie implementujących SMS. Proaktywne zarządzanie bezpieczeństwem polega na identyfikacji źródeł zagrożeń i na ich podstawie formułowaniu zagrożeń zanim doprowadzą one do zdarzenia niepożądanego.

Jednym ze sposobów na bardziej proaktywne podejście do zarządzania bezpieczeństwem jest położenie większego nacisku na analizę potencjalnych lotniczych zdarzeń niepożądanych (incydentów, wypadków) np. tworząc scenariusze [58] hipotetycznych wypadków, które następnie poddawane są analizie w taki sposób jak to ma miejsce w przypadku rzeczywistych zdarzeń. Najistotniejszą częścią takiej analizy są późniejsze rekomendacje bezpieczeństwa [129, 195] kierowane do wszystkich zainteresowanych podmiotów.

Analiza prac [152, 341] wskazuje jednak, że tworzenie hipotetycznych scenariuszy i analizowanie teoretycznych wypadków obarczone jest pewnymi wadami, wśród których wyróżnia się m.in. wątpliwość dotycząca przesłaniania przez hipotetyczne wypadki takich zdarzeń, które mogą wystąpić całkiem realnie. Sposobem na uniknięcie wskazanego tu problemu i zarazem zachowania podejścia proaktywnego, jest koncepcja przedstawiana w pracach Skorupskiego [326, 327, 331] dotycząca modelowania potencjalnych scenariuszy wypadków na podstawie rzeczywistych incydentów do których doszło w ruchu lotniczym, wykorzystując przy tym sieci Petriego. W pracach [326, 328, 330, 331] wykazano bowiem regularne zależności pomiędzy poważnymi incydentami, a wypadkami. Zauważono także, że często wystąpienie nawet jednego dodatkowego negatywnego czynnika (pojawienie się kolejnego źródła zagrożenia np. w postaci luki w jednym z elementów systemu bezpieczeństwa, itp.) w przypadku poważnego incydentu może doprowadzić do wypadku.

Incydenty występują w lotnictwie znacznie częściej niż wypadki, więc ich analiza może dostarczać większej ilości danych, które można wykorzystać w celu poprawy bezpieczeństwa. Zgodnie z zasadami koncepcji *Safety-II*, wykorzystywanie do badań incydentów zamiast wypadków, umożliwia skupienie uwagi na tym co ma miejsce często, czyli obiekt do badań zostaje dobrany bardziej ze względu na częstość, niż na dotkliwość skutków. W wielu dziedzinach ludzkiej działalności obserwuje się sytuacje, potwierdzające, że niewielkie ulepszenia, ale odniesione do dużej skali codziennych działań mogą mieć znacznie lepszy efekt niż jednorazowe, spektakularne ulepszenie, ale w stosunku do zjawiska bardzo rzadkiego [326].

Dodatkowo przedstawione podejście umożliwia weryfikację tego czy zatrzymanie rozwoju zdarzenia niepożądanego na poziomie incydentu miało miejsce w efekcie zadziałania elementu systemu bezpieczeństwa [157, 299], czy też było to dziełem przypadku. Taka weryfikacja wydaje się być niezbędna ze względu na przekonanie, iż dane elementy systemu bezpieczeństwa, które sprawdziły się w pewnym zdarzeniu, nie zawsze będą efektywne w innych okolicznościach. Dotyczy to w szczególności złożonych systemów technicznych działających w długiej perspektywie czasowej, gdyż mogą one być w przyszłości odbiorcami/odbiornikami narażeń [118, 122] pochodzących od źródeł zagrożeń, które obecnie nie są nawet rozpoznane oraz które mogą powodować sformułowanie nieznanych dotąd zagrożeń – analogia do zdarzeń typu *Black Swans*.

Również Zieja w pracach [393, 394] podkreśla wzrost znaczenia proaktywnego podejścia do zarządzania bezpieczeństwem w lotnictwie. W pracy [394] przedstawia między innymi schemat algorytmu informatycznego wspomagania proaktywnego zarządzania bezpieczeństwem lotów w lotnictwie SZ RP. Opisywany algorytm wykorzystuje użytkowane od kilku lat w lotnictwie SZ RP systemy informatyczne TURAWA (Kompleksowy system analizy i oceny bezpieczeństwa lotów lotnictwa SZ RP) oraz SAMANTA (System ewidencji i oceny procesu eksploatacji statków powietrznych) [193].

Teoria dryfu praktycznego

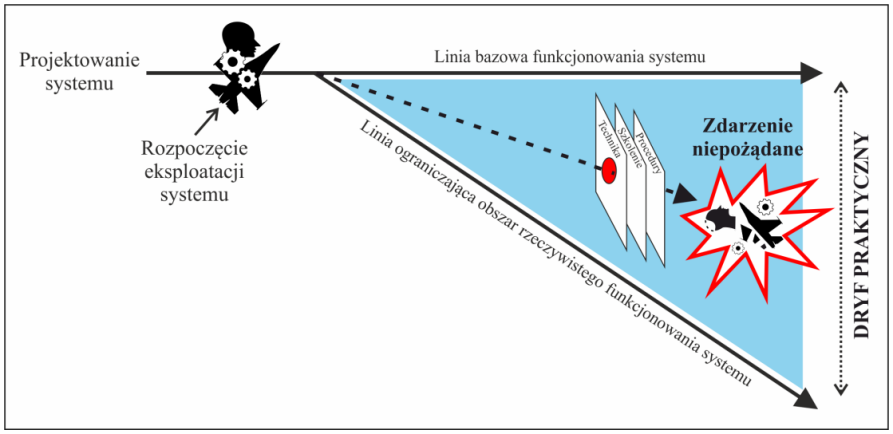
W Podręczniku Zarządzania Bezpieczeństwem ICAO (SMM) [169], w dziale dotyczącym przyczynowości zdarzeń niepożądanych w lotnictwie, zasadniczo zostały omówione dwie kwestie. Pierwsza z nich związana jest z lotniczymi zdarzeniami niepożądanymi, do których doszło z przyczyn organizacyjnych, natomiast druga związana jest z teorią dryfu praktycznego.

Stosowane w danej organizacji lotniczej (systemie lotniczym) wzorcowe procesy i procedury, z powodu braku aktualizacji, nie zawsze są w stanie przewidzieć i dostosować się do sytuacji, które mogą wystąpić podczas codziennego funkcjonowania i w miarę upływu czasu oddalają się od założonych standardów – dryfują. Doskonale obrazuje to teoria dryfu praktycznego (*practical drift*) Snooka [336]. Początki tej teorii wywodzą się z lotnictwa wojskowego, a dokładniej z lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych Stanów Zjednoczonych (USAF – *United States Air Force*). Podstawy teoretyczne dryfu praktycznego zostały opisane przez Snooka w oparciu o analizę zdarzenia niepożądanego związanego z omyłkowym zestrzeleniem dwóch śmigłowców *Black Hawk* należących do Armii Stanów Zjednoczonych (US Army – *United States Army*), przez dwa samoloty F-15 USAF w Iraku w 1994 roku.

Teoria *practical drift* jest używana w lotnictwie jako podstawa do zrozumienia jak funkcjonowanie bazowe systemu dryfuje, oddalając się od pierwotnie zaprojektowanego wzorca (rys. 3.5). Podczas projektowania systemu ustanawia

się jego bazę, uwzględniając występujące w nim obiekty techniczne, właściwie przeszkolenie operatorów do ich eksploatacji oraz przepisy i procedury normujące te działania. Uwzględnia się współoddziaływanie operacyjne pomiędzy operatorami, a obiektami technicznymi oraz kontekst operacyjny, aby zidentyfikować możliwe ograniczenia, potencjalne źródła zagrożeń oraz zdefiniować związane z nimi zagrożenia.

W momencie rozpoczęcia eksploatacji danego systemu, ten zazwyczaj działa zgodnie z powziętymi założeniami (linia bazowa funkcjonowania systemu – rys. 3.5). Jednak brak aktualizacji oraz czynniki zewnętrzne sprawiają, że rzeczywiste (operacyjne) funkcjonowanie systemu może odbiegać od tego zakładanego na etapie jego projektowania. Jest to konsekwencja działania systemu w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych czy też otoczeniu legislacyjnym. Takie zjawisko to właśnie dryf praktyczny (rys. 3.5). Zaskakujący jest fakt, iż pomimo ograniczeń systemu prowadzących do dryfu praktycznego, operatorzy (zwłaszcza operatorzy pierwszej linii) swoimi ponadstandardowymi działaniami i pomysłowością powodują, iż system nadal działa, co niewątpliwie wpisuje się w założenia koncepcji *Safety-II*.



Rysunek 3.5. Prezentacja graficzna dryfu praktycznego. Opracowanie własne na podstawie [169]

Uchwycenie i analizowanie informacji o tym co dzieje się w dryfie praktycznym dostarcza bogatego materiału poznawczego w zakresie bezpieczeństwa systemu. Im bliżej początku dryfu praktycznego, tym większa możliwość systematycznego przechwytywania informacji, rozpoznawania źródeł zagrożeń oraz formułowania zagrożeń, którymi warto się zająć celem przeprojektowania lub poprawiania systemu. Natomiast niekontrolowane rozprzestrzenianie się lokalnych modyfikacji systemu i indywidualnych strategii może spowodować niedopuszczalny dryf praktyczny, a w efekcie zdarzenie niepożądane.

Poza pracą Snooka, teoria dryfu jest również analizowana przez innych autorów w kontekście programu kosmicznego wahadłowców NASA [110], organizacji wysokiej niezawodności (HRO) [79, 285, 340], czy też sektora transportu kolejowego [308]. Kompleksowego przeglądu literatury oraz wyjaśnienia znaczeń różnych postaci dryfu dokonano w pracy [308].

W kontekście prowadzonych tu rozważań zasadnym jest zestawienie dryfu praktycznego z lotem statku powietrznego w warunkach, gdy podczas lotu występuje boczny wiatr. Dochodzi wtedy do sytuacji tzw. liniowego oraz kątowego bocznego odchylenia od nakazanej linii drogi statku powietrznego. Taka sytuacja wymaga od pilota wprowadzenia poprawki w kursie statku powietrznego tak by dotrzeć do zakładanego miejsca docelowego. Bierne wykonywanie lotu bez uwzględnienia poprawki na wiatr może zakończyć się tak znacznym oddaleniem od nakazanej linii drogi, że w efekcie dojdzie do utraty orientacji geograficznej, całkowitego zużycia paliwa i zdarzenia niepożądanego (wypadku, incydentu) z udziałem statku powietrznego. Im szybciej liniowe lub kątowe boczne odchylenie zostanie rozpoznane tym łatwiej będzie powrócić na nakazaną linię drogi. Podręcznik Zarządzania Bezpieczeństwem ICAO definiuje dryf w kontekście stopniowego oddalania się systemu od zamierzonego kursu (analogia do oddalania się statku powietrznego od nakazanej linii drogi) spowodowanym wpływami zewnętrznymi (analogia do bocznego wiatru).

Aby zapobiec opisanej wcześniej sytuacji, pilot powinien m.in. wykorzystywać do celów nawigacyjnych wszelkiego rodzaju pomoce nawigacyjne (*navigational aids*), dzięki którym będzie mógł kontrolować położenie statku powietrznego względem nakazanej linii drogi. W obszarze systemów zarządzania bezpieczeństwem Reason w pracy [300] również posługuje się określeniem pomocy nawigacyjnych w kontekście „prowadzenia nawigacji w przestrzeni bezpieczeństwa" (*navigating the safety space*) do czego niezbędne są zarówno reaktywne jak i proaktywne „pomoce nawigacyjne bezpieczeństwa" *(safety navigational aids)*.

Elementy systemów bezpieczeństwa w lotnictwie

Model „szwajcarskiego sera" opracowany przez Reasona [300] pokazuje, że zdarzenia niepożądane związane są m.in. z naruszeniami różnorodnych barier bezpieczeństwa, które stanowią jedne z elementów systemów bezpieczeństwa (SSC – *Safety Systems Components*). Takie naruszenia mogą zostać zainicjowane przez wiele czynników. Ze względu na fakt iż w modelu „szwajcarskiego sera" założono, że tak skomplikowane systemy jak lotnictwo są szczególnie dobrze chronione przez poszczególne elementy systemów bezpieczeństwa, stąd też w takich systemach jednostkowe naruszenia rzadko powodują negatywne skutki. Naruszenia elementów systemów bezpieczeństwa przez operatorów pierwszej linii mogą być opóźnioną konsekwencją decyzji podjętych na wyż-

szych szczeblach struktury organizacyjnej systemu i które mogą pozostawać uśpione aż do momentu, gdy ich destrukcyjny potencjał uaktywni się w konkretnych okolicznościach operacyjnych – eksploatacji obiektu technicznego. W tych konkretnych okolicznościach ludzkie niedoskonałości lub błędy w działaniu operatorów pierwszej linii, mogą przyczynić się do naruszenia elementów systemu bezpieczeństwa danego obiektu technicznego.

Zagadnienie czynnika (błędu) ludzkiego jest wciąż szeroko badane zarówno w obszarze lotnictwa cywilnego [29, 51, 107, 135, 237, 238] jak i wojskowego [161, 229, 252]. Wynika to m.in. z niezbadanej w pełni osobowości człowieka jako operatora pierwszej linii oraz z ciągłej zmiany zakresu zadań oraz roli tego operatora w kokpicie statku powietrznego w związku ze znacznym postępem technologicznym jaki cały czas się dokonuje w lotnictwie [240, 358, 368]. Pomimo dość skrupulatnej selekcji pilotów, zwłaszcza w lotnictwie wojskowym [31, 154, 208], nie jest możliwe znalezienie takiego operatora pierwszej linii, który nie popełniałby błędów.

W systemy lotnicze są wbudowane różne elementy systemów bezpieczeństwa m.in. chroniące przed negatywnymi skutkami zmian ludzkich zachowań lub decyzji na wszystkich poziomach systemu czy też rekompensujące brak ewolucyjnego przystosowania człowieka do operowania w takim środowisku jak przestrzeń powietrzna. Wraz z rozwojem lotnictwa pojawiło się wiele elementów systemów bezpieczeństwa, które na przestrzeni lat powodowały, podnoszenie poziomu bezpieczeństwa. Wiele z tych elementów przeniknęło i dalej przenika również do innych gałęzi transportu, co po raz kolejny udowadnia, że w kwestii rozwoju systemów bezpieczeństwa w transporcie, lotnictwo jest niekwestionowanym liderem.

W pracach [118, 120] elementy systemów bezpieczeństwa zostały podzielone na dwa rodzaje:

- elementy I rodzaju – pełniące tylko i wyłącznie funkcje bezpieczeństwa,
- elementy II rodzaju – pełniące oprócz funkcji bezpieczeństwa również funkcje związane z działaniem systemu, obiektu technicznego tego systemu lub komponentu tego obiektu technicznego.

W niniejszej rozprawie pod określeniem „elementy systemów bezpieczeństwa" rozumie się przede wszystkim wszelkiego rodzaju środki redukcji ryzyka (RRM – *Risk Reduction Measure*) określane w lotnictwie SZ RP m.in. jako środki ograniczające ryzyko. Środki redukcji ryzyka są zaliczane do elementów systemów bezpieczeństwa pierwszego rodzaju, ich podstawową właściwością jest zmniejszanie narażeń [188] pochodzących od grup współdziałających źródeł zagrożeń oddziałujących na odbiorniki narażeń, a także spełniają różne funkcje bezpieczeństwa (SF – *safety function*). Szczegółowo te zagadnienia porządkuje i wyjaśnia Gill w pracy [118] w oparciu o szeroki przegląd literatury przedmiotu. W lotnictwie funkcjonuje również wiele elementów systemów bezpieczeń-

stwa II rodzaju. Na temat konkretnych elementów systemów bezpieczeństwa zarówno I jak i II rodzaju, które występują w lotnictwie, powstało bardzo wiele prac.

Z punktu widzenia konstrukcji i wyposażenia statku powietrznego (obiektu technicznego) elementy systemów bezpieczeństwa reprezentowane są m.in. przez:

- szeroko rozumianą nadmiarowość konstrukcji [38],
- innowacyjne materiały konstrukcyjne [35, 293],
- komponenty systemu ratunkowego (*life support* [386]) takie jak np. fotele katapultowe [239, 346, 373], łódki ratunkowe [267], kamizelki ratunkowe [270], maski tlenowe [269],
- komponenty związane z ochroną przed skutkami wyładowań atmosferycznych [36, 268],
- wysokiej klasy komponenty systemów awioniki cyfrowej np. w postaci ACAS (*Airborne Collision Avoidance System*) [43], TCAS (*Traffic Alert and Collision Avoidance System*) [47, 151], GPWS (*Ground Proximity Warning System*) [12, 235], AGCAS (*Automatic Ground-Collision Avoidance System*) [105, 345], PARS (*Pilot Activated Recovery System*) [7, 344]
- inne komponenty wyposażenia w postaci np. deflektorów wody [217].

Ważną kwestią jest odpowiednie przygotowanie lotnisk (infrastruktury, personelu), gdzie do elementów systemów bezpieczeństwa można zaliczyć:

- lotniskowe systemy zatrzymywania samolotów [264, 387, 391],
- nowoczesne nawierzchnie pasów startowych [379], na których po opadach atmosferycznych nie zalega woda, dzięki czemu eliminuje się m.in. zjawisko hydroplaningu oraz zmniejsza dystans potrzebny do wyhamowania samolotu podczas dobiegu,
- systemy ostrzegania o śliskiej nawierzchni drogi startowej [163],
- systemy ostrzegania o uskoku wiatru, turbulencji i inwersji [339],
- wdrażanie programu FOD *Prevention* (*Foreign Object Damage Prevention*) – zespół przedsięwzięć zapobiegających uszkodzeniom statków powietrznych (głównie silników) przez ciała obce [3].

Istotne z punktu widzenia pilota są te elementy systemów bezpieczeństwa, które wspomagają procesy przygotowania pilota do misji lotniczych. Są to przede wszystkim wszelkiego rodzaju symulatory lotnicze i trenażery [180, 223, 273, 323], czy też pakiety informacji lotniczych [102–104, 207].

Z kolei grupy ratownictwa lotniskowego [4–6] stanowią reprezentację tych elementów systemów bezpieczeństwa, które ograniczają poziomy strat/szkód do jakich może dojść w wyniku aktywizacji zagrożeń.

Ciągle aktualnymi czynnikami związanymi z bezpieczeństwem, zarówno lotnictwa cywilnego jak i wojskowego, są źródła zagrożeń pochodzące ze środowiska naturalnego w postaci ptaków oraz dużych ssaków (sarna, dzik, łoś) [200, 317, 347, 354]. Jako elementy systemów bezpieczeństwa w tym zakresie należy traktować:

- grupy odstraszania ptaków wraz z sokolnikami [194, 355],
- depesze BIRDTAM (*bird notice to airman*) [263, 332],
- system radarowego unikania zderzeń z ptakami MERLIN ABAS (*Aircraft Birdstrike Avoidance System*) [305],
- wdrażany w lotnictwie SZ RP Program Ograniczania Zagrożeń Środowiskowych (POZS) [316, 318],
- działający w kilku krajach program *FlySafe* [112, 114].

Jednak pomimo wymienionych już elementów systemów bezpieczeństwa wciąż bardzo ważne pozostają opracowywane procedury postępowania w sytuacjach awaryjnych [265, 266] publikowane dla pilotów w postaci list kontrolnych (*emergency checklists*) [76, 115]. Wiele z nich przyjmuje formę papierową lub elektroniczną, jednak szczególnie w lotnictwie wojskowym występują takie procedury awaryjne, które dotyczą postępowania w sytuacjach awaryjnych związanych z deficytem czasu i które każdy pilot musi znać na pamięć – tzw. *boldface emergency checklists* [1, 89, 363]. Przykładem tego typu procedury jest procedura po zgaśnięciu silnika statku powietrznego w locie (IFSD – *In-Flight Shutdown*).

W kontekście elementów systemów bezpieczeństwa intersującym wydaję się być również pomysł stworzenia systemu, który na podstawie analizy danych dotyczących lotu, uzyskiwanych np. z rejestratorów szybkiego dostępu (QAR – *Quick Access Record*), ostrzega o możliwości wystąpienia „twardego" lądowania. Model takiego systemu zaproponowano w pracy [392].

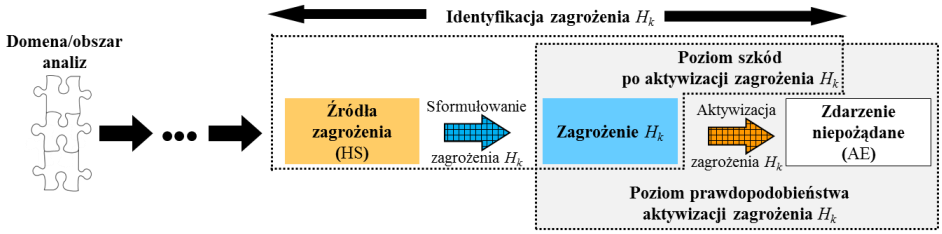
Rosnąca liczba elementów systemów bezpieczeństwa na pierwszy rzut oka wydaje się być jak najbardziej pożądana w lotnictwie. Należy jednak mieć na uwadze, że każdy kolejny element systemu bezpieczeństwa sprawia, iż cały system staje się bardziej skomplikowany. Ponadto coraz trudniej jest przewidzieć jakie interakcje mogą wystąpić pomiędzy kolejnymi elementami systemów bezpieczeństwa lub też pomiędzy elementami systemów bezpieczeństwa, a elementami pozostałych systemów [83] w skomplikowanych obiektach technicznych jakimi niewątpliwie są współczesne wojskowe statki powietrzne. Niezbędna jest świadomość źródeł zagrożeń i zagrożeń wynikających z takiego stanu rzeczy oraz podjęcie odpowiednich działań, tak by elementy systemów bezpieczeństwa spełniały swoje role w taki sposób jak to założono w projekcie. Projektowanie systemów bezpieczeństwa polega głównie na doborze odpowiednich elementów do tych systemów, kierując się przede wszystkim charakterystyką źródeł zagrożeń i skutków zdarzeń niepożądanych. W pracach [121, 127] wyka-

zano, że dobór odpowiednich elementów systemów bezpieczeństwa jest pewnym problemem decyzyjnym. Nieracjonalne działania mogą doprowadzić do powstania rozbudowanych systemów bezpieczeństwa o znacznych kosztach eksploatacji, albo nie zagwarantują sprowadzenia wartości ryzyka do zakresu dopuszczalnego. Zasadne jest więc dokonywanie wyboru elementów systemu bezpieczeństwa na podstawie stopnia osiąganej „dobroci" rozwiązania. Na przykłada, zasadne jest uzyskanie takiej struktury systemu bezpieczeństwa, która najkorzystniej zmienia stopień narażeń pochodzących od źródeł zagrożeń albo pozwala uzyskać możliwie jak największą redukcję ryzyka zagrożeń.

3.2.3. Zarządzanie ryzykiem zagrożeń w lotnictwie

Każde działanie człowieka związane jest z potencjalnymi okolicznościami powodującymi wystąpienie strat/szkód, odniesienie obrażeń, a w skrajnym przypadku nawet utratę życia. Działalność lotnictwa, zarówno wojskowego jak i cywilnego, charakteryzuje się znaczącym ryzykiem generowanych zagrożeń. Oba rodzaje lotnictwa łączy w tym aspekcie wiele podobieństw, ale występują także różnice wynikające np. ze specyfiki wykorzystywanych obiektów technicznych (statków powietrznych), czy też wykonywanych misji lotniczych.

Podstawowymi elementami uczestniczącymi w procesach zarządzania ryzykiem zagrożeń są źródła zagrożeń (HS – *hazard sources*), zagrożenia (H_k – *hazards*) oraz zdarzenia niepożądane (AE – *adverse events*) (rys. 3.6). W zarządzaniu ryzykiem zagrożeń w systemach transportowych stosuje się zaawansowane narzędzia oparte m.in. na założeniach zintegrowanej metody zarządzania ryzykiem [183].



Rysunek 3.6. Schemat ideowy łańcucha źródła zagrożenia - zagrożenie - zdarzenie niepożądane jako tła do wskazania składowych ryzyka wybranego zagrożenia. Opracowanie własne na podstawie [190]

Opracowywane są szczegółowe procedury, modele i miary ryzyka dedykowane konkretnym rodzajom transportu np. kolejowemu [54, 122], wodnemu [137, 257] czy też lotniczemu [199, 350]. Istotnym źródłem danych dla procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń w transporcie lotniczym są wyniki badań przyczyn zaistniałych lotniczych zdarzeń niepożądanych (incydentów, wypad-

ków) [280]. Owe badania prowadzone są z wykorzystaniem różnych typów modeli wypadków [11, 63, 87, 221, 234].

Definicje podstawowych pojęć

Problematyka zarządzania ryzykiem zagrożeń jest szeroko opisywana w literaturze przedmiotu. Pomimo uniwersalności koncepcji ryzyka, pośród różnych autorów [21, 25] zauważalne są różnice w rozumieniu pojęć. Między innymi dotyczy to pojęcia „zagrożenie". Z analizą problemu jego zdefiniowania można zapoznać się m.in. w pracach [121, 123, 181, 186].

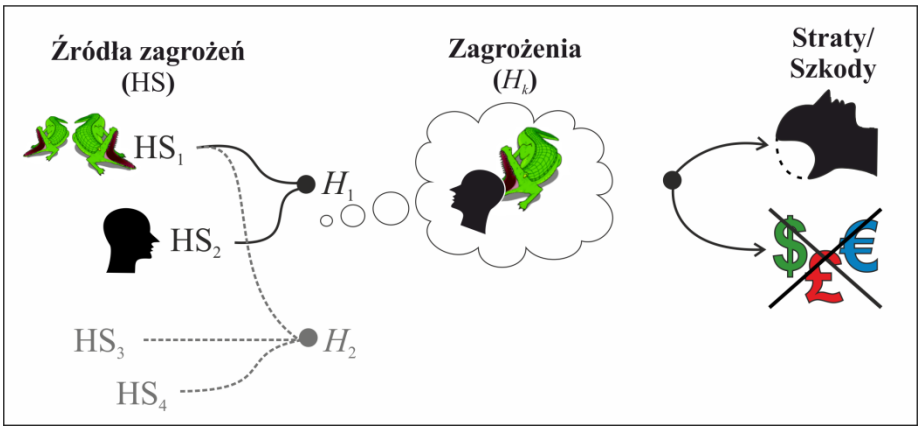
Vincoli [371] definiuje zagrożenie jako stan lub sytuację, która istnieje w środowisku pracy i może powodować niepożądane uwalnianie energii skutkujące obrażeniami fizycznymi, zranieniami i/lub zniszczeniami. Podobna definicja zagrożenia została również podana przez Girdnera [130].

W Podręczniku Zarządzania Bezpieczeństwem wydanym przez ICAO (SMM) [169] pojęcie „zagrożenie" definiuje się jako stan lub przedmiot posiadający możliwość spowodowania śmierci lub obrażeń ludzi, uszkodzeń sprzętu lub konstrukcji, straty materialnej lub zmniejszenia zdolności do realizacji wyznaczonych zadań. Ponadto wg SMM pod pojęciem „zagrożenie" należy skupiać te okoliczności, które mogą powodować lub przyczynić się do niebezpiecznej eksploatacji samolotów, lotniczego sprzętu, produktu i usług.

Z kolei Klich w [199] wspomina o kilku definicjach pojęcia „zagrożenie". Definiuje jednak to pojęcie dość szeroko, jako każde realne lub potencjalne warunki, które mogą spowodować obniżenie poziomu wykonywanego zadania, obrażenia, chorobę lub śmierć ludzi, uszkodzenie lub utratę sprzętu czy innego mienia.

Natomiast autorzy Metodyki zarządzania ryzykiem w lotnictwie SZ RP (MZR-2010) [97] definiują zagrożenie jako stan lub potencjalne źródło mogące wywołać negatywny skutek (np. obrażenia personelu, straty w mieniu). W tym przypadku wydaje się jednak, że w jednej definicji niezbyt fortunnie połączono pojęcie „zagrożenie" z pojęciem „źródło zagrożenia", co potwierdza dalsza treść tego dokumentu.

W sposób nieformalny zagrożenie można rozumieć jako sposób wyrażenia strachu powodowanego świadomością powstawania strat/szkód [121, 189]. Rozumienie zagrożenia zaproponowane w pracy [188] (jako hipotetyczny stan obszaru analiz prowadzący do zdarzeń niepożądanych) podkreśla uwarunkowanie aktywizacji danego zagrożenia (H_k) w koincydencji wszystkich źródeł tego zagrożenia (rys. 3.7). W ten sam sposób zagrożenie jest również rozumiane m.in. w pracach [55–57, 123, 192, 214] oraz będzie stosowane w dalszej części rozprawy.



Rysunek 3.7. Schematyczna reprezentacja zależności między źródłami zagrożeń, zagrożeniami i stratami/szkodami w wyniku ich aktywizacji. Opracowanie własne na podstawie [128]

Definicje pojęcia „zagrożenie" zazwyczaj wskazują konieczność rozpoznania źródeł zagrożenia oraz strat/szkód związanych z jego aktywizacją. Źródła zagrożeń nazywane są w literaturze m.in. czynnikami zagrożeń. Źródła zagrożeń mogą być tworami fizycznymi, chemicznymi, biologicznymi, psychofizycznymi, organizacyjnymi, osobowymi, a ich obecność, stan lub atrybuty są powodem sformułowania zagrożenia [118, 190]. Jako źródła zagrożeń należy traktować także niektóre zdarzenia niepożądane (ich konsekwencje). Podobnie jak inne rodzaje źródeł zagrożeń, zdarzenia niepożądane mogą być powodem sformułowania kolejnych zagrożeń, gdyż koincydencja tych zdarzeń i/lub innych źródeł zagrożeń generuje straty/szkody [118].

Problem definicji w obszarze procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń dotyczy nie tylko pojęć „zagrożenia" i „źródeł zagrożeń". W pracy [190] została zaproponowany wspólny aparat pojęciowy dla omawianego problemu w obszarze transportu. Tego rodzaju działania uznaje się za jeden z istotnych elementów Zintegrowanego Systemu Bezpieczeństwa Transportu [213–216].

Krytyczna analiza metody zarządzania ryzykiem w lotnictwie SZ RP

Obszernej charakterystyki oraz porównania różnych metod zarządzania ryzykiem zagrożeń, stosowanych zarówno w lotnictwie cywilnym jak i wojskowym, na podstawie literatury przedmiotu dokonał Szrama w pracy [349]. Zauważa on, że cechą wspólną wszystkich przepisów jest fakt, iż zarządzanie ryzykiem zagrożeń jest kluczowym elementem lotniczych systemów zarządzania bezpieczeństwem, które obligatoryjnie muszą być powoływane w każdej organizacji lotniczej. Wśród zagranicznych dokumentów wojskowych w tematyce zarządzania ryzykiem zagrożeń, szczególną uwagę należy zwrócić m.in. na pozycje amerykańskie takie jak *Risk Management Guide for DoD Acquisition* [360],

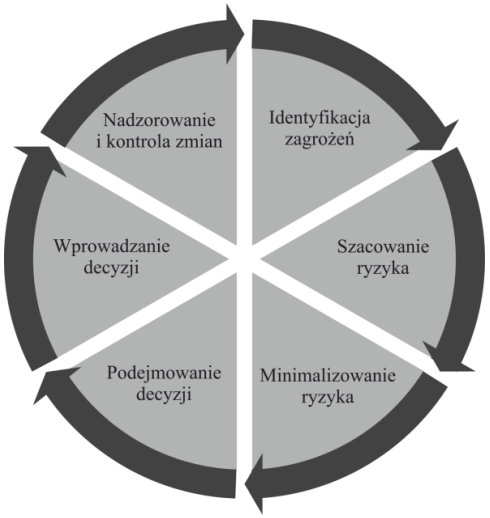
Standard Practice for System Safety MIL-STD-882D [361], *Air Force Special Instruction 90-802 – Risk Management* [364], czy też brytyjski *Manual of Air Safety* [251].

Zarządzanie ryzykiem zagrożeń (ORM – *Operational Risk Management*) w całym lotnictwie SZ RP, w którego skład wchodzi m.in. lotnictwo taktyczne sił powietrznych, realizowane jest na podstawie wytycznych i wskazówek zawartych w Metodyce zarządzania ryzykiem w lotnictwie SZ RP (MZR-2010) [97] oraz Poradniku – podstawy zarządzania ryzykiem w lotnictwie SZ RP (PZR-2010) [98]. Oba dokumenty należy traktować jako rozwinięcie i uszczegółowienie ogólnych kwestii dotyczących zarządzania ryzykiem zagrożeń w lotnictwie SZ RP, zawartych w Instrukcji bezpieczeństwa lotów lotnictwa SZ RP (IBL-2015) [166], która w hierarchii (załącznik Z3 – rys. Z3.3) stanowi dokument normatywny wyższego poziomu.

Autorzy MZR-2010, PZR-2010 oraz IBL-2015 definiują zarządzanie ryzykiem zagrożeń jako proces wspierający podejmowanie decyzji poprzez systemową oceną możliwych sposobów działania, identyfikację zagrożeń i strat/szkód oraz wskazywanie najlepszego sposobu wykonywania misji lotniczych. Według autorów MZR-2010 w skład ogólnie rozumianego zarządzania ryzykiem zagrożeń w lotnictwie SZ RP wchodzą również zarządzanie zasobami załogi (CRM – *Crew Resource Management*) oraz zarządzanie zasobami personelu technicznego (MRM – *Maintenance Resource Management*).

Metodyka zarządzania ryzykiem w lotnictwie SZ RP określa obowiązki i zakres odpowiedzialności osób funkcyjnych na poszczególnych szczeblach dowodzenia SZ RP w zakresie zarządzania ryzykiem zagrożeń (tab. 3.1) oraz zawiera charakterystykę (z użyciem konkretnego przykładu) podstawowych etapów procesu zarządzania ryzykiem zagrożeń (rys. 3.8) w lotnictwie SZ RP. Poszczególne etapy procesu zarządzania ryzykiem zagrożeń tworzą razem model zarządzania ryzykiem zagrożeń w lotnictwie SZ RP (załącznik Z3 – rys. Z3.4) opisany w PZR-2010.

Ponadto w PZR-2010 opisano również podstawowe kwestie teoretyczne dotyczące ogólnej tematyki zarządzania ryzykiem zagrożeń. Dokumentowanie procesu szacowania ryzyka zagrożeń w lotnictwie wojskowym SZ RP prowadzi się w postaci arkuszy zarządzania ryzykiem (AZR – na poziomie ogólnym) oraz kart szacowania ryzyka (KSR – na poziomie szczegółowym), które szczegółowo opisano w [97], a przykłady umieszczono w załączniku Z3 – rys. Z3.5, rys. Z3.6. Oszacowany z wykorzystaniem KSR poziom ryzyka jest podstawą do określenia poziomu odpowiedzialności i odpowiadającego mu szczebla dowodzenia na jakim musi zostać podjęta decyzja dotycząca realizacji misji lotniczej (tab. 3.1).



Rysunek 3.8. Etapy procesy zarządzania ryzykiem w lotnictwie [97]

Tabela 3.1

Zestawienie poziomów odpowiedzialności kolejnych szczebli dowodzenia za podejmowanie decyzji dotyczących akceptacji poziomu ryzyka zagrożeń

Poziom odpowiedzialności	**Szczebel dowodzenia**	**Poziom ryzyka**
Poziom 1	Bezpośredni przełożony zarządzającego loty: Dowódca Generalny, Dowódca Operacyjny, Inspektor Sił Powietrznych	Ekstremalnie wysoki
Poziom 2	Zarządzający loty: dowódcy związków taktycznych tj. skrzydło, brygada, flotylla	Wysoki
Poziom 3	Organizatorzy lotów: dowódcy jednostek lotniczych tj. baza, komponent lotniczy	Średni
Poziom 4	Pilot Operacyjny Lotów, instruktor, bezpośredni przełożony	Niski

Źródło: [97]

Powstanie zarówno MZR-2010 jak i PZR-2010 było konsekwencją pewnego rodzaju refleksji nad przyczynami katastrofy samolotu Tu-154M pod Smoleńskiem. Do 2010 roku nie istniały żadne dokumenty normatywne, które regulowałyby w jakikolwiek oficjalny sposób kwestie związane z zarządzaniem ryzykiem zagrożeń w lotnictwie SZ RP. Niebawem minie jednak 10 lat od wprowadzenia tych dokumentów, ale do tej pory niestety nie wprowadzono do nich żadnych poważniejszych aktualizacji, ku którym istnieje wiele przesłanek.

Przede wszystkim należałoby zacząć od kompleksowej rewizji stosowanych w tych dokumentach pojęć i ich definicji. W obecnym stanie oba dokumenty przyswaja się dość trudno m.in. ze względu na brak właściwie zdefiniowanych pojęć takich jak np. „zagrożenie" oraz „źródło zagrożenia", które wydają się być utożsamiane ze sobą oraz zupełnie nie wpisują się w aparat pojęciowy jaki został opracowany w ramach projektu ZEUS [213–216]. W PZR-2010 podaje się przykład bocznego wiatru jako zagrożenia, natomiast w myśl prowadzonych rozważań jest to źródło zagrożenia. Autorzy obu dokumentów nie wyodrębnili również różnicy pomiędzy określeniami „zdarzenie" i „zagrożenie" ponieważ przy okazji prawdopodobieństwa jako składowej ryzyka zamiennie stosuje się określenia „prawdopodobieństwo zdarzenia" oraz „prawdopodobieństwo zagrożenia".

Przedstawiony problem potęguje fakt, iż autorzy omawianych dokumentów nie zachowują konsekwencji w stosowaniu zdefiniowanych przez siebie pojęć. Dotyczy to na przykład nazwy „Etapu 2" modelu procesu zarządzania ryzykiem zagrożeń (załącznik Z3 – rys. Z3.4, rys. Z3.7), który w MZR-2010 określono jako „szacowanie ryzyka", natomiast w PZR-2010 użyto określenia „ocena ryzyka". Jest to tym bardziej niezrozumiałe ponieważ na początku obu dokumentów różnie zdefiniowano oba pojęcia, co sugeruje że nie można ich ze sobą utożsamiać. W stosunku do tej kwestii autor w dalszej części niniejszej rozprawy używa określeń odpowiednio „szacowanie ryzyka zagrożeń" oraz „wycena ryzyka zagrożeń".

Rozbieżności merytoryczne pomiędzy MZR-2010, a PZR-2010 zaczynają się już na samym początku obu dokumentów. W kontekście podstawowych zasad procesu zarządzania ryzykiem zagrożeń w MZR-2010 wyróżnia się cztery zasady, natomiast w PZR-2010 już tylko trzy. Kolejne rozbieżności pomiędzy MZR-2010 i PZR-2010 dotyczą m.in. kwestii ekspozycji jako składowej ryzyka. Według MZR-2010, dla ułatwienia szacowania ryzyka zagrożeń, ekspozycję uwzględnia się w kalkulacji prawdopodobieństwa. W związku z tym ekspozycja oraz prawdopodobieństwo rozpatrywane są jako jedna składowa przy wyznaczaniu indeksu ryzyka, co jest dopuszczalna praktyką. Natomiast w PZR-2010 zaprezentowano podwójne standardy. Niekonsekwencja ujawnia się przy okazji wyznaczania indeksu ryzyka, który przedstawiony jest w tabeli szacowania ryzyka jako iloczyn prawdopodobieństwa i dotkliwości zagrożeń (PZR-2010 – strona 32), natomiast we wzorze na obliczanie potencjalnego ryzyka (PZR-2010 – strona 43) oraz w tekście wyróżniono wszystkie trzy składowe ryzyka – prawdopodobieństwo (P), dotkliwość (D) oraz ekspozycję (E). Brak spójności i konsekwencji w PZR-2010 widać również na schematach algorytmów zarządzania ryzykiem zagrożeń. Zarówno w schemacie ogólnym jak i szczegółowym zupełnie pominięto analizę ekspozycji (załącznik Z3 – rys. Z3.8, rys. Z3.9).

Ostatecznie zarówno w MZR-2010 jak i w PZR-2010 indeks ryzyka jest wyznaczany jako iloczyn prawdopodobieństwa i dotkliwości. W obu dokumentach

inaczej jednak zdefiniowano poziomy (kategorie) prawdopodobieństwa i dotkliwości. W MZR-2010 wyróżniono pięć poziomów (kategorii) prawdopodobieństwa: bardzo częste, częste, okazjonalne, rzadkie, bardzo rzadkie. Z kolei w PZR-2010 również wyróżniono pięć poziomów (kategorii) prawdopodobieństwa, ale nazwano je zupełnie inaczej, tj.: częste, sporadyczne, niewielkie, mało prawdopodobne, ekstremalnie nieprawdopodobne. Skala poziomów (kategorii) dotkliwości w MZR-2010 jest czterostopniowa i opisana jako katastroficzna, znaczna, umiarkowana, niewielka, natomiast w PZR-2010 jest pięciostopniowa i opisana jako katastroficzna, krytyczna, poważna, niewielka, nieistotna. Konsekwencją różnych skali prawdopodobieństwa i dotkliwości są różne tabele ryzyka (załącznik Z3 – tab. Z3.1, tab. Z3.2) – w MZR-2010 jest to tabela indeksów ryzyka, a w PZR-2010 jest to tabela szacowania ryzyka.

W obu przypadkach efektem oceny ryzyka jest matryca ryzyka. Jednak w przypadku MZR-2010 wielkość indeksu ryzyka jest efektem iloczynu wartości liczbowych czynników ryzyka (załącznik Z3 – tab. Z3.1), natomiast w PZR-2010 indeks ryzyka jest połączeniem alfanumerycznym (załącznik Z3 – tab. Z3.2) określającym pole tabeli, które nie wynika wprost z jego położenia. W MZR-2010 brakuje również przypisania indeksów ryzyka do kategorii ryzyka (wycena ryzyka zagrożeń), tak jak to zaproponowano w PZR-2010, gdzie określone indeksy ryzyka zakwalifikowano do następujących kategorii ryzyka: akceptowalne, tolerowane, niedopuszczalne. Kategorie ryzyka zaprezentowano w postaci odwróconego trójkąta obszarów tolerancji ryzyka (załącznik Z3 – rys. Z3.10). Przy okazji kategorii ryzyka wspomina się również o czymś takim jak „proponowane kryteria tolerancji ryzyka" tj.: niedopuszczalne w istniejących okolicznościach, zadowalające, akceptowalne. Natomiast w MZR-2010 dokonano jedynie podziału poziomów (kategorii) ryzyka na ekstremalnie wysokie, wysokie, średnie, niskie i przypisano im odpowiednie przedziały wartości liczbowych indeksów ryzyka nie przeprowadzając odpowiedniej wyceny ryzyka zagrożeń. Ale przedziały liczbowe indeksów ryzyka zaproponowane w MZR-2010 są zupełnie inne niż te, które przedstawiono w dalszej części PZR-2010. Różnica dotyczy skali oraz przypisanych – poszczególnym wartościom – poziomów (kategorii) ryzyka (załącznik Z3 – tab. Z3.3, tab. Z3.4).

Różnic pomiędzy MZR-2010 oraz PZR-2010 jest więcej, jednak podane tu przykłady w wystarczający sposób uzasadniają potrzebę krytycznego spojrzenia na ich wartość merytoryczną oraz sygnalizują, że wymagana jest ich wnikliwa analiza oraz wprowadzenie działań naprawczych.

Wśród pilotów, którzy biorą praktyczny udział w procesie zarządzania ryzykiem zagrożeń, poprzez obowiązkowe sporządzanie przed każdą misją lotniczą karty szacowania ryzyka (KSR), funkcjonuje powszechna opinia, iż taka forma szacowania ryzyka nie wnosi znaczącej wartości dodanej do poziomu ich przygotowania do misji lotniczej. Karta szacowania ryzyka powszechnie jest uważa-

na za „zbędną biurokrację" i „pochłaniacz" cennego czasu przygotowania do misji lotniczej.

W kontekście poprawności oraz wartości merytorycznej KSR również można pokusić się o konstruktywną krytykę. Dotyczy to między innymi przypisywania wartości liczbowych (punktowych) ryzyka do – w gruncie rzeczy – źródeł zagrożeń. Niekonsekwencją jest przede wszystkim to, że w analizie poszczególnych źródeł zagrożeń wyróżniono trzy poziomy (kategorie) ryzyka, tj.: wysokie, średnie, niskie. Natomiast w ogólnym szacowaniu ryzyka zagrożeń dla całej misji lotniczej, w przykładzie umieszczonym MZR-2010, pojawia się również poziom (kategoria) „ekstremalnie wysokie" (załącznik Z3 – rys. Z3.6). Z kolei w przykładzie KSR umieszczonym w PZR-2010 już nie wskazuje się na ten poziom (kategorię) ryzyka.

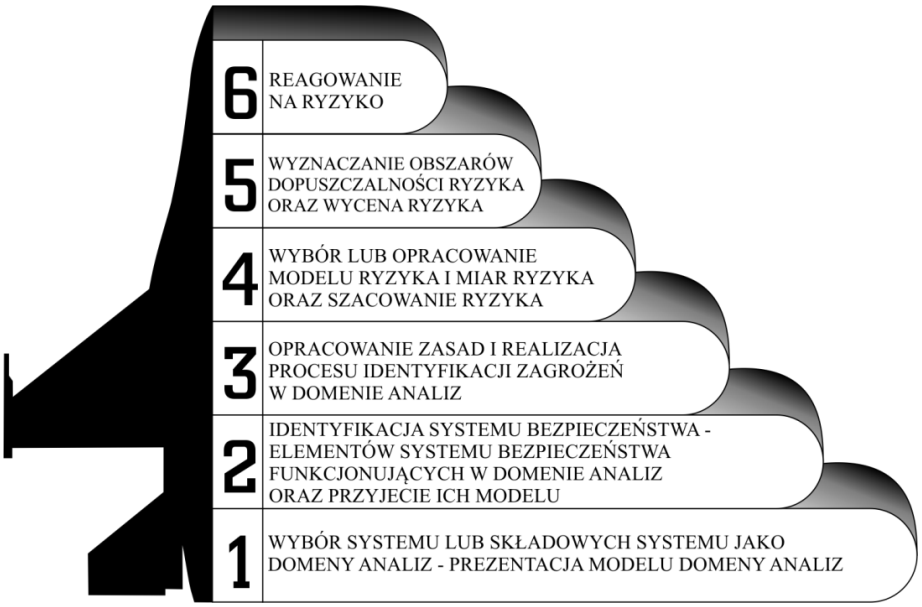
W KSR wykorzystuje się metodę „5M", która służy do rozpoznawania i klasyfikowania (5 kategorii: *Man, Machine, Mission, Media, Management*) źródeł zagrożeń określanych w MZR-2010 mianem przyczyn zagrożeń i/lub utożsamianych z zagrożeniami. W środowisku lotnictwa SZ RP metoda „5M" bywa często potocznie określane jako model zarządzania ryzykiem, co jest zupełnie niezrozumiałe w kontekście języka pojęć procesu/metody zarządzania ryzykiem zagrożeń.

To co kryje się pod „5M" bywa różnie określane w literaturze przedmiotu. Klich w [199] w stosunku do „5M" używa określeń „teoria", „model", a nawet „system", lecz prezentuje „5M" w kontekście identyfikowania przyczyn wypadków oraz określania obszarów, w których pojawiają się błędy niosące ze sobą zagrożenia. Z kolei Gill w [118], przy okazji omawiania diagramu Ishikawy, określa „5M" mianem układu.

W gruncie rzeczy „5M" stanowi część diagramu Ishikawy [204] i w niniejszej rozprawie określany jest mianem metody. Głównym zadaniem przy wykorzystaniu diagramu Ishikawy jest wskazanie źródeł zagrożeń wywołujących określony skutek i ich uporządkowanie – w taki sposób by wykazać ich logiczne powiązanie ze skutkami. Źródła zagrożeń klasyfikuje się, wprowadzając pięć ich klas.

Schemat procesów zarządzania ryzykiem w wybranej domenie analiz

Metody zarządzania ryzykiem to logiczne i systematycznie uporządkowane zestawy procesów, procedur i modeli. W reakcji na krytyczne wyniki analizy metody zarządzania ryzykiem stosowanej w lotnictwie SZ RP, w ramach niniejszej rozprawy proponuje się stosować koherentny schemat procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń oparty na sześciu krokach (rys. 3.9). Całość stworzy ogólny zarys metody zarządzania ryzykiem zagrożeń, którą można zastosować dla domen analiz systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego.



Rysunek 3.9. Schemat procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń

Kolejne kroki schematu (rys. 3.9) obejmują:

- wybór systemu lub składowych systemu (systemów składowych, procesów, operacji procesów) jako domeny analiz – prezentacja modelu domeny analiz,
- identyfikacja systemu bezpieczeństwa – elementów systemu bezpieczeństwa funkcjonujących w domenie analiz oraz przyjęcie ich modelu,
- realizacja procesu identyfikacji zagrożeń w domenie analiz,
- wybór lub opracowanie modelu ryzyka i miar ryzyka oraz szacowanie ryzyka,
- wyznaczanie obszarów dopuszczalności ryzyka oraz wycena ryzyka,
- reagowanie na ryzyko.

W ramach proponowanego schematu jest miejsce na prezentowanie i aplikowanie nowych koncepcji modelowania domen (obszarów) analiz, identyfikacji zagrożeń, oceny ryzyka zagrożeń oraz procedur reagowania na ryzyko.

3.3. Wskazanie luki badawczej

Zasygnalizowane rozbieżności w definicjach podstawowych pojęć zawartych w [97, 98, 166] z zakresu systemu bezpieczeństwa lotów (SBL) funkcjonującego w lotnictwie SZ RP, to tylko niewielka część problemu. W całym lotnictwie SZ RP obserwuje się problem związany z definiowaniem używanych pojęć. Przeja-

wia się to w postaci stosowania wielu definicji tych samych pojęć, korzystania z wielu źródeł pojęć, a także implementowania pojęć z obcojęzycznych dokumentów sojuszniczych NATO, takich jak np. [272] bez ich wnikliwej analizy i często też bez zastosowania tłumaczeń eksperckich. Wszystko to sprawia, że obecnie często dochodzi do sytuacji kiedy np. zagrożenia są utożsamiane ze źródłami zagrożenia lub misja lotnicza, lot i zadanie lotnicze znaczą to samo. Na przykład w pracach Lewitowicza [225, 226] oraz Cwojdzińskiego [65–67] trudno znaleźć wyraźną granicę znaczeniową pomiędzy takimi pojęciami jak misja lotnicza, lot oraz zadanie lotnicze. Cwojdziński między innymi w [65, 67] opisuje model misji lotniczej oparty na rachunku prawdopodobieństwa odniesienia sukcesu, gdzie posługuje się dodatkowo pojęciami operacyjnego zadania lotniczego, zadania bojowego oraz zadania operacyjnego, których znaczenia zdają się być utożsamiane ze znaczeniem pojęcia misja lotnicza. Z kolei Lewitowicz w pracy [226] definiując pojęcie misja lotnicza wyznacza ramy czasowe jej trwania od startu do lądowania samolotu, co nie jest zgodne z definicją misji lotniczej jaka została przyjęta w niniejszej rozprawie.

Zamieszanie związane z aparatem pojęciowym powoduje, że kolejni członkowie personelu latającego nie rozumieją podstawowych dokumentów i dalej powielają te same błędy. Bez odpowiedniego aparatu pojęciowego trudno właściwie scharakteryzować wybraną domenę analiz, celem przeprowadzenia w jej ramach procesu zarządzania ryzykiem zagrożeń.

Aby jednak właściwie przeprowadzić charakterystykę domeny analiz należy najpierw tę domenę odpowiednio opisać/zaprezentować/odwzorować adekwatnie do kierunku dalszych analiz np. w postaci modelu systemu. Model jest zawsze pewnego rodzaju odwzorowaniem systemu w prostszą reprezentację. Przybliża zachowanie systemu w wybranych obszarach [146], równocześnie uwydatniając jego jedną cechę i tłumiąc inną. Roy w pracy [310] określa model jako „karykaturę rozważanego fragmentu rzeczywistości". Zasadnym jest stworzenie modelu systemu ponieważ obecne systemy funkcjonujące w lotnictwie SZ RP są na tyle skomplikowane i rozbudowane, że próby prowadzenia jakichkolwiek analiz na „oryginałach" nie przyniosłyby zakładanego rezultatu, a nawet mogłyby zaciemnić kluczowe kwestie tychże analiz. Z modelu systemu możliwe jest wybranie jego fragmentu i potraktowanie go jako domeny dla procesu zarządzania ryzykiem zagrożeń. Z punktu widzenia systemowego, trudno jednak znaleźć w literaturze dotyczącej lotnictwa taktycznego sił powietrznych, taki model tego systemu, który pozwalałby z łatwością wyodrębnić domenę związaną np. tylko z użytkowaniem samolotów lotnictwa taktycznego.

Jak wykazano w podrozdziale 3.2.3 obecnie stosowana metoda zarządzania ryzykiem w lotnictwie SZ RP posiada pewne wady merytoryczne jak i praktyczne. Pomimo upływu lat, w takich dokumentach normatywnych jak [97, 98] nie są wprowadzane żadne istotne zmiany. Świat nauki w wyniku badań prowadzo-

nych w ramach inżynierii bezpieczeństwa, proponuje różnego rodzaju nowe teorie czy też podejścia do dziedziny bezpieczeństwa lotniczego takie jak przedstawiono w podrozdziałach 3.2.1 oraz 3.2.2. Jednak nie pojawiają się one w praktycznym zastosowania w lotnictwie SZ RP.

Zarówno w MZR-2010 jaki i PZR-2010 poświęcono niewiele uwagi zagadnieniom związanym z redukcją ryzyka w wyniku stosowania różnych elementów systemów bezpieczeństwa. Co więcej, nawet w tej kwestii występują różnice pomiędzy tymi dokumentami, dotyczące liczby sposobów redukcji ryzyka, co do których również stosuje się różne nazewnictwo. W MZR-2010 wyróżniono siedem głównych opcji redukcji ryzyka, do których zalicza się: odrzucenie wykonania zadania, uniknięcie ryzyka, opóźnienie akceptacji ryzyka, przeniesienie ryzyka, podział zadania, kompensacja oraz redukcja poprzez np. zastosowanie nowego rozwiązania technicznego czy też zastosowanie środków redukcji osobistej. Natomiast w PZR-2010 mówi się już tylko o trzech ogólnych strategiach kontrolowania ryzyka (jego zmniejszania) poprzez unikanie ryzyka, redukcję ryzyka, przeniesienie ryzyka.

Jak wykazano w podrozdziale 3.2.2 redukowanie poziomu ryzyka zagrożeń może odbywać się poprzez wprowadzanie do systemów lotniczych różnych elementów systemów bezpieczeństwa. Pojawia się ich coraz więcej wraz z rozwojem lotnictwa, jednak brak jest w tym zakresie pozycji literaturowych, które spójnie i kompleksowo opisywałyby to zagadnienie np. w stosunku do systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego sił powietrznych. Taki stan rzeczy potwierdzają również wcześniej opisane wyniki analiz MZR-2010 oraz PZR-2010 w tym zakresie. Oczywiście pojawiają się prace, które wybiórczo opisują pojedyncze elementy systemów bezpieczeństwa (patrz podrozdział 3.2.2) jakie funkcjonują w lotnictwie taktycznym sił powietrznych. Brak jest jednak kompleksowego spojrzenia na to zagadnienie w kontekście zarządzania ryzykiem zagrożeń związanych z niezdatnościami lub nieprawidłowym działaniem elementów systemów bezpieczeństwa.

Autor niniejszej rozprawy obserwuje pewnego rodzaju dryf praktyczny poziomu bezpieczeństwa w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego SP RP, skupiając szczególną uwagę na zaobserwowanych przypadkach zawodności elementów systemów bezpieczeństwa. Podejmowanie przez autora tematyki zarządzania ryzykiem zagrożeń, jest przejawem realizacji w praktyce idei kultury bezpieczeństwa lotów oraz służy promowaniu bezpieczeństwa lotów. Ponadto podejmowana tematyka rozprawy wpisuje się w politykę bezpieczeństwa lotów lotnictwa SZ RP w kontekście podnoszenia kwalifikacji oraz angażowaniu personelu lotniczego w działaniach na rzecz bezpieczeństwa lotów [166].

Biorąc pod uwagę zaprezentowane wcześniej aspekty, ujawnia się luka badawcza obejmująca zarządzanie ryzykiem zagrożeń w prawidłowo usytuowa-

nym, przedstawionym i opisanym (w postaci modelu) systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego, ze szczególnym uwzględnieniem funkcjonujących w nim elementów systemów bezpieczeństwa. Zarządzania ryzykiem zagrożeń z użyciem schematu procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń (rys. 3.9) pozwoli na stworzenie pewnego rodzaju alternatywy w tej dziedzinie dla lotnictwa taktycznego, które obecnie bazuje na IBL-2015, MZR-2010 oraz PZR-2010.

3.4. Cele i zakres rozprawy

Główny cel rozprawy

Głównym celem rozprawy jest przeprowadzenie procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń generowanych w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego sił powietrznych.

Rozważania prowadzone są w oparciu o analizę sytuacji eksploatacyjnej samolotów w systemie lotnictwa taktycznego na przykładzie lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych RP. Wskazany system użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego zostaje odwzorowany przy użyciu autorskiego modelu w formacie zagregowanej domeny analiz. Procesy zarządzania ryzykiem zagrożeń zostaną przeprowadzone według schematu przedstawionego na rysunku 3.9 i na przykładzie wybranej domeny analiz systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4.

Cząstkowe cele rozprawy

Zamierzone efekty osiągnięcia głównego celu rozprawy pojawią się jako suma rezultatów zadań badawczych wynikających z następujących celów cząstkowych:

1. Charakterystyka systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego ze szczególnym uwzględnieniem innowacyjnego modelu systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego w postaci zagregowanej domeny analiz, przygotowanym na przykładzie lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych RP.
2. Identyfikacja i opracowanie modelu formalnego zapisu elementów systemu bezpieczeństwa funkcjonujących w wybranej domenie analiz systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego na przykładzie systemu użytkowania samolotów Su-22M4.
3. Opracowanie i wykazanie przydatności nowego modelu metody identyfikacji zagrożeń w wybranej domenie analiz systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4.
4. Opracowanie i zastosowanie nowego modelu ryzyka uwzględniającego m.in. deficyt skuteczności oddziaływania elementów systemu bezpieczeń-

stwa jako jedno z kryteriów analizy ryzyka w wybranej domenie analiz systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4.
5. Realizacja przykładowego procesu reagowania na ryzyko zagrożeń zidentyfikowanych w wybranej domenie analiz systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4.

Głównym założeniem opracowania nowego modelu metody identyfikacji zagrożeń, jest zapewnienie zwiększenia świadomości i skuteczności pilotów w trakcie realizacji procedur rozpoznawania i grupowania źródeł zagrożeń oraz formułowania zagrożeń w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego.

Zakres rozprawy

Wstęp do niniejszej rozprawy stanowią rozważania obejmujące zagadnienia dotyczące aplikowania metodologii systemowej w coraz szerszej gamie dziedzin ludzkiej aktywności. Rozważania na temat metodologii systemowej stanowią wprowadzenie do podstawowych zagadnień dotyczących lotnictwa taktycznego, zarządzania ryzykiem zagrożeń w lotnictwie taktycznym, podstawowych pojęć oraz poruszanych problemów, które w niniejszej rozprawie będą rozpatrywane z punktu widzenia systemowego.

W rozdziale drugim zawarto charakterystykę systemu lotnictwa taktycznego opartą na przykładzie lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych RP. Charakterystyka systemu lotnictwa taktycznego zostaje przeprowadzona z wykorzystaniem metamodelu systemu lotnictwa taktycznego o pięciu poziomach dekompozycji.

W niniejszym rozdziale rozprawy przedstawiono genezę problematyki badawczej oraz wyniki analizy stanu wiedzy w zakresie inżynierii bezpieczeństwa, systemów zarządzania bezpieczeństwem oraz zarządzania ryzykiem zagrożeń w lotnictwie. W efekcie wskazano lukę badawczą, sformułowano cel główny i cele cząstkowe rozprawy oraz wizje realizacji jej zasadniczej części. Wizja realizacji zasadniczej części rozprawy jest konsekwencją zadań badawczych, które wynikają ze sformułowanych celów cząstkowych. Sprawozdanie merytoryczne z realizacji tych zadań badawczych będą przedstawione w rozdziałach od 4 do 7, natomiast rozdział 8 będzie stanowić podsumowanie rozprawy.

Rozdział czwarty będzie obejmował charakterystykę systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. Punktem wyjścia do rozważań na temat systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego będą ogólne zagadnienia dotyczące eksploatacji samolotów w lotnictwie taktycznym oraz cykli czynności lotniczych pilotów lotnictwa taktycznego. Ważnym elementem tego rozdziału rozprawy będzie wyjaśnienie i rozgraniczenie znaczeń takich pojęć jak misja lotnicza, lot i zadanie lotnicze. System użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego zostanie zaprezentowany w formacie zagregowanej domeny analiz składającej się z siedmiu rozłącznych domen analiz.

W rozdziale piątym zostanie omówione szerokie zagadnienie dotyczące elementów systemów bezpieczeństwa funkcjonujących w lotnictwie taktycznym. Przedstawiona zostanie klasyfikacja elementów systemów bezpieczeństwa według ośmiu kategorii tych elementów. Zostaną scharakteryzowane wybrane elementy systemu bezpieczeństwa samolotu Su-22M4, które są istotne z punktu widzenia między innymi realizacji zadań lotniczych. Na podstawie rozważań prowadzonych w ramach innych prac w zakresie elementów systemów bezpieczeństwa jako środków redukcji ryzyka, zostanie zaproponowany model formalnego zapisu elementów systemów bezpieczeństwa funkcjonujących w lotnictwie taktycznym.

Rozdział szósty poświęcony będzie rozważaniom dotyczącym identyfikacji zagrożeń w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. Proces identyfikacji zagrożeń zostanie przeprowadzony wg koncepcji identyfikacji zagrożeń w przód z zastosowaniem arkuszy HIM (*Hazard Identification Model*). W ramach procedury rozpoznawania źródeł zagrożeń zostanie zastosowana metoda „6M". W ramach tej metody szczególna uwaga zostanie skupiona na tych źródłach zagrożeń, które związane są z elementami systemów bezpieczeństwa. Zastosowanie arkusza HIM wraz z metodą „6M" zostanie zaprezentowane na przykładzie identyfikacji zagrożeń generowanych w wybranej domenie analiz systemu użytkowania samolotu lotnictwa taktycznego Su-22M4. Końcowym produktem procesu identyfikacji zagrożeń będą karty charakterystyki zagrożeń stanowiące części składowe przyszłego rejestru zagrożeń przewidzianego do opracowania.

W rozdziale siódmym zostanie zaprezentowany model ryzyka przewidziany dla domen analiz systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. Model ten obejmie między innymi takie kryterium analizy ryzyka jak deficyt skuteczności oddziaływania elementów systemu bezpieczeństwa na źródła zagrożeń, co wpisuje się w ogólny trend tematyczny niniejszej rozprawy związany z elementami systemów bezpieczeństwa. Opracowany model ryzyka zostanie następnie zastosowany do oceny ryzyka zagrożeń zidentyfikowanych z wykorzystaniem arkusza HIM w wybranej domenie analiz. Po zakwalifikowaniu wartości ryzyka poszczególnych zagrożeń do obszarów kategorii ryzyka, zostaną przeprowadzone przykładowe procedury reagowania na ryzyko zagrożeń.

Rozdział ósmy stanowić będzie podsumowanie rozważanych w rozprawie zagadnień. Zostaną przedstawione efekty realizacji zadań badawczych rozprawy. Końcowymi elementami tego rozdziału będą zestawienia uwag i wniosków oraz propozycje obszarów dalszych badań.

4. SYSTEM UŻYTKOWANIA SAMOLOTÓW LOTNICTWA TAKTYCZNEGO JAKO ZAGREGOWANA DOMENA ZARZĄDZANIA RYZYKIEM ZAGROŻEŃ

4.1. Wprowadzenie

Szybko postępujący rozwój lotnictwa, zarówno cywilnego jak i wojskowego, powoduje, że obszar zagadnień eksploatacji statków powietrznych nabiera coraz większego znaczenia. To z kolei wiąże się z postępującą ewolucją podstawowych składowych systemu eksploatacji statków powietrznych, tj. systemu użytkowania oraz systemu utrzymania. Systemowe traktowanie eksploatacji statków powietrznych znajduje coraz szerszą rzeszę zwolenników w lotnictwie cywilnym i wojskowym. Nowe wyzwania oraz rozwój nauki o systemach eksploatacji statków powietrznych – jako interdyscyplinarnej dziedziny działalności człowieka – w sposób ciągły determinują potrzebę implementacji nowego, klarownego, koherentnego, a także adaptacyjnego postrzegania składowych systemów eksploatacji statków powietrznych oraz relacji jakie między nimi występują. Uzasadnionym jest więc podejmowanie prób formalnego opisu tych składowych niezbędnego dla potrzeb różnych analiz. Taki opis pozwala stworzyć modele, które mogą być bardziej lub mniej rozbudowane, mogą lepiej lub słabiej opisywać rzeczywiste składowe systemu eksploatacji statków powietrznych. Celem tych modeli jest uchwycenie istoty systemów użytkowania oraz utrzymania statków powietrznych, natomiast na modelowanie należy patrzeć jak na proces, który ma pozwolić zbadać relacje występujące w tych systemach oraz między tymi systemami w aspekcie całego modelu systemu eksploatacji statków powietrznych w zakresie danej jednostki organizacyjnej takiej jak np. BLT.

W literaturze przedmiotu brak było dotychczas konkretnych, klarownych i koherentnych charakterystyk lotnictwa taktycznego sił powietrznych w postaci systemu. Zaproponowany w pracy [14] SLTkt to innowacyjna próba spojrzenia na ten obszar zainteresowań z punktu widzenia systemu technicznego. Z kolei zaprezentowana struktura modelowa SLTkt szybko okazała się być dość rozwojową, co sprawiło że można ją dziś rozpatrywać w charakterze metamodelu. Potwierdza to tematyka pracy [17], w której to w postaci modelu został opisany SUżSLT jako jeden z SESLT występujących w strukturze metamodelu SLTkt.

Zasadniczym obszarem rozważań niniejszej rozprawy jest wspomniany SUżSLT traktowany dalej jako domena analiz zarządzania ryzykiem zagrożeń. Jednak celem tego rozdziału jest kompleksowe wprowadzenie w problematykę SUżSLT. Niezbędnym jest wyjaśnienia kilku kluczowych pojęć związanych z tym systemem, które zostaną omówione w kolejnych podrozdziałach. Następnie zaprezentowany zostanie model SUżSLT.

4.2. Eksploatacja samolotów jako obiektów technicznych

Pojęcie eksploatacji dotychczas charakteryzowano za pomocą wielu definicji. W najprostszej postaci eksploatację definiuje się jako działanie człowieka w kooperacji z obiektem technicznym (maszyną, urządzeniem). Korzenie eksploatacji tkwią w prakseologii [333]. Eksploatacja to zespół celowych działań organizacyjno-technicznych i ekonomicznych ludzi z obiektem technicznym oraz wzajemne relacje, występujące między nimi od chwili przyjęcia obiektu do wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem, aż do chwili jego likwidacji [223]. Eksploatacja interesuje się całym procesem istnienia (cyklem „życia") obiektów technicznych, począwszy od koncepcji ich powstania i projektowania, poprzez konstruowanie, wytwarzanie i użytkowanie, aż do likwidacji i utylizacji po wykorzystaniu [258]. Tak szerokie potraktowanie eksploatacji wynika z faktu, że już na etapie projektowania i konstruowania obiektu technicznego należy przewidzieć wszelkie rozwiązania pozwalające na jak najbardziej efektywne wykorzystanie obiektu technicznego na etapie właściwej eksploatacji (użytkowania i utrzymania) [375]. Eksploatacja (obiektów technicznych, systemów technicznych) jest jedną z podstawowych dziedzin działalności człowieka. Jest świadomym działaniem człowieka, realizowanym za pomocą określonych środków, podejmowanych dla osiągnięcia określonych celów. W systemie eksploatacji realizowane są procesy sterowane z udziałem człowieka.

Samolot [173] stanowi jeden z rodzajów statków powietrznych [370] i w myśl prowadzonych rozważań traktowany jest jako obiekt techniczny poddawany eksploatacji. Samolot lotnictwa taktycznego to przede wszystkim wojskowy statek powietrzny [91], ale i także zarazem rodzaj sprzętu lotniczego oraz sprzętu wojskowego [168]. Eksploatacja sprzętu wojskowego to zespół przedsięwzięć dotyczących użytkowania, utrzymania (obsługiwania technicznego [91]), transportu i przechowywania sprzętu. Eksploatację realizuje się zgodnie z dokumentacją techniczną [91], opracowaną dla określonego rodzaju sprzętu wojskowego. W czasie pokoju organizuje się ją i realizuje w celu utrzymania sprzętu w gotowości do użycia. W czasie wojny eksploatację organizuje się zgodnie z wykonywanymi zadaniami bojowymi, sytuacją na polu walki i wytycznymi przełożonych [262].

Ze względu na specyfikę samolotów lotnictwa taktycznego, ich eksploatacja może odbywać się tylko w ramach określonego systemu, który zapewnia warunki niezbędne do prawidłowego funkcjonowania samolotu. System ten określany jest mianem SESLT i obejmuje swoim obszarem samoloty, osoby uczestniczące w procesie eksploatacji oraz urządzenia stanowiące elementy systemu zapewniające zabezpieczenie ciągłości procesu eksploatacji. Najważniejsze zagadnienia związane z szeroko pojmowaną eksploatacją samolotów (statków powietrznych)

zarówno wojskowych jak i cywilnych zostały kompleksowo opisane m.in. w pracach [38, 68, 91, 223–225, 227].

4.3. Cykle czynności lotniczych pilotów lotnictwa taktycznego

Użytkowanie samolotów lotnictwa taktycznego, jako ich bezpośrednia eksploatacja [223] przez wojskowy personel latający, odbywa się w SUżSLT. Wojskowy personel latający (piloci wojskowi) wraz z samolotami funkcjonującymi w GDL/ELT są podstawowymi elementami SUżSLT. Operując określeniem wojskowego personelu latającego w kontekście lotnictwa taktycznego wskazywana jest załoga samolotu, która ze względu na specyfikę lotnictwa taktycznego zazwyczaj jest jednoosobowa – jeden pilot (w niektórych przypadkach może występować załoga dwuosobowa). Uwzględniając taki stan rzeczy oraz clou znaczenia słowa „załoga" autor w dalszej części rozważań operuje określeniem „pilot". Użytkowanie samolotu w SUżSLT jest definiowane jako zindywidualizowana relacja pilota z samolotem, polegająca na wykonywaniu czynności operatorskich w celu realizacji misji lotniczej (ML). W ramach misji lotniczej pilot wykonuje lot, którego najważniejszą fazą jest realizacja zadania lotniczego (ZL). Realizacja szerokiej gamy zadań lotniczych stanowi zasadniczy cel funkcjonowania SUżSLT. Aby jednak zadanie lotnicze mogło zostać kompletnie zrealizowane, zachodzi konieczność wykonania przez pilota szeregu czynności ujętych w cyklu czynności lotniczych pilota (CCLP – rys. 4.1), który został szczegółowo opisany w pracy [16].

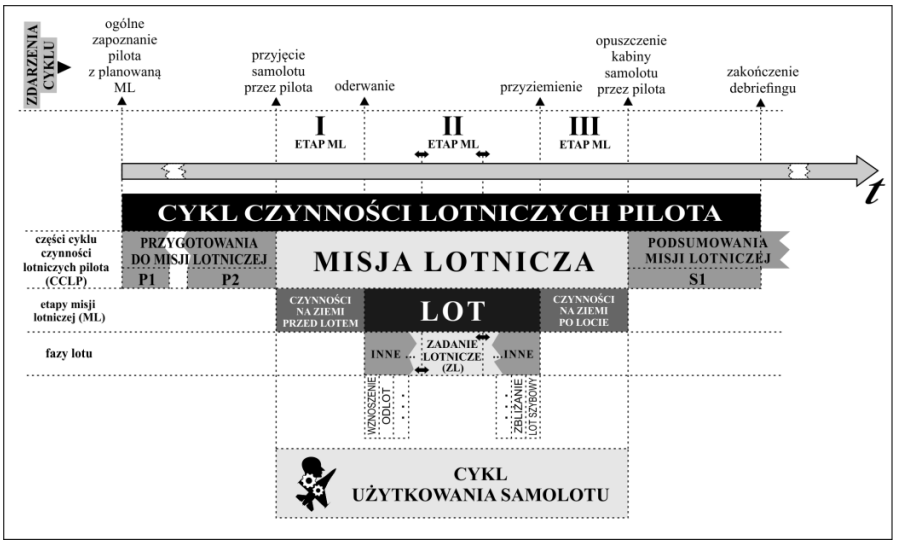
W skład cyklu czynności lotniczych pilota wchodzi wiele elementów, jednak z punktu widzenia zindywidualizowanej relacji pilota z samolotem, najważniejszy pozostaje cykl użytkowania samolotu (rys. 4.1) realizowany w czasie misji lotniczej. Pojedynczy CCLP składa się z trzech następujących części (rys. 4.1):

- przygotowania do misji lotniczej (misji lotniczych),
- misja lotnicza (pokrywająca się z cyklem użytkowania samolotu),
- podsumowania misji lotniczej (misji lotniczych).

Z uwagi na potrzebę wyróżnienia ram czasowych elementów (części, etapów, faz) CCLP, na rysunku 4.1 zaznaczono charakterystyczne zdarzenia cyklu. Przyjmuje się, że pojedynczy CCLP rozpoczyna się od zdarzenia ogólnego zapoznania pilota z planowaną misją lotniczą, co ma miejsce podczas odprawy z przełożonym na samym początku przygotowań do misji lotniczej. Pilot zapoznaje się wtedy z planową tabelą lotów (PTL) [92] lub rozkazem organizatora lotów [92], w których zawarte są podstawowe informacje na temat planowanych misji lotniczych.

Przygotowania do misji lotniczej (misji lotniczych) składają się z dwóch procesów:

- P1 – wstępne przygotowanie do misji lotniczej,
- P2 – bezpośrednie przygotowanie do misji lotniczej.



Rysunek 4.1. Model cyklu czynności lotniczych pilota w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego (objaśnienia użytych skrótów znajdują się w tekście)

Realizując procesy P1 i P2 pilot może przygotowywać się do jednej lub kilku misji lotniczych, jednak w przypadku analizy pojedynczego CCLP, uwaga zostaje skupiona głównie na przygotowaniach do jednej misji lotniczej. W ramach procesów P1 i P2 zachodzi szereg operacji i zdarzeń, które przygotowują pilota do wykonania misji lotniczej. Proces P1 jest inicjowany przez zdarzenie ogólnego zapoznania pilota z planowaną misją lotniczą, natomiast proces P2 przez zdarzenie rozpoczęcia ogólnego informowania przed misją lotniczą. Czas przygotowań pozwala pilotowi zbudować/opracować scenariusz misji lotniczej w ramach której będzie wykonywane zadanie/zadania lotnicze. Procesy P1 i P2 zostały szczegółowo opisane w [92]. Oba procesy pierwszej części CCLP trwają odpowiednio: dla P1 – minimum 30 minut; dla P2 – 1,5÷3 godzin. Ramy czasowe procesów P1 i P2 wynikające z [92] są w pewnym sensie umowne. W praktyce przygotowania do misji lotniczych realizowane są przez pilotów w sposób permanentny (tzw. przygotowanie ogólne [92]), natomiast same procesy P1 i P2 często wymagają przekroczenia umownych ram czasowych. Faktyczne czasy realizacji tych procesów zależą m.in. od poziomu doświadczenia pilota oraz stopnia trudności i złożoności zadania/zadań lotniczych wykonywanych

w ramach planowanej misji lotniczej. Do tego dochodzą także sytuacje, w których pilot nie rozpoczyna misji lotniczej tuż po upłynięciu umownego czasu procesu P2 podczas zmiany lotnej (rys. 4.1). Czekając na swoją kolej, pilot wykorzystuje ten czas do dalszego przygotowywania się. Należy zaznaczyć, że w części CCLP dotyczącej procesów przygotowań do misji lotniczej, po zrealizowaniu procesu P1, dopuszcza się jego przerwanie (rys. 4.1, rys. 4.4) i rozpoczęcie przerwy przed procesem P2. Wynika to z możliwości przeprowadzenia procesu P1 w dniu roboczym poprzedzającym planowany dzień realizacji misji lotniczej. Proces P2 zawsze jednak musi zostać przeprowadzony w dniu realizacji misji lotniczej. Po zrealizowaniu wstępnego i bezpośredniego przygotowania do misji lotniczej pilot zobowiązany jest dysponować odpowiednim zasobem wiedzy oraz umiejętności umożliwiających przeprowadzenie misji lotniczej – na akceptowanym poziomie bezpieczeństwa i zgodnie z założeniami opracowanego scenariusza misji lotniczej [92] – w ramach której realizowane jest zadanie lotnicze.

Drugą część CCLP stanowi misja lotnicza, która często w praktyce jest błędnie utożsamiana z lotem i/lub zadaniem lotniczym. Autor niniejszej rozprawy stanowczo rozgranicza obszary znaczeniowe tych pojęć i przyjmuje, że czas realizacji misji lotniczej pokrywa się z cyklem użytkowania samolotu (rys. 4.1) – czasem właściwego użytkowania samolotu czyli bezpośredniej eksploatacji samolotu przez pilota. Natomiast lot i zadanie lotnicze określają zupełnie inne elementy CCLP. Misja lotnicza rozpoczyna się po zdarzeniu przyjęcia samolotu przez pilota od personelu SIL, które następuje na zakończenie części dotyczącej przygotowań do misji lotniczej (procesy P1 i P2). Natomiast za koniec misji lotniczej przyjmuje się zdarzenie opuszczenia kabiny samolotu przez pilota po operacjach wyłączenia, sprawdzenia oraz skonfigurowania zespołu napędowego [174] i systemów pokładowych na czas postoju. W ramach misji lotniczej można wyróżnić trzy zasadnicze etapy (rys. 4.1):

- czynności na ziemi przed lotem: od zdarzenia przyjęcia samolotu przez pilota od personelu SIL (transfer samolotu z SUtSLT do SUżSLT), poprzez procesy uruchomienia i sprawdzania, kołowania [173] przed startem, przygotowania do startu oraz startu do momentu zdarzenia oderwania [246] samolotu od nawierzchni drogi startowej [175] po zakończeniu operacji rozbiegu [246],
- lot: składa się z kolejnych faz integrujących wiele procesów, operacji i zdarzeń procesów następujących po zdarzeniu oderwania samolotu od nawierzchni drogi startowej w procesie start [246], do momentu zdarzenia przyziemienia [246] na drodze startowej w procesie lądowanie [246],
- czynności na ziemi po locie: następują po zdarzeniu przyziemienia samolotu na nawierzchni drogi startowej, następnie dochodzi do operacji dobiegu [246] w procesie lądowania, po czym następują procesy takie jak

kołowanie po lądowaniu (do hangaru lub na płaszczyznę postoju samolotów / stanowisko postojowe [175]) oraz wyłączenie i sprawdzenie (zespołu napędowego i systemów pokładowych); czynności na ziemi po locie kończy zdarzenie opuszczenia kabiny samolotu przez pilota, które zamyka zarazem trzeci i ostatni etap misji lotniczej.

Etap lotu w ramach misji lotniczej składa się z kilku faz, pośród których wyróżnia się m.in. wznoszenie, odlot, zadanie lotnicze, zbliżanie, lot szybowy, itd.. Fazy te obejmują szereg procesów takich jak m.in.: odejście z wojskowej strefy ruchu lotniskowego ((M)ATZ – *Military Air Traffic Zone*) lub (wojskowej) strefy kontrolowanej lotniska ((M)CTR – *Military Control Zone*) / (wojskowego) rejonu kontrolowanego lotniska ((M)TMA – *Military Terminal Control Area*) [93], dolot do strefy działań MOA (*Military Operations Area* [365]), realizacja zadania lotniczego w strefie działań MOA, powrót ze strefy działań MOA, zbliżanie do (M)TMA/ (M)CTR lub (M)ATZ oraz podejście do lądowania [170] i lądowanie.

Zadanie lotnicze stanowi główną fazę etapu lotu. Na rysunku 4.1 zadanie lotnicze zostało zaprezentowane w charakterystyczny sposób ze względu na oczywistą możliwość zmienności czasu trwania tej fazy lotu. Czas realizacji zadania lotniczego uzależniony jest od takich zmiennych i parametrów jak m.in.: charakter misji lotniczej, rodzaj zadania lotniczego, wariant zatankowania samolotu, odległość strefy działań MOA od lotniska startu itd.. Wspomniana zmienność czasu trwania może również dotyczyć pozostałych faz lotu (inne – rys. 4.1), jednak zadanie lotnicze jako najistotniejsza faza lotu w lotnictwie taktycznym jest podatna na wpływ największej liczby zmiennych i przyjmowanych parametrów.

W lotnictwie taktycznym misje lotnicze często realizowane są w ugrupowaniu/formacji [359, 363] samolotów (minimum dwa samoloty – para/element [359, 363], która stanowi podstawową jednostkę bojową w lotnictwie taktycznym). W takich sytuacjach dane ugrupowanie realizuje zazwyczaj jedną misję lotniczą, ale każdy z pilotów wykonuje swoje (przydzielone) zadanie lub zadania lotnicze. Wykonanie przez każdego pilota z ugrupowania zadania/zadań lotniczych składa się na ogólny wynik misji lotniczej. Poza realizacją misji lotniczej w ugrupowaniu, również podczas realizacji misji lotniczej indywidualnie przez pilota (jeden samolot), może on wykonywać jedno lub kilka zadań lotniczych podczas jednego lotu.

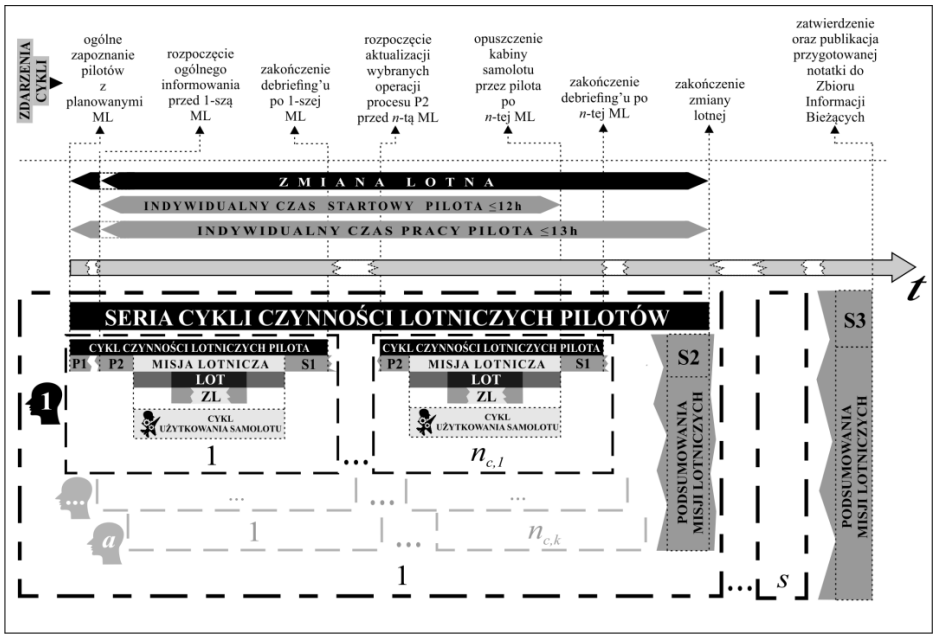
Trzecią część CCLP stanowią podsumowania misji lotniczej lub też misji lotniczych jeżeli podczas zmiany lotnej jeden lub kilku pilotów wykonało kilka misji lotniczych. W odniesieniu do CCLP autor niniejszej rozprawy wskazuje na podsumowanie pojedynczej misji lotniczej, jednak zagadnienie dotyczące kwestii związanych z podsumowaniami misji lotniczych jest znacznie bardziej złożone. W tym miejscu zasadnym staje się przedstawienie szerszego spojrzenia na

środowisko wielu CCLP i odwołanie do schematu (rys. 4.2) prezentującego serię cykli czynności lotniczych pilotów (SCCLP), która zasadniczo odnosi się do pewnej liczby zrealizowanych CCLP, a w nich misji lotniczych. Podczas zmiany lotnej zazwyczaj realizuje się liczbę od 1 do $n_{c,k}$ CCLP indywidualnie przez każdego *k*-tego pilota, ze zbioru od 1 do *a* pilotów (k=1,2,…,a).

Podsumowania misji lotniczych składają się z trzech podstawowych procesów:

- S1 – podsumowanie bieżące,
- S2 – podsumowanie organizacyjno-specjalistyczne,
- S3 – podsumowanie organizacji lotów i szkolenia lotniczego.

Nie są one jednak realizowane w pełnym zestawieniu w każdym pojedynczym CCLP.



Rysunek 4.2. Model serii cykli czynności lotniczych pilotów w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego (objaśnienia użytych skrótów i zmiennych znajdują się w tekście)

Proces S1 jest obowiązkową częścią pojedynczego CCLP, warunkującą rozpoczęcie każdego kolejnego CCLP. W wyniku przeprowadzanego w procesie S1 debriefingu (omówienia po wykonanej misji lotniczej) wypracowywane są wnioski i zalecenia, które bezwzględnie należy uwzględnić w czasie realizacji kolejnego CCLP już w jego części przygotowawczej (procesy P1 i P2). Proces S1 każdorazowo jest wieńczony zdarzeniem zakończenia debriefingu.

O ile proces S1 jest realizowany w każdym pojedynczym CCLP, to w przypadku procesów S2 i S3 ich realizacja ma miejsce odpowiednio: S2 – na zakończenie każdej SCCLP, natomiast S3 – po zakończeniu kilku SCCLP. Na tej podstawie, na rysunku 4.1, procesy S2 i S3 zostały wyłączone z pojedynczego CCLP. Istnieje jednak możliwość, że podczas zmiany lotnej zostanie zrealizowana SCCLP składająca się tylko z jednego CCLP. Jest to jednak skrajnie rzadka sytuacja ponieważ w zmianie lotnej bierze udział pewna liczba *a* pilotów oraz *k*-ty, pilot zazwyczaj realizuje więcej niż jeden CCLP.

Proces S2 jest przeprowadzany z udziałem każdego *k*-tego pilota z BLT/GDL/ELT realizującego pojedyncze CCLP podczas zmiany lotnej. Proces S2 jest przeprowadzany tylko w ramach SCCLP realizowanych na podstawie planowej tabeli lotów i jest pomijany w przypadku, gdy SCCLP realizowane są na podstawie rozkazu(-ów) organizatora lotów. Kilka cykli czynności lotniczych pilota/pilotów, stanowi jedną SCCLP, która kończy się wraz z zakończeniem procesu S2 zdarzeniem zakończenia zmiany lotnej.

Proces S3 jest realizowany po zakończeniu *s*-tej SCCLP, jednak nie rzadziej niż raz w miesiącu. Ten rodzaj podsumowania dotyczy wszystkich SCCLP zrealizowanych w danym okresie. W procesie S3 nie biorą udziału wszyscy piloci, a zazwyczaj tylko osoby funkcyjne z klucza lotniczego, ELT, GDL, BLT. Proces S3 kończy się wraz ze zdarzeniem zatwierdzenia oraz publikacji przygotowanej (podczas tego procesu) notatki do Zbioru Informacji Bieżących [92]. W pracy [92] został szczegółowo opisany każdy z trzech, wskazanych w niniejszej rozprawie, rodzajów podsumowań misji lotniczych.

Planując wykonanie kilku misji lotniczych podczas zmiany lotnej, *k*-ty pilot realizuje proces P1 jednokrotnie przygotowując się w wyznaczonym czasie do wszystkich misji lotniczych. Po zrealizowaniu przez *k*-tego pilota pierwszego CCLP, nie realizuje on już ponownie procesu P1 na początku kolejnego CCLP z jego udziałem w ramach tej samej zmiany lotnej. Realizowane są natomiast wybrane operacje procesu P2, które mają głównie charakter aktualizacyjny w odniesieniu do pierwszego (zasadniczego) procesu P2 przeprowadzonego w ramach pierwszego CCLP tego pilota podczas zmiany lotnej. Taka sytuacja ma miejsce w każdym kolejnym CCLP od drugiego do $n_{c,k}$-tego, a realizowanych przez *k*-tego pilota.

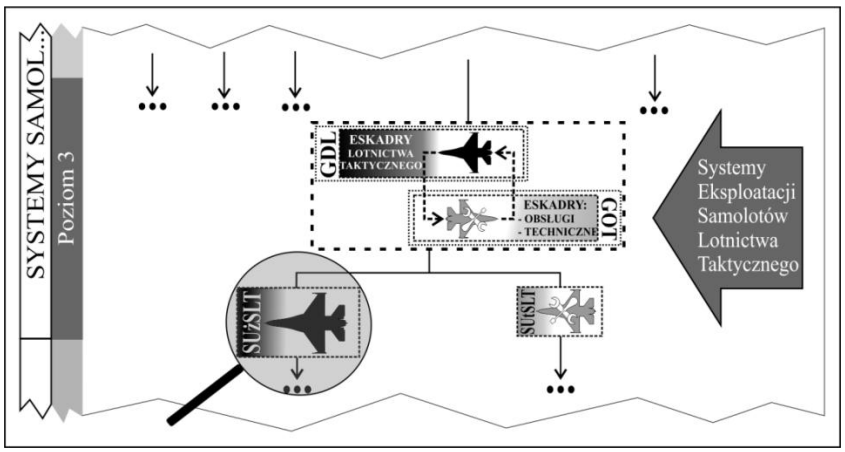
Zmiana lotna składa się zazwyczaj z więcej niż jednego CCLP, które mogą obejmować więcej niż jedną i do tego różne misje lotnicze. W SUżSLT od zdarzenia rozpoczęcia ogólnego informowania przed pierwszą misją lotniczą (pierwszym CCLP) *k*-tego pilota podczas zmiany lotnej, do zdarzenia opuszczenia kabiny samolotu po *n*-tej misji lotniczej w $n_{c,k}$-tym CCLP, liczy się indywidualny czas startowy *k*-tego pilota. Indywidualny czas startowy *k*-tego pilota może trwać maksymalnie 12 godzin (z uwzględnieniem określonych w [90] zastrzeżeń), przy zachowaniu indywidualnego czasu pracy *k*-tego pilota, który

nie może przekraczać 13 godzin. W ramach indywidualnego czasu startowego określone są również: maksymalny nalot *k*-tego pilota, maksymalna liczba misji lotniczych jaką może *k*-ty pilot wykonać, przerwy między kolejnymi misjami lotniczymi i CCLP. Wymienione aspekty są regulowane przez [90] oraz programy szkolenia lotniczego. Zgodnie z [90] przerwy pomiędzy kolejnymi indywidualnymi czasami startowymi powinny zapewniać wymagany czas odpoczynku. W przypadku pilota realizującego czynności operatora w SUżSLT w ramach SCCLP, minimalny czas odpoczynku wynosi 11 godzin.

4.4. Model systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego

4.4.1. Format zagregowanej domeny analiz

System lotnictwa taktycznego zaprezentowany w rozdziale 2 w postaci metamodelu o pięciu poziomach dekompozycji, stanowi nowe spojrzenie m.in. na zagadnienia eksploatacji samolotów lotnictwa taktycznego. W pracach [15, 17], przedstawiona została innowacyjna koncepcja modelu jednego z systemów składowych SLTkt na poziomie SESLT (Poziom 3 – rys. 4.3) – SUżSLT. Innowacyjność modelu SUżSLT (rys. 4.4) wynika z zastosowanego modelu, który prezentowany jest w formacie zagregowanej domeny analiz (ZDA – tab. 4.1).



Rysunek 4.3. Fragment metamodelu systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego na poziomie systemów eksploatacji samolotów lotnictwa taktycznego

Liczby obiektów, komponentów, procesów czy też operacji i zdarzeń procesów związanych z SUżSLT są znaczne, a do różnorodnych analiz wymagane jest uporządkowanie ich w koherentną całość zbudowaną z rozłącznych domen analiz. W odwzorowaniu SUżSLT za pomocą formatu ZDA wyróżniono siedem domen analiz (tab. 4.1), w ramach których zachodzą określone procesy

(rys. 4.4), które integrują w sobie ich kolejne operacje i zdarzenia opisane dalej w formacie tekstowym i w formacie tabel (tab. 4.2-tab. 4.8). Kolejne domeny analiz spaja ze sobą para antropotechniczna pilot-samolot. Każdą z domen analiz charakteryzuje również interakcja z otoczeniem (rys. 4.4) SUżSLT, która przyjmuje wiele różnych form.

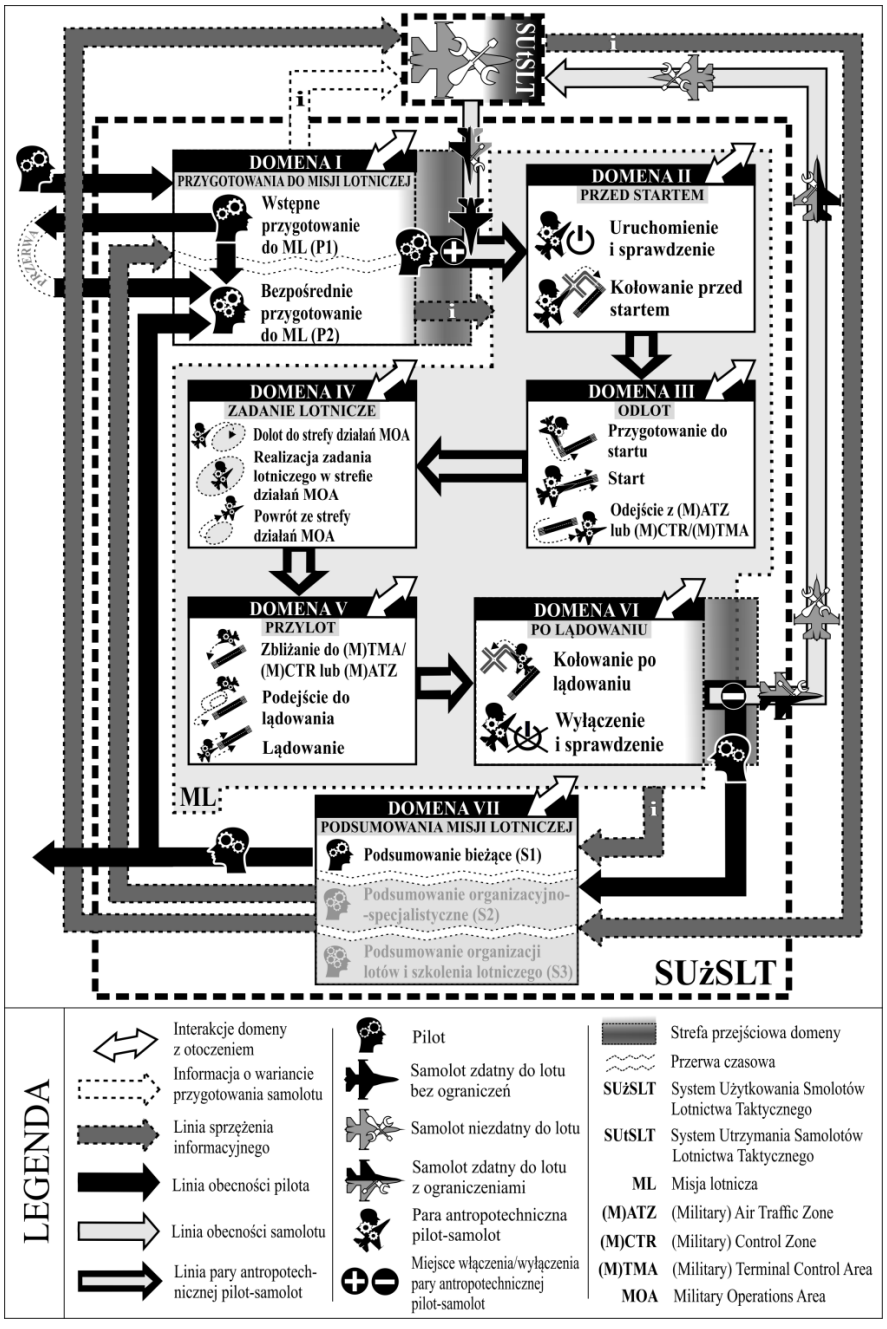
Zasadniczo tylko pięć (wchodzących w skład misji lotniczej – rys. 4.4, tab. 4.1) z siedmiu domen analiz związanych jest z właściwym użytkowaniem samolotu przez pilota w cyklu użytkowania samolotu, czyli bezpośrednią eksploatacją samolotu przez pilota. Pozostałe dwie domeny analiz związane z przygotowaniami oraz podsumowaniami misji lotniczych dodano po to by przedstawić pełen obraz zagadnień związanych z użytkowaniem samolotów w lotnictwie taktycznym sił powietrznych. W domenach analiz związanych z przygotowaniami i podsumowaniami misji lotniczych zaimplementowano strefy przejściowe domen (rys. 4.4), w których dochodzi do połączenia lub rozdzielenia elementów pary antropotechnicznej pilot-samolot oraz włączenia lub wyłączenia (rys. 4.4) tej pary do/z cyklu użytkowania samolotu podczas misji lotniczej. Wskazano również szereg linii prezentujących obieg różnego rodzaju informacji, sprzężeń informacyjnych, obecności pilota, obecności samolotu w różnych stanach zdatności, pary antropotechnicznej pilot-samolot, dopuszczalnych przerw czasowych oraz poniekąd zasygnalizowano elementy związane z otoczeniem SUżSLT w postaci nazw elementów przestrzeni powietrznej. Całość tworzy model antropotechnicznego SUżSLT.

Tabela 4.1

Ogólny zapis systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego w formacie zagregowanej domeny analiz

<table>
<tr><td rowspan="4">ZAGREGOWANA DOMENA ANALIZ (ZDA)</td><td colspan="8">SYSTEM UŻYTKOWANIA SAMOLOTÓW LOTNICTWA TAKTYCZNEGO (SUżSLT)</td></tr>
<tr><td colspan="8">DOMENY ANALIZ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">DOMENA I
Przygotowania do misji lotniczej</td><td>DOMENA II
Przed startem</td><td>DOMENA III
Odlot</td><td>DOMENA IV
Zadanie lotnicze</td><td>DOMENA V
Przylot</td><td>DOMENA VI
Po lądowaniu</td><td rowspan="2">DOMENA VII
Podsumowania misji lotniczej</td></tr>
<tr><td colspan="6">MISJA LOTNICZA (ML)
CYKL UŻYTKOWANIA SAMOLOTU</td></tr>
</table>

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4.4. Model systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego w formacie zagregowanej domeny analiz

4.4.2. Przygotowania do misji lotniczej

Domenę I (rys. 4.4, tab. 4.2) stanowi obszar analiz związany z przygotowaniami do misji lotniczej (misji lotniczych), które rozpoczynają się wraz ze zdarzeniem ogólnego zapoznania pilota z planowaną misją lotniczą. Udział samolotu w procesach oraz operacjach i zdarzeniach procesów tej domeny jest niewielki i ogranicza się głównie do operacji treningów czy też operacji sprawdzenia samolotu przed rozpoczęciem misji lotniczej. Jednakże realizacja procesów oraz operacji procesów domeny I, warunkuje rozpoczęcie przez pilota cyklu użytkowania samolotu (misji lotniczej).

W SUżSLT przygotowania do misji lotniczej inicjują CCLP i odbywają się w ramach dwóch procesów – wstępnego przygotowania (P1) i bezpośredniego przygotowania (P2) do misji lotniczej. Oba procesy zostały już szczegółowo opisane (podrozdział 4.3) dlatego prezentacja tej domeny analiz przyjmuje tylko formę tabeli (tab. 4.2).

Tabela 4.2

Domena analiz I – Przygotowania do misji lotniczej

DOMENA ANALIZ	PROCESY W DOMENIE ANALIZ		OPERACJE I **ZDARZENIA** PROCESÓW W DOMENIE ANALIZ	
DOMENA I Przygotowania do misji lotniczej (D1)	1.1	**Wstępne przygotowanie do misji lotniczej (P1)**	1.1.1	**Ogólne zapoznanie pilota z planowaną misją lotniczą**
			1.1.2	Szczegółowe analizowanie dokumentacji, rozkazów, publikacji specjalistycznych itp. w zakresie planowanej misji lotniczej
			1.1.3	Opracowywanie scenariusza misji lotniczej
			1.1.4	Analizowanie dostępnych elementów systemów bezpieczeństwa oraz zapoznawanie z procedurami postepowania w sytuacjach awaryjnych
			1.1.5	Przygotowywanie dokumentacji lotniczej niezbędnej do realizacji misji lotniczej
			1.1.6	Treningi
	1.2	**Bezpośrednie przygotowanie do misji lotniczej (P2)**	1.2.1	**Rozpoczęcie** i przeprowadzanie ogólnego informowania przed misją lotniczą – *Mass briefing*
			1.2.2	Przeprowadzanie indywidualnej odprawy przed misją lotniczą – *Briefing*
			1.2.3	Przeprowadzanie informowania aktualizacyjnego przed misją lotniczą – *Step briefing*
			1.2.4	Sprawdzanie i przyjmowanie przez pilota sprzętu osobistego w tym wysokościowo-ratowniczego
			1.2.5	Sprawdzanie (*walkaround checklist*) i **przyjęcie** samolotu przez pilota (od personelu SIL) – przekazanie samolotu z SUtSLT do SUżSLT

Źródło: opracowanie własne

4.4.3. Przed startem

Domena II (rys. 4.4, tab. 4.3) w SUżSLT dotyczy procesów, a w nich operacji realizowanych przez pilota po tym jak samolot fizycznie został przekazany z SUtSLT do SUżSLT (rys. 4.4 – linia obecności samolotu) w momencie zajścia zdarzenia przyjęcia samolotu przez pilota (podpis pilota w karcie obsługi [91]). Wtedy rozpoczyna się szereg operacji procesów w bezpośredniej relacji pilot-samolot – aktywność pary antropotechnicznej. Należy zwrócić uwagę na to że samolot, który trafia z SUtSLT do SUżSLT charakteryzuje się określonym stanem zdatności, a także dysponuje wymaganym zasobem paliwa (wariantem zatankowania), uzbrojenia oraz charakteryzuje się zmiennymi, które determinują charakter misji lotniczej oraz rodzaj zadania lotniczego do którego może zostać wykorzystany. Wartości wymienionych tu zmiennych zostają w znacznym stopniu ściśle określone przez pilota podczas realizacji operacji procesów domeny I i przekazane (rys. 4.4 – informacja o wariancie przygotowania samolotu) do SUtSLT. Samolot, który trafia do SUżSLT może być w stanie pełnej zdatności do lotu lub w zdatności do lotu z ograniczeniami [14, 91].

Tabela 4.3

Domena analiz II – Przed startem

DOMENA ANALIZ	PROCESY W DOMENIE ANALIZ		OPERACJE I **ZDARZENIA** PROCESÓW W DOMENIE ANALIZ	
DOMENA II Przed startem (D2)	2.1	**Uruchomienie i sprawdzenie**	2.1.1	Sprawdzanie łączności (*radio check*)
			2.1.2	Uruchamianie zespołu napędowego i systemów pokładowych (*start-up checklist*)
			2.1.3	Sprawdzanie oraz konfigurowanie zespołu napędowego i systemów pokładowych (*before taxiing checklist*)
	2.2	**Kołowanie przed startem**	2.2.1	Uzyskiwanie zezwoleń kontroli ruchu lotniczego (*ATC clearance*) na kołowanie przed startem, na lot wraz z instrukcjami odlotowymi
			2.2.2	Pierwsza faza kołowania – do miejsca sprawdzenia samolotu przez grupę kontroli startowej (*last chance point*)
			2.2.3	Przeprowadzanie kontroli startowej (*last chance inspection*)
			2.2.4	Druga faza kołowania – do miejsca oczekiwania przed drogą startową (*runway holding position*)

Źródło: opracowanie własne

Główne procesy zachodzące w domenie II to: uruchomienie i sprawdzenie (proces 2.1) oraz kołowanie przed startem (proces 2.2). W ramach wymienionych procesów dochodzi do wielu operacji realizowanych przez pilota. Po operacji sprawdzenia łączności (*radio check*), pilot (postępując zgodnie z odpowiednimi listami kontrolnymi – tzw. *checklistami*) wykonuje m.in. operacje:

uruchomienie zespołu napędowego i systemów pokładowych (nawigacyjnych, hydrauliki, itp.) – *start-up checklist*, sprawdzenie oraz konfigurowanie zespołu napędowego i systemów pokładowych – *before taxiing checklist*, uzyskiwanie zezwoleń kontroli ruchu lotniczego (*ATC clearance* [93]) na kołowanie przed startem, na lot wraz z instrukcjami odlotowymi, pierwsza faza kołowania – do miejsca sprawdzenia samolotu przez grupę kontroli startowej (*last chance point* [91, 249]), przeprowadzanie kontroli startowej (*last chance inspection*), druga faza kołowania – do miejsca oczekiwania przy drodze startowej (*runway holding position* [173]).

4.4.4. Odlot

Domena III (rys. 4.4, tab. 4.4) w sposób ogólny prezentuje przechodzenie pomiędzy dwoma etapami misji lotniczej – czynnościami na ziemi przed lotem, a lotem. Odlot stanowi symboliczną nazwę domeny związanej z zasadniczą operacją procesu odejścia z (M)ATZ lub (M)CTR/(M)TMA (proces 3.3) – wykonywanie odlotu z (M)ATZ lub (M)CTR/(M)TMA. Zanim jednak to następuje, dochodzi do procesu przygotowanie do startu (proces 3.1), który składa się z operacji: zajmowanie drogi startowej w użyciu (*active runway line up – line up checklist*), wykonywanie czynności wg checklisty przedstartowej (*before takeoff checklist*). Po tych operacjach rozpoczyna się proces startu (proces 3.2). Zasadniczymi operacjami w procesie startu są: uzyskiwanie zezwolenia kontroli ruchu lotniczego na start (*takeoff ATC clearance*), rozbieg ze zdarzeniem oderwania od nawierzchni drogi startowej oraz wznoszenie początkowe [246] określone do wysokości 15 metrów na poziomem terenu (AGL – *Above Ground Level*). W momencie zdarzenia oderwania samolotu od nawierzchni drogi startowej rozpoczyna się etap lotu w ramach misji lotniczej.

Po zakończeniu wznoszenia początkowego oraz skonfigurowaniu samolotu [174] do lotu, pilot wykonuje operację dalszego wznoszenia i/lub przechodzi do lotu poziomego [246]. Następnie pilot rozpoczyna operację odlotu z (M)ATZ lub (M)CTR/(M)TMA wykonując instrukcje odlotowe przekazane w *ATC clearance* (domena II) przez kontrolera ruchu lotniczego (ATCO – *Air Traffic Control Officer* [93]). Mogą one być opublikowane jako standardy odlotowe (SID – *Standard Instrument Departures* [170]) lub też wynikają bezpośrednio z aktualnej sytuacji ruchowej w (M)ATZ lub (M)CTR/(M)TMA. Ważnym jest by pilot dokładnie wykonywał otrzymane instrukcje tak aby uniknąć kolizji z innymi statkami powietrznymi lub przeszkodami terenowymi, nie naruszając przy tym granic poziomych i pionowych elementów przestrzeni powietrznej. Proces 3.3 w ramach domeny III kończy się zdarzeniem osiągnięcia znaczącego punktu (*significant point* [17]) lub zakończenia opublikowanej procedury SID w (M)ATZ lub (M)CTR/(M)TMA podczas odlotu. Kontroler ruchu lotniczego ATCO w wydawanym *ATC clearance* (w części dotyczącej instrukcji odlotowej)

określa ten znaczący punkt w kierunku którego należy wykonywać operację odlotu lub też wskazuje konkretną opublikowaną procedurę SID wg której pilot ma wykonywać odlot z (M)ATZ lub (M)CTR/(M)TMA.

Tabela 4.4

Domena analiz III – Odlot

DOMENA ANALIZ	PROCESY W DOMENIE ANALIZ		OPERACJE I **ZDARZENIA** PROCESÓW W DOMENIE ANALIZ	
DOMENA III Odlot (D3)	3.1	**Przygotowanie do startu**	3.1.1	Zajmowanie drogi startowej w użyciu (*active runway line up – line up checklist*)
			3.1.2	Wykonywanie czynności wg checklisty przedstartowej (*before takeoff checklist*)
	3.2	**Start**	3.2.1	Uzyskiwanie zezwolenia kontroli ruchu lotniczego na start (*takeoff ATC clearance*)
			3.2.2	Rozbieg i **oderwanie** od nawierzchni drogi startowej
			3.2.3	Wznoszenie początkowe
	3.3	**Odejście z (M)ATZ lub (M)CTR/ (M)TMA**	3.3.1	Dalsze wznoszenie i/lub lot poziomy
			3.3.2	Wykonywanie odlotu z (M)ATZ lub (M)CTR /(M)TMA
			3.3.3	**Osiągnięcie znaczącego punktu i/lub zakończenie opublikowanej procedury SID w (M)ATZ lub (M)CTR/(M)TMA podczas odlotu**

Źródło: opracowanie własne

4.4.5. Zadanie lotnicze

Domena IV (rys. 4.4, tab. 4.5) stanowi zasadniczy fragment SUżSLT, a właściwie stanowi jego rdzeń lub też cel dla którego ten system jest powoływany. Zadanie lotnicze jest główną fazą lotu i stanowi zespół określonych, docelowych działań pilota/pilotów podczas lotu w wyznaczonym terminie i obszarze, realizowanych dla osiągnięcia założonych celów misji lotniczej takich jak m.in.: szkoleniowe, treningowe, operacyjne lub bojowe. Zadanie lotnicze określane jest przez przełożonego, instruktora lub dowódcę/lidera ugrupowania i realizowane przez pilota jako operatora z użyciem samolotu w SUżSLT. Istnieje wiele rodzajów zadań lotniczych. Każdy rodzaj/typ samolotu, czy też jego wyposażenie, predystynują go do realizacji różnych zadań lotniczych. Występują tu jednak procesy oraz operacje procesów, które zazwyczaj zawsze pojawiają się w zakresie zadania lotniczego wykonywanego w czasie misji lotniczej.

Dolot do strefy działań MOA (*Military Operations Area* [365]) (proces 4.1) obejmuje m.in. takie operacje jak: lot (nawigowanie) w kierunku strefy działań (po zdarzeniu osiągnięcia znaczącego punktu lub zakończeniu opublikowanej proedury SID w (M)ATZ lub (M)CTR/(M)TMA podczas odlotu), meldowanie

z powietrza o intencjach związanych z realizacją zadania lotniczego, a także tzw. *FENCE check IN* [359, 363] – sprawdzenie i skonfigurowanie systemów pokładowych samolotu przed rozpoczęciem realizacji zadania lotniczego. Ze względu m.in. na rodzaj zadania lotniczego oraz inne zmiene i parametry, pilot może wykonać jeszcze wielu innych sprawdzeń, wskazywanych również za pomocą stosownych akronimów np. *OPS check*, *CLEF check* [250, 359, 363].

Proces 4.2 to już realizacja zadania lotniczego w strefie działań MOA (osiąganie głównego celu misji lotniczej – *desired air mission objective*), które może przyjmować wiele różnych postaci, jednak zazwyczaj każde z nich obejmuje operacje rozpoznawania sytuacji powietrzno-taktycznej oraz realizację zadania lotniczego zgodnie z planem.

Tabela 4.5

Domena analiz IV – Zadanie lotnicze

DOMENA ANALIZ	PROCESY W DOMENIE ANALIZ		OPERACJE I **ZDARZENIA** PROCESÓW W DOMENIE ANALIZ	
DOMENA IV Zadanie lotnicze (D4)	4.1	**Dolot do strefy działań MOA**	4.1.1	Lot (nawigowanie) w kierunku strefy działań
			4.1.2	Meldowanie z powietrza o intencjach związanych z realizacją zadania lotniczego
			4.1.3	*FENCE check IN* – sprawdzanie i skonfigurowanie systemów pokładowych samolotu przed rozpoczęciem realizacji zadania lotniczego
	4.2	**Realizacja zadania lotniczego w strefie działań MOA**	4.2.1	Rozpoznawanie sytuacji powietrzno-taktycznej
			4.2.2	Realizacja zadania lotniczego zgodnie z planem
	4.3	**Powrót ze strefy działań MOA**	4.3.1	*FENCE check OUT* – sprawdzanie i skonfigurowanie systemów pokładowych samolotu po zakończeniu realizacji zadania lotniczego
			4.3.2	Meldowanie z powietrza o zakończeniu realizacji zadania lotniczego i zgłaszanie gotowości do powrotu ze strefy działań na lotnisko (**wyjście ze strefy działań MOA**)
			4.3.3	Lot (nawigowanie) w kierunku lotniska głównego (macierzystego) lub na lotnisko zapasowe (RTB – *Return to Base*)

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim procesem (proces 4.3) domeny IV jest powrót ze strefy działań MOA, który następuje po zakończeniu realizacji zadania lotniczego. Proces powrotu ze strefy działań MOA rozpoczyna się operacją *FENCE check OUT* [359, 363] – sprawdzenie i skonfigurowanie systemów pokładowych samolotu po zakończeniu realizacji zadania lotniczego. Następnie lub nawet równocześnie

pilot melduje z powietrza o zakończeniu realizacji zadania lotniczego i zgłasza gotowość powrotu ze strefy działań na lotnisko. Tutaj następuje zdarzenie wyjścia ze strefu działań MOA. Ostatnia operacja procesu 4.3, to lot (nawigowanie) w kierunku lotniska głównego (macierzystego) [173] lub na lotnisko zapasowe [90, 173] (RTB – *Return to Base*) w sytuacji, gdy warunki meteorologiczne lub inne okoliczności (zmienne i parametry) nie pozwalają na wykonanie lądowania na lotnisku głównym.

Niniejszy opis domeny IV należy traktować jako ogólny, gdyż każdy rodzaj zadania lotniczego wymaga zindywidualizowanego podejścia, które zależy głównie od zmiennych i parametrów wejściowych jakie nałożone są na SUżSLT.

4.4.6. Przylot

Domena V (rys. 4.4, tab. 4.6) dotyczy procesów oraz operacji i zdarzeń procesów (składowych procesów) związanych z końcowymi fazami lotu. Te procesy i ich składowe wymagają szczególnego skupienia uwagi przez pilota oraz pełnej świadomości sytuacyjnej [94]. Zasadnicze procesy domeny V to: zbliżanie [170] do (M)TMA/(M)CTR lub (M)ATZ (proces 5.1), podejście do lądowania [170] (proces 5.2), lądowanie (proces 5.3).

Proces zbliżania do (M)TMA/(M)CTR lub (M)ATZ (proces 5.1) obejmuje operację zniżanie początkowe i wlot w (M)TMA/(M)CTR lub (M)ATZ, zdarzenie osiągnięcia znaczącego punktu lub rozpoczęcie opublikowanej procedury dolotowej do lotniska (STAR – *Standard Instrument Arrival* [170]) w (M)TMA/(M)CTR lub (M)ATZ podczas zbliżania oraz operację dalsze zniżanie i/lub lot poziomy w (M)TMA/(M)CTR lub (M)ATZ.

Proces podejścia do lądowania (proces 5.2) obejmuje trzy zasadnicze operacje nazwane w sposób bardzo ogólny. Wynika to z faktu, że proces ten może zachodzić wg różnych przepisów (VFR – *Visual Flight Rules* / IFR – *Instrument Flight Rules*), procedur (podejście z widocznością / podejście wg wskazań przyrządów) lub manewrów nadlotniskowych (*standard pattern, closed pattern*) [167] zależnych od wielu zmiennych i parametrów. Wyróżnia się tutaj operację wykonywania podejścia do lądowania (ruch samolotu wg określonego/opublikowanego wzorca ruchu lotniczego w (M)TMA/(M)CTR lub (M)ATZ lub wg komend organów kontroli ruchu lotniczego [93]), zdarzenie nawiązania kontaktu wzrokowego z drogą startową lub nienawiązania kontaktu wzrokowego z drogą startową, zdarzenie podjęcia decyzji o lądowaniu lub o przerwaniu podejścia do lądowania i realizacja procedury po nieudanym podejściu – ewentualne odejście na lotnisko zapasowe.

Tabela 4.6

Domena analiz V – Przylot

DOMENA ANALIZ	PROCESY W DOMENIE ANALIZ		OPERACJE I **ZDARZENIA** PROCESÓW W DOMENIE ANALIZ	
DOMENA V Przylot (D5)	5.1	**Zbliżanie do (M)TMA/ (M)CTR lub (M)ATZ**	5.1.1	Zniżanie początkowe i wlot w (M)TMA/(M)CTR lub (M)ATZ
			5.1.2	**Osiągnięcie znaczącego punktu i/lub rozpoczęcie opublikowanej procedury STAR w (M)TMA/(M)CTR lub (M)ATZ podczas zbliżania**
			5.1.3	Dalsze zniżanie i/lub lot poziomy w (M)TMA/(M)CTR lub (M)ATZ
	5.2	**Podejście do lądowania**	5.2.1	Wykonywanie podejścia do lądowania
			5.2.2	**Nawiązanie kontaktu wzrokowego z drogą startową lub nienawiązanie kontaktu wzrokowego z drogą startową**
			5.2.3	**Podjęcie decyzji o lądowaniu lub o przerwaniu podejścia do lądowania** i realizacja procedury po nieudanym podejściu – ewentualne odejście na lotnisko zapasowe
	5.3	**Lądowanie**	5.3.1	Lot szybowy
			5.3.2	Wyrównywanie
			5.3.3	Wytrzymywanie i **przyziemienie** na nawierzchni drogi startowej
			5.3.4	Dobieg

Źródło: opracowanie własne

Proces zbliżania do (M)TMA/(M)CTR lub (M)ATZ (proces 5.1) podczas lotu wg wskazań przyrządów (przepisy IFR) [170, 173] odbywa się w segmencie dolotu (będącym pierwszym z pięciu segmentów [170]), który kończy się w punkcie IAF (*Initial Approach Fix*) [170]. Proces podejście do lądowania (proces 5.2) może być realizowany na wiele sposobów wynikających z określonych przepisów i procedur [170, 173]. Rozpatrując jednak ten proces z punktu widzenia segmentów stosowanych w podejściach do lądowania wg wskazań przyrządów, to obejmuje on segmenty: podejścia początkowego (segment II), podejścia pośredniego (segment III), podejścia końcowego (segment IV). W przypadku gdy okazuje się, że np. warunki meteorologiczne do lądowania są poniżej minimów pilota do lądowania i uniemożliwiają nawiązanie kontaktu wzrokowego z drogą startową, pilot jest zobowiązany rozpocząć procedurę po nieudanym podejściu – segment V, który rozpoczyna się w punkcie MAPt (*Missed Approach Point*) [170]. W takim przypadku po wykonaniu procedury po nieudanym podejściu, pilot podejmuje decyzję o wykonaniu kolejnej próby podejścia do lądowania na tym samym lotnisku, oczekiwaniu w holdingu na poprawę warunków atmosferycznych lub o odejściu na lotnisko zapasowe.

Proces lądowania (proces 5.3) inicjowany jest zawsze wtedy i tylko wtedy gdy został nawiązany kontakt wzrokowy z drogą startową oraz podjęta została decyzja o lądowaniu. Proces lądowania rozpoczyna się na wyokości około 15 metrów AGL i obejmuje operacje: lot szybowy, wyrównywanie, wytrzymywanie ze zdarzeniem przyziemienia na nawierzchni drogi startowej, dobieg [246]. Zdarzenie przyziemienia na nawierzchni drogi startowej kończy etap lotu w ramach misji lotniczej. Koniec operacji dobiegu jest początkiem III etapu misji lotniczej – czynności na ziemii po locie.

4.4.7. Po lądowaniu

Domena VI (rys. 4.4, tab. 4.7) obejmuje dwa procesy i składające się na nie operacje III etapu misji lotniczej. Na proces kołowania po lądowaniu (proces 6.1) składają się operacje: zwalnianie drogi startowej, konfigurowanie samolotu do kołowania (*after landing checklist*), kołowanie samolotu do hangaru lub na płytę postojową / stanowisko postojowe. Po zatrzymaniu samolotu w hangarze lub na płycie postojowej / stanowisku postojowym następuje proces wyłączenia i sprawdzenia (proces 6.2). Pierwszą operacją tego procesu jest wyłączania zespołu napędowego i systemów pokładowych (*shutdown checklist*). Następnie pilot sprawdza oraz konfiguruje systemy pokładowe samolotu na czas postoju (*before exit aircraft checklist*), po czym opuszcza go. Zdarzenie opuszczania kabiny samolotu przez pilota kończy III i zarazem ostatni etap misji lotniczej.

Tabela 4.7

Domena analiz VI – Po lądowaniu

DOMENA ANALIZ	PROCESY W DOMENIE ANALIZ		OPERACJE I **ZDARZENIA** PROCESÓW W DOMENIE ANALIZ	
DOMENA VI Po lądowaniu (D6)	6.1	**Kołowanie po lądowaniu**	6.1.1	Zwalnianie drogi startowej
			6.1.2	Konfigurowanie samolotu do kołowania (*after landing checklist*)
			6.1.3	Kołowanie samolotu do hangaru lub na płytę postojową / stanowisko postojowe
	6.2	**Wyłączenie i sprawdzenie**	6.2.1	Wyłączanie zespołu napędowego i systemów pokładowych (*shutdown checklist*)
			6.2.2	Sprawdzanie oraz konfigurowanie systemów pokładowych samolotu na czas postoju (*before exit aircraft checklist*)
			6.2.3	**Opuszczenie kabiny samolotu przez pilota**

Źródło: opracowanie własne

Wskazana domena kończy obecność samolotu w pojedynczym cyklu czynności lotniczych pilota, a zarazem w cyklu użytkowania samolotu, który w tym momencie trafia pod „opiekę” technika z EO, a więc do SUtSLT (rys. 4.4

– linia obecności samolotu). Samolot po misji lotniczej zazwyczaj znajduje się w stanie niezdatności lub w stanie ograniczonej zdatności do lotu – wymaga przeprowadzenia przez personel SIL obsługi technicznej [91].

4.4.8. Podsumowania misji lotniczej

Domena VII (rys. 4.4, tab. 4.8) związana jest z podsumowywaniem zakończonych misji lotniczych – jednej lub kilku w danym okresie. Procesy 7.2 i 7.3 zostały zaznaczone kolorem szarym na rysunku 4.4 oraz w tabeli 4.8 ze względu na fakt, że nie są one realizowane tuż po pojedynczej misji lotniczej / pojedynczym cyklu czynności lotniczych pilota. Wszystkie trzy rodzaje podsumowań (S1, S2, S3) zostały już szczegółowo opisane (podrozdział 4.3) dlatego domena zostaje przedstawiona tylko w formacie tabeli (tab. 4.8), która w sposób ogólny i kohernetny przedstawia najważniejsze procesy, operacje i zdarzenia jakie zachodzą w domenie VII.

Tabela 4.8

Domena VII – Podsumowania misji lotniczej

DOMENA ANALIZ	PROCESY W DOMENIE ANALIZ		OPERACJE I **ZDARZENIA** PROCESÓW W DOMENIE ANALIZ	
DOMENA VII Podsumowania misji lotniczej (D7)	7.1	**Podsumowanie bieżące (S1)**	7.1.1	Przekazywanie technikowi obsługującemu samolot informacji i uwag z lotu
			7.1.2	Przeprowadzanie analizy materiałów obiektywnej kontroli lotów
			7.1.3	Debriefing – omówienie misji lotniczej (formułowanie uwag, spostrzeżeń, itp.)
			7.1.4	**Zakończenie debriefingu –** formułowanie wniosków i zaleceń wynikających z wykonanej misji lotniczej (koniec pojedynczego CCLP)
	7.2	Podsumowanie organizacyjno-specjalistyczne (S2)	7.2.1	Przeprowadzanie oceny jakości pracy służb organizacji lotów, zdatności samolotów, zdatności środków zabezpieczenia lotów, szkolenia lotniczego itp.
			7.2.2	Formułowanie wniosków i zaleceń dotyczących działalności lotniczej w danej SCCLP (na danej zmianie lotnej)
			7.2.3	**Zakończenie zmiany lotnej** (SCCLP)
	7.3	Podsumowanie organizacji lotów i szkolenia lotniczego (S3)	7.3.1	Przeprowadzanie analizy organizacji lotów i szkolenia lotniczego w BLT za dany okres
			7.3.2	Formułowanie wniosków i zaleceń dotyczących działalności lotniczej po pewnej liczbie SCCLP (za dany okres)
			7.3.3	**Zatwierdzenie oraz publikacja notatki przygotowanej do Zbioru Informacji Bieżących**

Źródło: opracowanie własne

5. ELEMENTY SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA W SYSTEMIE UŻYTKOWANIA SAMOLOTÓW LOTNICTWA TAKTYCZNEGO

5.1. Wprowadzenie

Korzystając z definicji „elementu bezpieczeństwa" zawartej w dyrektywie 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady [279] oraz z prac [118, 120], elementy systemów bezpieczeństwa można podzielić na dwa rodzaje:

- elementy I rodzaju – pełniące tylko i wyłącznie funkcje bezpieczeństwa,
- elementy II rodzaju – pełniące oprócz funkcji bezpieczeństwa również funkcje związane z działaniem systemu, obiektu technicznego tego systemu lub komponentu obiektu technicznego.

Przez funkcję bezpieczeństwa rozumie się sposób reagowania elementu systemu bezpieczeństwa na źródła zagrożeń [118]. Przykładowo, wyróżnić można funkcje bezpieczeństwa polegające na eliminowaniu źródeł zagrożeń, ograniczaniu poziomu narażeń pochodzących od tych źródeł [313] lub funkcje polegające jedynie na informowaniu o występowaniu/aktywności źródeł zagrożeń.

W zależności od sposobu i efektu oddziaływania na źródła zagrożeń, funkcje bezpieczeństwa można klasyfikować i oceniać za pomocą miar tzw. skuteczności (*efficacy*) oddziaływania. Różne podejścia do klasyfikacji elementów systemów bezpieczeństwa podali np. autorzy prac [85, 144, 325]. Przykłady ocen dokonywanych za pomocą miar ilościowych zaproponowali Gill i Smoczyński [128] (*efficacy* oparte na *vulnerability* rozumianej jak w pracach [8, 343]), Bianchini i in. [34] (*Efficacy Index*) czy Kosmowski [206] (wskaźniki efektywności opcji sterowania ryzykiem). Harms-Ringdahl [145] przedstawił natomiast oceny skuteczności dokonywane z użyciem kryteriów i miar jakościowych. Z punktu widzenia opisu elementów systemów bezpieczeństwa, szczególnie interesujące jest kryterium jakościowe *importance*, które może być rozpatrywane jako podstawowa cecha elementów systemów bezpieczeństwa. W ramach niniejszej rozprawy nieco przemodelowano i rozbudowano do pięciostopniowej skali kryterium jakościowe *importance* proponowane przez Harms-Ringdahla w pracy [145]. Opracowane wartości zmiennej lingwistycznej wyrażające znaczenie (*importance*) funkcji bezpieczeństwa podano w tabeli 5.1. Znaczenie każdego z elementów systemu bezpieczeństwa określane jest przez eksperta (w danej dziedzinie) prowadzącego analizę, który określa poziomy ich oddziaływania na źródła zagrożeń na podstawie funkcji bezpieczeństwa jakie pełnią.

Tabela 5.1
Wartości zmiennej lingwistycznej wyrażające znaczenie (*importance*) funkcji bezpieczeństwa

Wartość punktowa	Wartość lingwistyczna
1	bardzo małe oddziaływanie na źródła zagrożeń
2	małe oddziaływanie na źródła zagrożeń
3	średnie oddziaływanie na źródła zagrożeń
4	duże oddziaływanie na źródła zagrożeń
5	bardzo duże oddziaływanie na źródła zagrożeń

Źródło: opracowanie własne na podstawie [118, 145]

W podrozdziale 3.2.2 przedstawiono wiele przykładów różnych elementów systemów bezpieczeństwa stosowanych zarówno w lotnictwie cywilnym jak i wojskowym. Jednak w dalszej część niniejszej rozprawy przedstawione zostaną te elementy systemów bezpieczeństwa, które związane są z systemem użytkowania samolotu Su-22 w wersji M4. Rozważania będą prowadzone przede wszystkim w odniesieniu do tych elementów systemu bezpieczeństwa, które są dedykowane do reagowania na niektóre źródła zagrożeń jakie są związane z realizacją zadania lotniczego (zadań lotniczych) w systemie użytkowania samolotu Su-22M4 – domena IV SUżSLT. Samolot Su-22M4 jest samolotem myśliwsko-bombowym, eksploatowanym m.in. przez lotnictwo taktyczne Sił Powietrznych RP. Charakterystykę samolotu Su-22M4 przedstawiono w pracach [95, 136].

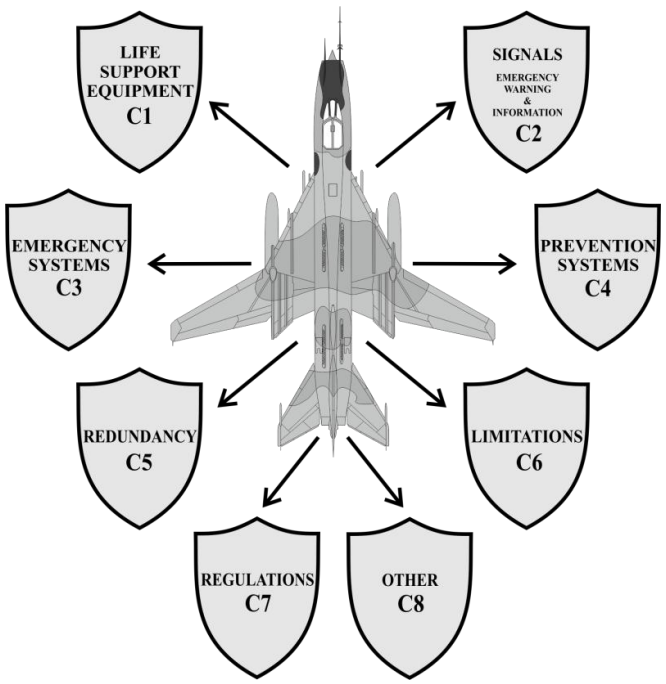
Wiele z prezentowanych w niniejszej rozprawie elementów systemu bezpieczeństwa samolotu Su-22M4, w niezmienionej lub unowocześnionej formie występuje we współczesnych samolotach lotnictwa taktycznego. Nieustanny rozwój techniki lotniczej powoduje, że w nowoczesnych samolotach lotnictwa taktycznego pojawiają się nowe rozwiązania, które powiększają gamę elementów systemów bezpieczeństwa. Prowadzone rozważania w obszarze SUżSLT pozwoliły autorowi wyselekcjonować osiem ogólnych kategorii tych elementów. Natomiast analizy literatury umożliwiły sformułowanie uogólnionego modelu formalnego zapisu elementów systemu bezpieczeństwa wybranego samolotu lotnictwa taktycznego.

5.2. Kategorie elementów systemów bezpieczeństwa w SUżSLT

Każdy samolot wojskowy lotnictwa taktycznego wyposażany jest w system bezpieczeństwa, w którego skład wchodzi wiele zróżnicowanych elementów. Elementy systemu bezpieczeństwa danego typu samolotu lotnictwa taktycznego przyjmują postać urządzeń, modułów, instalacji, a nawet systemów oraz dają się zakwalifikować do pewnych kategorii. Podczas badań prowadzonych w ramach

SUżSLT (w kontekście różnych typów samolotów), wyselekcjonowano następujące kategorie elementów systemu bezpieczeństwa (rys. 5.1):

C1 – wyposażenie wysokościowo-ratownicze (*life support equipment*),
C2 – sygnalizacje awaryjne/ostrzegawcze/informacyjne (*signals*),
C3 – systemy awaryjne (*emergency systems*),
C4 – systemy prewencyjne (*prevention systems*),
C5 – nadmiarowość (*redundancy*),
C6 – ograniczenia (*limitations*),
C7 – przepisy i regulacje (*regulations*)
C8 – inne elementy (*other*).



Rysunek 5.1. Kategorie elementów systemu bezpieczeństwa dowolnego samolotu lotnictwa taktycznego na przykładzie samolotu Su-22M4

Elementy systemu bezpieczeństwa samolotu Su-22M4 w niniejszej rozprawie prezentowane są przede wszystkim w odniesieniu do domeny zadania lotniczego, ale wiele z nich znajduje także zastosowanie w ramach pozostałych domen SUżSLT. Wskazywane dalej przykłady elementów systemu bezpieczeństwa to takie, które realizują funkcje bezpieczeństwa względem odbiorców/odbiorników narażeń (pilot, samolot, otoczenie, inne), reagując na niektóre źródła zagrożeń jakie zostały rozpoznane w domenie zadanie lotnicze systemu użytkowania sa-

molotu lotnictwa taktycznego Su-22M4. W ten sposób wpływają one na ograniczanie poziomu ryzyka zagrożeń związanych z wykonywaniem zadania lotniczego (zadań lotniczych). Należy także zaznaczyć, że pośród omawianych elementów systemu bezpieczeństwa samolotu Su-22M4, występują zarówno elementy I jak i II rodzaju.

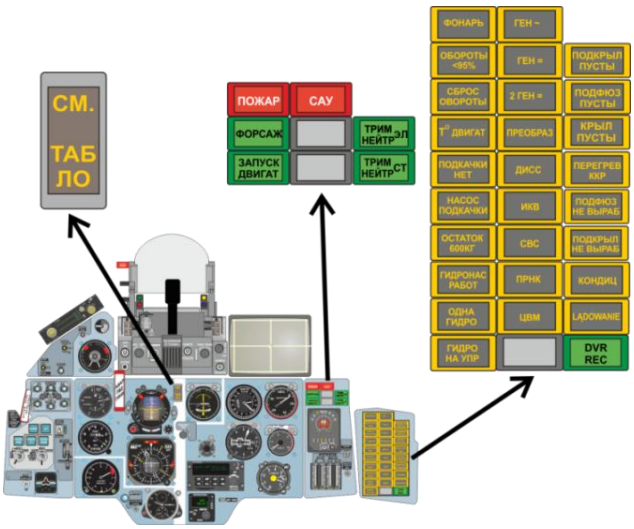
5.3. Wybrane elementy systemu bezpieczeństwa samolotu Su-22M4

Kategoria C1 – wyposażenie wysokościowo-ratownicze. Wyposażenie wysokościowo-ratownicze [96, 165] samolotu Su-22M4 obejmuje przede wszystkim osobisty sprzęt wysokościowo-ratowniczy pilota dedykowany do tego typu samolotu oraz urządzenia wysokościowo-ratownicze samolotu zainstalowane na jego pokładzie. Do osobistego sprzętu wysokościowo-ratowniczego pilota należy zaliczyć m.in.: hełm ochronny ZSz-7, maskę tlenową KM-34, ubiór przeciwprzeciążeniowy PPK, wysokościowy ubiór kompensacyjny WUK, uprząż indywidualną IPS-72, morski ubiór pilota MUP, kamizelkę ratunkową KR-7 oraz lotniczy nóż ratowniczy [95]. Natomiast do urządzeń wysokościowo-ratowniczych samolotu Su-22M4 zalicza się głównie: system awaryjnego opuszczania samolotu – w tym fotel katapultowy K-36DM wraz z wyposażeniem, instalację awaryjnego zrzutu odchylanej części osłony kabiny, układ blokowania katapultowania; instalację nadciśnienia, hermetyzacji i klimatyzacji kabiny; instalację tlenową KKO-5; instalację przeciwprzeciążeniową z automatem AD-5A [95]. Wymienione wyposażenie wysokościowo-ratownicze nie zawsze jest wykorzystywane w pełnym zakresie podczas wykonywania każdego zadania lotniczego. Jeśli na przykład zadanie lotnicze nie jest wykonywane nad akwenami wodnymi, to morski ubiór pilota oraz kamizelka ratunkowa nie są wykorzystywane.

Kategoria C2 – sygnalizacje awaryjne/ostrzegawcze/informacyjne. Do sygnalizacji awaryjnych, ostrzegawczych oraz informacyjnych należy zaliczyć wszelkiego rodzaju sygnalizatory świetlne, akustyczne, wibracyjne, radiowe czy też znaczniki np. niezdatności oraz dopuszczalnych lub pozaeksploatacyjnych zakresów pracy urządzeń, modułów, instalacji lub systemów pokładowych samolotu. W samolocie Su-22M4 występuje tablica sygnalizacji SAS-4 (rys. 5.2) [95], na której umieszczono kilkanaście lampek sygnalizacyjnych w trzech kolorach: czerwone – awaryjne, żółte – ostrzegawcze oraz zielone – informacyjne. Natomiast w centralnej części panelu środkowego kokpitu umieszczono przycisk-lampkę „СМОТРИ ТАБЛО” (rys. 5.2) w celu zwrócenia uwagi pilota (poprzez miganie) na tablicę sygnalizacji SAS-4, gdy zaświeci się jedna z lampek awaryjnych lub ostrzegawczych. Centralny przycisk-lampka zainstalowany w samolocie Su-22M4 jest odpowiednikiem przycisku-lampki „MASTER CAUTION” instalowanej we współczesnych samolotach wojskowych. Lampki

awaryjne (rys. 5.2) w samolocie Su-22M4 informują pilota o wystąpieniu pożaru silnika („ПОЖАР”) oraz awarii systemu automatycznego sterowania („САУ”). Z kolei lampki ostrzegawcze (rys. 5.2) informują m.in. o: nadmiernej temperaturze pracy silnika („Т°ДВИГАТ”), wyłączeniu/niezdatności prądnic prądu stałego („2 ГЕН=”) lub przemiennego („ГЕН~ ”), minimalnej pozostałości paliwa („ОСТАТОК 600КГ”), zużyciu paliwa ze zbiorników podwieszanych („ПОДФЮЗ. ПУСТЫ”, „ПОДКРЫЛ. ПУСТЫ”). Lampki informacyjne (rys. 5.2) poprzez ciągłe świecenie informują pilota o włączeniu urządzeń, modułów, instalacji lub systemów pokładowych samolotu. Poza tablicą sygnalizacji SAS-4, w samolocie Su-22M4 występują również m.in.: żółta lampka ostrzegająca o wykryciu opiłków metalu w oleju silnika („СТРУЖКА В МАСЛЕ”) oraz czerwona lampka ostrzegająca o krytycznych wartościach kątów natarcia i przeciążenia („α n_y КРИТ”).

Do zewnętrznej sygnalizacji świetlnej jako elementu systemu bezpieczeństwa samolotu Su-22M4 należy zaliczyć światła antykolizyjne oraz pozycyjne (nawigacyjne) [173]. Światła antykolizyjne przeznaczone są do sygnalizacji obecności samolotu oraz pomagają zauważyć samolot innym użytkownikom przestrzeni powietrznej. Natomiast światła pozycyjne ze względu na ustandaryzowane kolory (zielony – prawe skrzydło, czerwony – lewe skrzydło) są przeznaczone do wskazywania obserwatorowi względnego toru lotu samolotu przez co pomagają określić pozycję oraz kierunek ruchu obserwowanego samolotu.



Rysunek 5.2. Tablica sygnalizacji SAS-4 oraz centralny przycisk-lampka „СМОТРИ ТАБЛО” samolotu Su-22M4

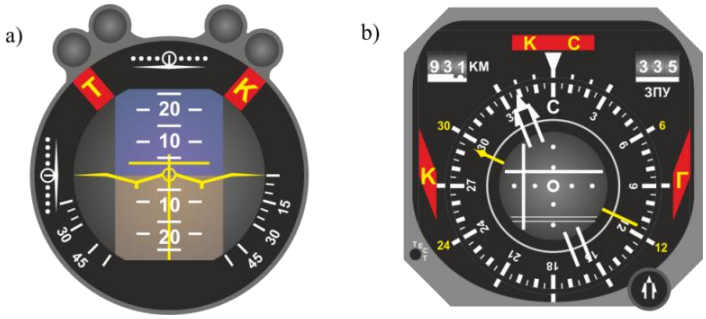
Akustyczna sygnalizacja ostrzegawcza w samolocie Su-22M4 występuje m.in. w radiowysokościomierzu. Pilot przed wykonaniem zadania lotniczego ustawia na wskaźniku radiowysokościomierza odpowiednią wysokość bezpieczną. W chwili gdy podczas wykonywania zadania lotniczego samolot zmniejszy wysokość lotu poniżej ustawionej wysokość bezpiecznej, radiowysokościomierz wysyła sygnał akustyczny do słuchawek hełmu ochronnego pilota. W tym przypadku sygnał akustyczny jest połączony z sygnalizacją świetlną w postaci żółtej lampki ostrzegawczej umieszczonej na wskaźniku radiowysokościomierza.

Transponder SC10D2 zainstalowany w samolocie Su-22M4 to rodzaj sygnalizatora wykorzystującego fale radiowe do przesyłania informacji. W ten sposób do służb kontroli ruchu lotniczego przesyłane są informacje dotyczące m.in. aktualnego położenia oraz wysokości samolotu. Tego typu informacje są wykorzystywane przez służby kontroli ruchu lotniczego m.in. do właściwego separowania samolotów w przestrzeni powietrznej. Transponder SC10D2, podobnie jak inne tego typu urządzenia może funkcjonować w trybie pracy „EMERGENCY", którego aktywacja świadczy o zaistnieniu sytuacji zagrożenia na pokładzie samolotu. Posługując się ustandaryzowanymi kodami transpondera (*squawk*) [45] pilot jest w stanie poinformować służby kontroli ruchu lotniczego m.in. o sytuacji zagrażającej życiu pilota (*squawk 7700*), czy też o utracie łączności radiowej (*squawk 7600*). Dzięki takiemu rozwiązaniu, w przypadku użycia jednego ze standardowych kodów transpondera, samolot jest traktowany priorytetowo w stosunku do innych użytkowników przestrzeni powietrznej oraz natychmiastowo udzielana jest mu wszelka możliwa pomoc.

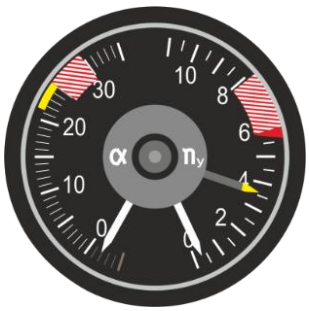
Znaczną część sygnalizacji awaryjnej/ostrzegawczej/informacyjnej w samolocie Su-22M4 stanowią wszelkiego rodzaju znaczniki. Do znaczników sygnalizujących różnego rodzaju niezdatności można zaliczyć m.in.: czerwony znacznik niezdatności radiowysokościomierza; czerwone znaczniki niezdatności sztucznego horyzontu КПП w kanałach pochylenia (znacznik „Т" – rys. 5.3a) oraz przechylenia (znacznik „К" – rys. 5.3a); czerwone znaczniki niezdatności wskaźnika pilotażowo-nawigacyjnego ПНП w kanale ścieżki kursu (znacznik „К" – rys. 5.3b), ścieżki zniżania (znacznik „Г" – rys. 5.3b) oraz nadajnika i wskaźnika bieżącego kursu („КС" – rys. 5.3b).

Natomiast do znaczników dopuszczalnych lub pozaeksploatacyjnych wartości zakresów pracy urządzeń, modułów, instalacji lub systemów pokładowych samolotu Su-22M4 należą m.in. biało-czerwone znaczniki dopuszczalnych wartości kątów natarcia i przeciążeń na wskaźniku UUAP-4-7 (rys. 5.4) oraz czerwone obwiednie skali niektórych przyrządów sygnalizujące pozaeksploatacyjne wartości takich parametrów jak np.: temperatura gazów wylotowych T_4 zaznaczona na wskaźniku ITG-1 (rys. 5.5a) i prędkość obrotowa silnika przy której następuje rozwarcie segmentów dyszy regulowanej silnika zaznaczona na wskaźniku ITE-1 (rys. 5.5b). Za pewnego rodzaju znacznik można również

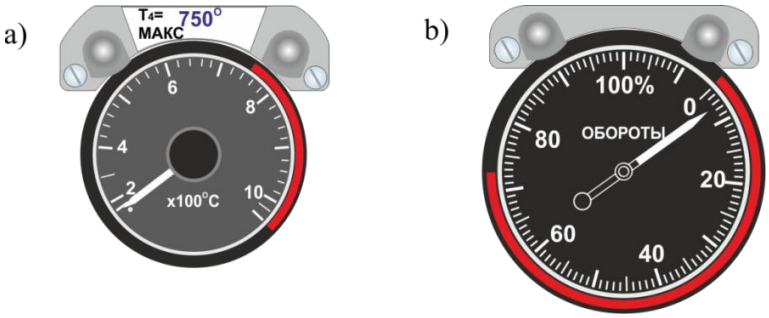
uznać ogólnie kolor czerwony w kabinie samolotu Su-22M4. Wszystkie elementy wyposażenia awaryjnego kabiny są oznaczone właśnie kolorem czerwonym, który na tle pozostałego wyposażenia zdecydowanie się wyróżnia.



Rysunek 5.3. (a) sztuczny horyzont КПП wraz ze znacznikami niezdatności „K” oraz „T”; (b) wskaźnik pilotażowo-nawigacyjny ПНП wraz ze znacznikami niezdatności „K”, „Г” oraz „KC”



Rysunek 5.4. Wskaźnik wartości kątów natarcia oraz przeciążeń UUAP-4-7



Rysunek 5.5. (a) wskaźnik temperatury T4 (ITG-1) z zaznaczonym czerwonym zakresem wartości; (b) wskaźnik prędkości obrotowej silnika (ITE-1) z zaznaczonym czerwonym zakresem wartości dla rozwarcia segmentów dyszy regulowanej

Kategoria C3 – systemy awaryjne. Do kategorii systemów awaryjnych samolotu Su-22M4 zalicza się przede wszystkim system awaryjnego uruchamiania silnika w powietrzu, system przeciwpożarowy przedziału silnikowego, awaryjną instalację hydrauliczną z awaryjną elektryczną pompą hydrauliczną НС-3, czy też system awaryjnego zrzutu podwieszeń (zbiorników paliwa, podwieszonego uzbrojenia). Pozostałe systemy awaryjne to m.in. system awaryjnych odbiorników ciśnień powietrza, instalacja awaryjnego podawania tlenu oraz awaryjna instalacja tlenowa (fotela katapultowego).

Istotnym elementem układu sterowania samolotem jest system automatycznego doprowadzania samolotu do prostoliniowego lotu poziomego, który również można zaliczyć do kategorii systemów awaryjnych. System ten jest aktywowany poprzez naciśnięcie na drążku sterowym przycisku „ПРИВЕД К ГОРИЗ.”. To rozwiązanie jest odpowiednikiem współczesnego systemu PARS [7, 344] instalowanego w samolotach najnowszej generacji. Tego typu systemy w przypadku utraty orientacji przestrzennej przez pilota umożliwiają automatyczny powrót samolotu do prostoliniowego lotu poziomego zapobiegając tym samym aktywizacji niektórych zagrożeń.

Kategoria C4 – systemy prewencyjne. Systemy prewencyjne realizują funkcje związane z zapobieganiem pewnym określonym i znanym zjawiskom, mogącym mieć wpływ na stan bezpieczeństwa wykonywania zadania lotniczego. W przypadku samolotu Su-22M4 przykładami tej kategorii elementów systemu bezpieczeństwa są: system przeciwpompażowy silnika СПП; system ogrzewania elektrycznego odbiorników ciśnień powietrza PWD-18G, nadajnika pomiaru kątów natarcia DUA-3 oraz przedniej szyby i peryskopu; zestaw odgromników elektrostatycznych umieszczonych na końcówkach skrzydeł, stabilizatorów płytowych oraz steru kierunku. System СПП zapobiega zjawisku wystąpienia pompażu silnika [196], natomiast system ogrzewania elektrycznego zapobiega wystąpieniu zjawiska oblodzenia [348] na odbiornikach ciśnień powietrza, nadajniku pomiaru kątów natarcia oraz przedniej szybie i peryskopie. Z kolei odgromniki elektrostatyczne odpowiadają za odprowadzanie ładunku elektrycznego z płatowca, zapobiegając tym samym gromadzeniu się zbyt dużej ilości skumulowanego ładunku elektrycznego np. w wyniku oddziaływania na samolot wyładowań atmosferycznych [36, 268].

Kategoria C5 – nadmiarowość (redundancja). Samoloty cechuje nadmiarowa struktura niezawodnościowa [184, 228]. Nadmiarowość, określana również mianem redundancji, przyjmuje wiele różnych form i w konstrukcjach lotniczych jest czymś powszechnym. Samoloty lotnictwa taktycznego charakteryzuje kilka form nadmiarowości, natomiast ich przykłady w postaci urządzeń, modułów, instalacji lub systemów pokładowych, można rozpatrywać jako elementy systemu bezpieczeństwa danego typu samolotu. Niezawodnościowa struktura nadmiarowa samolotu Su-22M4 jest wynikiem zarówno celowej działalności

projektantów/konstruktorów tego samolotu, jak i też ówczesnych możliwości technicznych.

W strukturze samolotu Su-22M4 występuje wiele urządzeń, modułów, instalacji oraz systemów pokładowych, które spełniają różne funkcje. Jednak poza tymi o charakterze zasadniczym/podstawowym, występują również ich rezerwowe/zapasowe odpowiedniki. Nadmiarowość strukturalna polega na wprowadzeniu do obiektu/systemu dodatkowych (rezerwowych/zapasowych) urządzeń, modułów, instalacji lub systemów pokładowych. Przykładami nadmiarowości strukturalnej w samolocie Su-22M4 są np.: druga instalacja hydrauliczna, zapasowy nadajnik pionu żyroskopowego AGD, zapasowy indukcyjny wskaźnik kursu ID-6. W przypadku niezdatności zasadniczych urządzeń, modułów, instalacji lub systemów pokładowych samolotu, ich funkcje przejmują te rezerwowe.

Do nadmiaru strukturalnego należy zaliczyć również zainstalowanie na pokładzie samolotu Su-22M4 dwóch radiostacji pokładowych (R-862 i RS-6113), dwóch prędkościomierzy (prędkości przyrządowej i prędkości rzeczywistej) oraz trzech wysokościomierzy (barometryczny, elektryczny i radiowysokościomierz). W tych przypadkach nie rozróżnia się urządzeń, modułów, instalacji, czy też systemów zasadniczych i rezerwowych, ponieważ zawsze wszystkie są użytkowane równolegle podczas wykonywania zadań lotniczych. Jednak w przypadku niezdatności jednego z nich pilot może użyć pozostałych.

Niektóre elementy obiektu/systemu są wielofunkcyjne. Nadmiar funkcjonalny występuje w obiekcie/systemie wówczas, gdy istnieje co najmniej jeden element mogący realizować dwie lub więcej funkcji. Element z nadmiarem funkcjonalnym przejmuje w pełni lub częściowo realizację funkcji elementu niezdatnego w zakresie swoich możliwości nadmiarowych. W systemach pilotażowo-nawigacyjnych samolotów stosuje się różne urządzenia, a każde z nich zasadniczo spełnia inne funkcje. Jednakże w przypadku niezdatności niektórych z nich, funkcje ich w ograniczonym zakresie przejmują pozostałe, zdatne urządzenia.

Przykładem wyposażenia samolotu Su-22M4 z nadmiarem funkcjonalnym jest przyrząd zespolony DA-200-A. W tym przyrządzie zintegrowano wariometr, zakrętomierz oraz wskaźnik ślizgu przez co można tutaj mówić o nadmiarze funkcjonalnym tego przyrządu względem sztucznego horyzontu КПП. W przypadku awarii sztucznego horyzontu КПП, na przyrządzie DA-200-A pilot może odczytać parametry przechylenia oraz pochylenia samolotu. Z kolei połączenie wskazań jednego z wysokościomierzy ze wskazaniami jednego z prędkościomierzy, generuje nadmiar funkcjonalny tych przyrządów także względem sztucznego horyzontu КПП, ale tylko w kanale pochylenia. Natomiast odbiornik GPS charakteryzuje się nadmiarem funkcjonalnym względem wskaźnika pilotażowo-nawigacyjnego ПНП w funkcji wskazywania kursu samolotu. Również pilot spełnia rolę nadmiaru funkcjonalnego względem wielu urządzeń pokładowych (diagnostycznych, nawigacyjnych itd.). Na przykład,

w razie uszkodzenia urządzeń nawigacyjnych, podczas wykonywania zadania lotniczego, pilot na podstawie obserwacji terenu, jest w stanie prowadzić dalszą nawigację.

Podczas użytkowania obiektów technicznych, podlegają one działaniu różnych wymuszeń. Z drugiej strony obiekty te charakteryzują się określoną odpornością na wymuszenia. Na przykład elementy mechaniczne podlegają pewnym obciążeniom i charakteryzują się wytrzymałością konstrukcji. W procesie projektowania m.in. samolotów, wprowadza się tak zwane współczynnik bezpieczeństwa definiowane jako stosunek wartości oczekiwanej wytrzymałości do wartości oczekiwanej obciążenia [184]. Współczynniki bezpieczeństwa ustala się dla urządzeń, modułów, instalacji oraz systemów pokładowych zarówno mechanicznych, elektrycznych, pneumatycznych jak i hydraulicznych. Elementy takie określa się, jako mające nadmiar wytrzymałości. Współczynniki bezpieczeństwa konstrukcji są miarą nadmiaru wytrzymałości tej konstrukcji.

W przypadku samolotu Su-22M4 można podać jako przykład zakres dopuszczalnych przeciążeń pionowych jakie pilot może wytworzyć podczas wykonywania zadania lotniczego. Czasami zdarzają się sytuacje, że określone dla danej konfiguracji samolotu wartości maksymalne przeciążeń pionowych zostają przekroczone. W takim przypadku po zakończeniu misji lotniczej, samolot trafia na specjalny przegląd diagnostyczny celem określenia czy w wyniku wytworzonego podczas zadania lotniczego przeciążenia pionowego nie uległy zniszczeniu, czy też deformacji jakiekolwiek jego elementy konstrukcyjne. Zazwyczaj okazuje się że chwilowe przekroczenie maksymalnego dopuszczalnego przeciążenia pionowego nie powoduje żadnych niepożądanych skutków. Stąd wynika wniosek, że samolot Su-22M4 charakteryzuje się m.in. nadmiarem wytrzymałości konstrukcji na wytwarzane podczas wykonywania zadań lotniczych przeciążenia pionowe.

Nadmiar informacyjny stosuje się w celu zwiększenia pewności przekazywania informacji. Podczas wykonywania zadań lotniczych z wykorzystaniem samolotu Su-22M4 (podobnie jak i innych samolotów lotnictwa taktycznego), następuje ciągły przepływ informacji między samolotem a organami kontroli ruchu lotniczego oraz między samolotami. W celu bezbłędnego i bezawaryjnego odbioru oraz przekazu informacji stosuje się w szerokim zakresie nadmiar informacyjny. Wśród przykładów nadmiaru informacyjnego, związanego z użytkowaniem samolotu Su-22M4 podczas wykonywania zadań lotniczych, można wskazać:

- Wielokrotne powtarzanie niektórych słów i zwrotów istotnych dla prawidłowego odbioru i przekazu komunikatów drogą radiową. Pilot ma obowiązek zawsze powtórzyć m.in. udzielone przez organy ruchu lotniczego zezwolenia (*ATC clearance*), czy też wartości ciśnień niezbędne do ustawień wysokościomierzy barometrycznych.

- Zwielokrotnianie niektórych istotnych sygnalizacji. Przykładem może być generowanie przez radiowysokościomierz zarówno sygnału świetlnego jak i dźwiękowego informującego pilota, że zmniejszył wysokość lotu poniżej wysokość bezpiecznej ustawionej dla danego zadania lotniczego. Pomimo zainstalowania wskazówkowego przyrządu odpowiadającego za wskazania paliwomierza oraz przepływomierza, konstruktorzy zainstalowali również lampkę ostrzegającą pilota o minimalnej pozostałości paliwa („ОСТАТОК 600КГ").
- Zwielokrotnianie niektórych informacji pomiarowych. Dotyczy to między innymi zwielokrotnionych wskazań: wysokości lotu na wysokościomierzu barometrycznym, wysokościomierzu elektrycznym oraz radiowysokościomierzu; prędkości przyrządowej, rzeczywistej oraz podróżnej; informacji dotyczącej kursu samolotu pochodzących ze wskaźnika pilotażowo-nawigacyjnego ПНП oraz odbiornika GPS.
- Równoległe pozyskiwanie różnych informacji o tym samym charakterze, ale pochodzących z różnych źródeł. Dotyczy to przede wszystkim dwóch radiostacji pokładowych zainstalowanych na pokładzie samolotu Su-22M4. Dzięki nim pilot równolegle może nasłuchiwać komunikatów przekazywanych na dwóch różnych częstotliwościach radiowych.

Kategoria C6 – ograniczenia. Konstruktorzy samolotów w wyniku przeprowadzonych badań narzucają na konstrukcję samolotu oraz jego poszczególne urządzenia, moduły, instalacje oraz systemy pokładowe, pewne ograniczenia eksploatacyjne, które mają zapewnić ich niezakłócone funkcjonowanie. Niewielką część elementów systemu bezpieczeństwa ujętych w tej kategorii można w pewnym sensie umieścić w kategorii nadmiaru wytrzymałości konstrukcji. Jednak ze względu na ogromne znaczenie ograniczeń – głównie eksploatacyjnych – jakie są narzucane na obiekty techniczne takie jak samoloty, wyróżniono odrębną kategorię elementów systemu bezpieczeństwa. W przypadku samolotu Su-22M4 występuje szereg ograniczeń eksploatacyjnych związanych z:

- Masą i wyważeniem samolotu,
- Dopuszczalnymi minimalnymi i maksymalnymi prędkościami samolotu w różnych konfiguracjach,
- Dopuszczalnymi kątami natarcia w różnych konfiguracjach,
- Użytkowaniem silnika,
- Dopuszczalnymi przeciążeniami w różnych konfiguracjach,
- Użytkowaniem sprzętu wysokościowo-ratowniczego,
- Użytkowaniem instalacji pneumatycznej, hydraulicznej, elektrycznej itp.

Kategoria C7 – przepisy i regulacje. Przepisy i regulacje, traktowane jako kategoria elementów systemu bezpieczeństwa (danego typu samolotu), związane są głównie ze środowiskiem/otoczeniem systemu użytkowania samolotów lot-

nictwa taktycznego. Jednak w przypadku konkretnego samolotu lotnictwa taktycznego, można również wskazać elementy systemu bezpieczeństwa dające się zakwalifikować do tej kategorii. W kategorii przepisów i regulacji jako elementy systemu bezpieczeństwa danego typu samolotu, należy przede wszystkim wymienić instrukcje techniki pilotowania, metodyki szkolenia, programy szkolenia, standardowe procedury operacyjne oraz listy kontrolne (*checklisty*). Tego rodzaju dokumenty sporządzone są celem ustandaryzowania czynności związanych z użytkowaniem samolotu w kolejnych etapach misji lotniczych oraz w fazach lotu – w tym podczas wykonywania zadań lotniczych, a przede wszystkim w przypadku wystąpienia sytuacji zagrożenia podczas lotu. Dla samolotu Su-22M4 sporządzono m.in.: instrukcję techniki pilotowania [95], program szkolenia lotniczego [100], metodyki szkolenia lotniczego np. [101], standardowe procedury operacyjne np. [2] oraz listy kontrolne m.in. określające sekwencje czynności pilota w sytuacjach zagrożenia i w deficycie czasu – *boldface*s [1].

5.4. Zapis formalny wybranych elementów systemu bezpieczeństwa samolotu Su-22M4

W pracy [118] wskazano, że elementy systemów bezpieczeństwa (SSC) pełniące funkcje bezpieczeństwa, należy nazywać środkami redukcji ryzyka (RRM) i opisywać za pomocą zbioru atrybutów (**A**). W niniejszej rozprawie przyjmuje się zatem, że każdy element systemu bezpieczeństwa będzie określony na odpowiednim zbiorze atrybutów tzn.:

$$SSC = E(\mathbf{A}) \tag{5.1}$$

gdzie:

- SSC – element systemu bezpieczeństwa (*safety system component*),
- E – byt (*entity*) przejawiający swe istnienie poprzez pełnienie funkcji bezpieczeństwa i funkcji związanych z działaniem systemu,
- **A** – zbiór atrybutów elementu systemu bezpieczeństwa.

Atrybuty elementów systemów bezpieczeństwa można podzielić na atrybuty niższego i wyższego rzędu. Do atrybutów niższego rzędu zalicza się własności i właściwości elementów systemów bezpieczeństwa. Do atrybutów wyższego rzędu – relacje między elementami tych systemów i funkcje bezpieczeństwa (rozumiane w tym przypadku jako relacje między elementami systemów bezpieczeństwa a źródłami zagrożeń).

Własności to te cechy charakteryzujące elementy systemów bezpieczeństwa, które są niezmienne i niezależne od relacji z innymi elementami np. otoczenia systemów bezpieczeństwa. Przykładem mogą być własności wynikające z konstrukcji elementu takie jak: aktywność, automatyczne działanie, rodzaj

materiału konstrukcyjnego. Właściwościami zaś można określać te cechy, których wartości miar je opisujących są zmienne, a wynika to z interakcji elementów systemów bezpieczeństwa z różnymi składowymi otoczenia systemów [118]. Przykładem właściwości jest skuteczność oddziaływania elementów systemów bezpieczeństwa na źródła zagrożeń.

Biorąc pod uwagę przedstawioną tu specyfikę funkcjonowania systemów bezpieczeństwa, można dalej zapisać, że każdy element systemu bezpieczeństwa jest opisany przez zbiory atrybutów:

$$\text{SSC} = \text{E}(\mathbf{AN}, \mathbf{AW}); \text{ gdzie } \mathbf{AN}, \mathbf{AW} \subset \mathbf{A} \tag{5.2}$$

gdzie:
- **AN** – zbiór atrybutów niższego rzędu,
- **AW** – zbiór atrybutów wyższego rzędu.

W pracy [118] podano następujące uszczegółowienie zbiorów **AN** i **AW**:

$$\mathbf{AN} = [\mathbf{WN}, \mathbf{WW}] \text{ i } \mathbf{AW} = [\mathbf{SF}, \mathbf{R}] \tag{5.3}$$

gdzie:
- **WN** – zbiór własności elementu systemu bezpieczeństwa,
- **WW** – zbiór właściwości elementu systemu bezpieczeństwa,
- **SF** – zbiór funkcji bezpieczeństwa realizowanych przez elementu systemu bezpieczeństwa,
- **R** – zbiór relacji między elementami systemów bezpieczeństwa.

Elementy zbioru **WN** można określić korzystając z diagramu klasyfikacji środków redukcji ryzyka. W pracy [118] przedstawiono przykład takiego diagramu, klasyfikującego środki redukcji ryzyka do trzydziestu warstw. W niniejszej rozprawie przyjmuje się natomiast, że **WN** będzie zero-jedynkowym wektorem zawierającym informacje o własnościach elementów systemów bezpieczeństwa. Każda ze współrzędnych wektora będzie przyjmowała wartość „0” jeżeli element systemu bezpieczeństwa nie będzie miał danej własności lub wartość „1”, gdy będzie miał tę własność. Na podstawie diagramu klasyfikacji – prace [118, 124], można zapisać, że wektor **WN** ma następujące współrzędne:

$$\begin{aligned}\mathbf{WN} = [&\textit{materialne, niematerialne, wewnętrzne, zewnętrzne, projektanta,}\\ &\textit{użytkownika, automatyczne, nieautomatyczne, aktywne, pasywne,}\\ &\textit{formalne, nieformalne, pisemne, ustne, behawioralne}]\end{aligned} \tag{5.4}$$

Dalej zakłada się, że zbiór właściwości środków redukcji ryzyka (**WW**) będzie jednoelementowy. Jeżeli elementem tym jest skuteczność środka redukcji ryzyka, to do jej przedstawienia użyć można wartości zmiennej *importance* z tabeli 5.1.

W niniejszej rozprawie przyjmuje się, że składowa **SF** będzie zbiorem zmiennych wskazujących rodzaj elementu systemu bezpieczeństwa (tzn. element pełniący tylko funkcje bezpieczeństwa albo element pełniący także inne funkcje w systemie). Proponuje się ponadto, aby zmienna SF_φ (φ = 1, 2, …), wskazująca rodzaj φ -tego elementu systemu bezpieczeństwa, przyjmowała wartości binarne:

- *false* dla φ-tego elementu systemu bezpieczeństwa pełniącego wyłącznie funkcje bezpieczeństwa,
- *true* dla φ-tego elementu systemu bezpieczeństwa pełniącego funkcje bezpieczeństwa i inne funkcje związane z działaniem samolotu.

Zbiór relacji między elementami systemu bezpieczeństwa (**R**) proponuje się określić przez wskazanie kategorii (grupy) elementów systemów bezpieczeństwa (C1, C2, …, C8 – rys. 5.1). W ramach tych kategorii występują specyficzne relacje między elementami, znamienne tylko dla tak wyszczególnionej grupy elementów. Jeżeli zbiór kategorii elementów systemu bezpieczeństwa zdefiniować następująco:

$$\mathbf{C} = \{C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8\} \tag{5.5}$$

to uogólniony zapis elementu systemu bezpieczeństwa dowolnego samolotu można przedstawić w postaci:

$$SSC = E(\mathbf{WN}, I, SF, \mathbf{C}) \tag{5.6}$$

gdzie:

WN – wektor własności elementu systemu bezpieczeństwa,
I – skuteczność oddziaływania elementu systemu bezpieczeństwa,
SF – zmienna wskazująca rodzaj elementu systemu bezpieczeństwa,
C – zbiór kategorii elementów systemu bezpieczeństwa.

Składowe zbioru **C** można wyrazić słownie lub za pomocą etykiet np. C1, C2, …, C8, odpowiadających proponowanym (rys. 5.1) kategoriom elementów systemów bezpieczeństwa.

Na podstawie zależności (5.6), element systemu bezpieczeństwa proponuje się opisać za pomocą wielowymiarowego wektora o czterech współrzędnych, tzn.:

$$SSC_{\varphi} = (\mathbf{S}_{1\varphi}, \mathbf{S}_{2\varphi}, \mathbf{S}_{3\varphi}, \mathbf{S}_{4\varphi}) \tag{5.7}$$

gdzie:

- $\mathbf{S}_{1\varphi}$ – współrzędna wektora opisu φ-tego elementu systemu bezpieczeństwa przyjmująca odpowiednią dla tego elementu postać wektora własności **WN** (zależność (5.4)),
- $\mathbf{S}_{2\varphi}$ – współrzędna wektora opisu φ-tego elementu systemu bezpieczeństwa, wyrażająca skuteczność oddziaływania elementu tego systemu za pomocą wartości zmiennej *importance*,
- $\mathbf{S}_{3\varphi}$ – współrzędna wektora opisu φ-tego elementu systemu bezpieczeństwa wskazująca rodzaj elementu systemu bezpieczeństwa (wartości binarne: *true*, *false*),
- $\mathbf{S}_{4\varphi}$ – współrzędna wektora opisu φ-tego elementu systemu bezpieczeństwa przyjmująca wartości ze zbioru **C** kategorii elementów systemów bezpieczeństwa (C1, C2, …, C8).

Przykład formalnego zapisu wybranych elementów systemu bezpieczeństwa samolotu Su-22M4 z użyciem modelu (5.7) przedstawiono w tabeli 5.2.

Tabela 5.2

Zapis formalny wybranych elementów systemu bezpieczeństwa samolotu myśliwsko-bombowego Su-22M4 (dotyczy domeny zadanie lotnicze)

Nazwa elementu systemu bezpieczeństwa	**Oznaczenie**	**Zapis elementu systemu bezpieczeństwa**
maska tlenowa KM-34	SSC_1	= ([1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0], 3, *true*, C1)
fotel katapultowy K-36DM	SSC_2	= ([1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0], 5, *true*, C1)
przycisk-lampka „СМОТРИ ТАБЛО”	SSC_3	= ([1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0], 2, *false*, C2)
system awaryjnego uruchamiania silnika w powietrzu	SSC_4	= ([1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0], 5, *false*, C3)
system przeciwpompażowy silnika СПП	SSC_5	= ([1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0], 4, *false*, C4)
wielokrotne powtarzanie niektórych słów i zwrotów (nadmiar informacyjny)	SSC_6	= ([0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 1], 3, *true*, C5)
ograniczenia dopuszczalnych przeciążeń samolotu w różnych konfiguracjach	SSC_7	= ([0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1], 2, *false*, C6)
listy kontrolne – *boldfaces*	SSC_8	= ([0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1], 4, *false*, C7)
…	SSC_9	= ([ ], , ,)

Źródło: opracowanie własne

6. IDENTYFIKACJA ZAGROŻEŃ W SYSTEMIE UŻYTKOWANIA SAMOLOTÓW LOTNICTWA TAKTYCZNEGO

6.1. Wprowadzenie

Aven w pracy [22], stwierdził iż identyfikacja zdarzeń inicjujących jest krytycznym zadaniem podczas analizy (ryzyka), ponieważ nie można oddziaływać na coś, co nie zostało zidentyfikowane. Rzeczywiście, identyfikacja zagrożeń jest uważana za najważniejszy proces [46] analizy ryzyka (rozpatrywanej jako składowa fazy oceny ryzyka metody zarządzania ryzykiem zagrożeń) w różnych rodzajach transportu, w tym w transporcie lotniczym [183]. Proces identyfikacji zagrożeń jest procesem systematycznego postępowania. Odbywa się on na zasadach rozumowania ampliatywnego, głównie indukcyjnego a nawet abdukcyjnego, ponieważ jak wskazano w pracy [366] pojawia się tutaj element twórczości, „kreatywnego skoku umysłu", „zdolności do trafnego zgadywania" [123].

W najnowszym wydaniu Podręcznika Zarządzania Bezpieczeństwem (SMM) ICAO [169], wskazuje się na dwie główne metodologie identyfikacji zagrożeń tj. reaktywną i proaktywną. Lecz najbardziej pożądane jest połączenie ich obu celem uzyskania jak najdokładniejszych rezultatów procesu identyfikacji zagrożeń. W literaturze przedmiotu istnieją dobrze ugruntowane i znormalizowane metody, które można wykorzystać do identyfikacji zagrożeń, takie jak *Fault Tree Analysis* (FTA) [108], *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) [287] lub *Hazard and Operability Studies* (HAZOP) [176]. Aby pokazać cały „obraz ryzyka" w sposób, który poprawia wgląd w system, można użyć diagramów Bow-Tie [202, 203, 286]. Kompleksową analizę różnych metod opartych na Bow-Tie można znaleźć w [312]. Proponowane są również metody identyfikacji zagrożeń oparte na listach kontrolnych [350] lub analizie interfejsów między obiektami w domenie analiz [334, 335]. Istnieje również zestaw metod, które umożliwiają identyfikację zagrożeń w sposób pośredni, dzięki uzyskaniu lepszego zrozumienia „pracy wykonywanej" (*work-as-done* [158]). Jedną z takich metod jest *Event Analysis of Systemic Teamwork*, która była początkowo używana w zastosowaniach wojskowych [338].

Znaczenie procesu identyfikacji zagrożeń wzrasta wraz z potencjalnymi skutkami aktywizacji tych zagrożeń w danej domenie analiz. Zagregowana domena analiz systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego (SUżSLT) zdecydowanie jest domeną, w której wiele już zrobiono, aby pomóc analitykom ryzyka w identyfikacji zagrożeń. W całym lotnictwie wojskowym SZ RP wykorzystuję się obecnie metodę „5M", do metodologicznego przeszukiwania domen analiz celem rozpoznania źródeł zagrożeń. Metodę „5M" można jednak dalej

rozwijać o kolejne „M-y”, tak aby cały proces identyfikacji zagrożeń mógł być prowadzony w bardziej kompleksowy i rzetelny sposób.

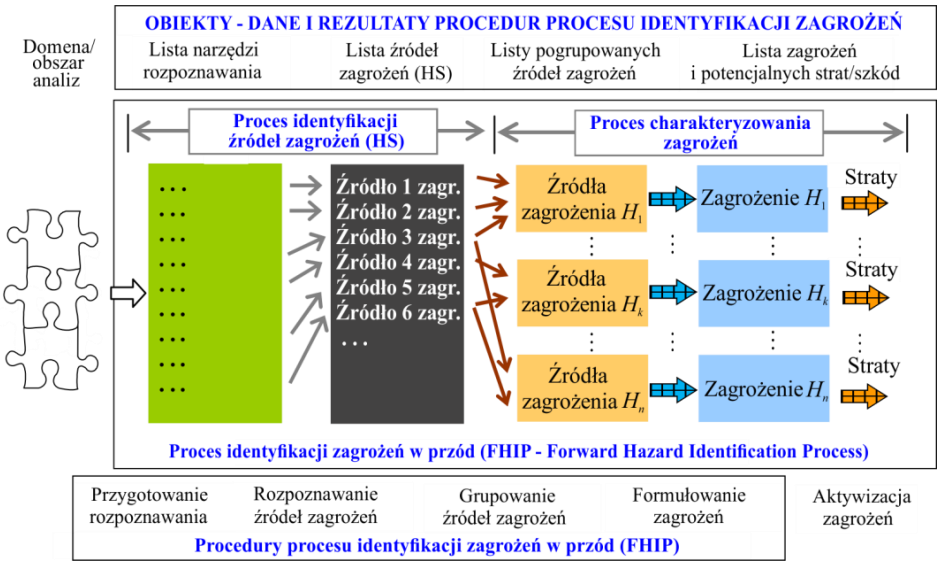
W niniejszej rozprawie proces identyfikacji zagrożeń zostaje przeprowadzony z wykorzystaniem przygotowanego w programie MS Excel arkusza HIM (*Hazard Identification Model*) dedykowanego dla wybranej domeny SUżSLT. Przygotowany arkusz HIM jest oparty na ogólnym modelu identyfikacji zagrożeń (HIM) zaproponowanym w pracy [125], ale poprawionym i dostosowanym do potrzeb SUżSLT. W ramach opracowanego arkusza HIM zostaje zaimplementowana metoda „6M” rozpoznawania źródeł zagrożeń. Natomiast cały proces identyfikacji zagrożeń prowadzony jest w ramach domeny analiz zadanie lotnicze (D4) systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego typy Su-22M4 [136].

6.2. Zastosowanie arkusza HIM do identyfikacji zagrożeń w domenie zadanie lotnicze

Arkusze HIM są wynikiem zastosowania ogólnego modelu identyfikacji zagrożeń. Koncepcja tego modelu polega na systematycznym stosowaniu procedur procesu identyfikacji zagrożeń w przód (FHIP – *Forward Hazard Identification Process* [118, 125]) przedstawionego na rysunku 6.1. Na proces identyfikacji zagrożeń składają się wtedy takie procedury jak:

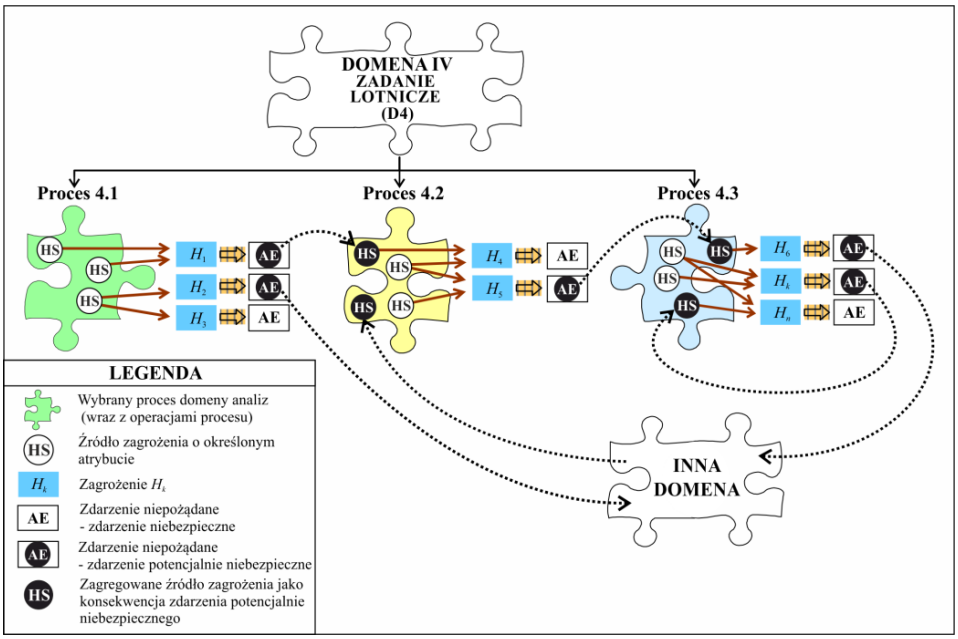
- Przygotowanie rozpoznawania źródeł zagrożeń
- Rozpoznawanie źródeł zagrożeń (HS – *hazard source*)
- Grupowanie źródeł zagrożeń
- Formułowanie zagrożeń (H_k – *hazard*) i wstępne wskazanie wielkości strat/szkód, które mogą powstać w wyniku aktywizacji zagrożenia.

Zastosowany w niniejszej rozprawie model HIM zakłada rozpoznawanie źródeł zagrożeń oddzielnie dla każdej operacji/zdarzenia określonego procesu zachodzącego w wybranej domenie SUżSLT. Do dalszych analiz wybrano domenę zadanie lotnicze (identyfikator domeny – D4). Zasadniczym zadaniem jest powiązanie procesów oraz operacji/zdarzeń procesów, tak by zidentyfikować zagrożenia dla całej domeny zadanie lotnicze.



Rysunek 6.1. Schemat ideowy procesu identyfikacji zagrożeń w przód (FHIP). Opracowanie własne na podstawie [118, 188]

Zakłada się, że wykorzystując model identyfikacji zagrożeń (HIM), pożądane powiązanie może być uzyskane poprzez „przekazywanie" oznaczeń niektórych zdarzeń niepożądanych (AE – *adverse event*), do jakich dochodzi w wyniku aktywizacji sformułowanych zagrożeń. Tego typu zdarzenia niepożądane są zdarzeniami potencjalnie niebezpiecznymi, a w innym procesie tej samej lub innej domeny traktuje się je jako zagregowane źródła zagrożeń (AHS – *aggregated hazard source*). O tym gdzie określone zdarzenie potencjalnie niebezpieczne zostanie potraktowane jako zagregowane źródło zagrożenia – decyduje prowadzący analizę. Koincydencja wybranego zagregowanego źródła zagrożenia z innymi (z jednym lub z kilkoma) źródłami zagrożenia rozpoznanymi w ramach tej samej lub innej domeny, procesu lub jego składowych, skłania do sformułowania zagrożenia, którego aktywizacja może doprowadzić do zdarzenia niepożądanego o charakterze zdarzenia niebezpiecznego. W taki sposób dochodzi do powstania charakterystycznej sieci powiązań, której schemat ideowy przedstawiono na rysunku 6.2. Bardzo często generowane powiązania wynikają z prawdziwych związków (np. funkcjonalnych) jakie występują pomiędzy domenami oraz procesami lub ich składowymi, ale mogą być także tworzone w sposób abstrakcyjny.



Rysunek 6.2. Schemat ideowy charakterystycznej sieci powiązań występującej pomiędzy źródłami zagrożeń (HS), zagrożeniami (H_k) oraz zdarzeniami niepożądanymi (AE).
Opracowanie własne na podstawie [125]

W odniesieniu do modelu identyfikacji zagrożeń (HIM) odwzorowanego w niniejszej rozprawie w programie MS Excel używane jest sformułowanie „arkusz identyfikacji zagrożeń" (HIS – *Hazard Identification Spreadsheet*) lub „arkusz HIM". W dalszej części rozprawy stosowana jest nazwa „arkusz HIM". Interfejs aplikacji może być zorganizowany w sposób umożliwiający użycie jednego arkusza kalkulacyjnego MS Excel do identyfikacji zagrożeń w jednej domenie analiz. Opracowany dla domeny zadanie lotnicze arkusz HIM składa się z trzech zakresów danych:

- Zakres 1 – obejmujący nazwę i opis domeny (rys. 6.3)
- Zakres 2 – obejmujący procedurę rozpoznawania źródeł zagrożeń w ramach 6 klas elementów domeny analiz – metoda „6M" (rys. 6.4)
- Zakres 3 – obejmujący głównie procedury grupowania i formułowania zagrożeń (rys. 6.5).

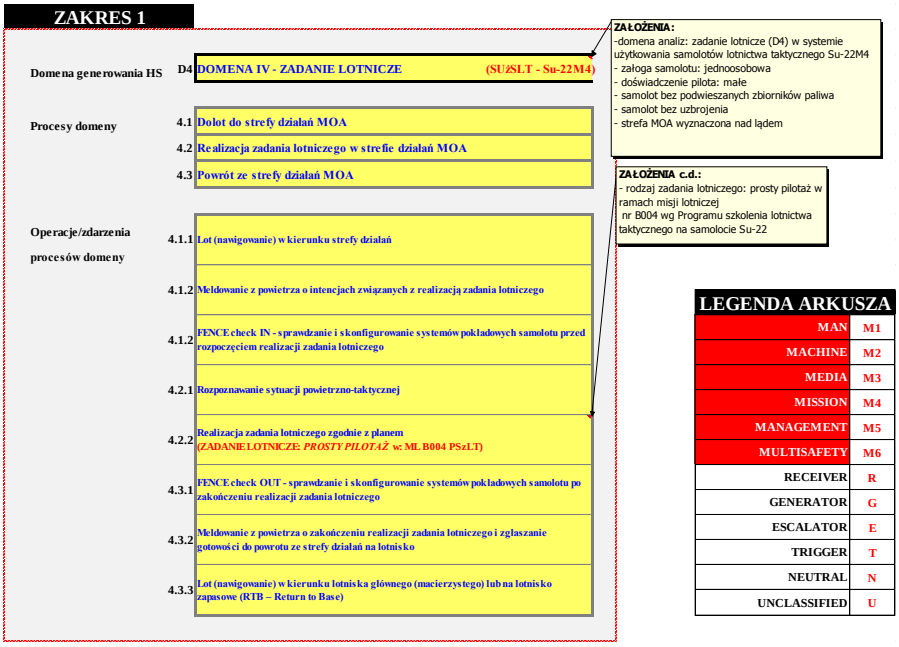
Na rysunkach 6.3-6.5 prezentowane są wyłącznie ogólne widoki fragmentów poszczególnych zakresów danych, arkusza HIM opracowanego z użyciem oprogramowania MS Excel. Cały plik z opracowanym arkuszem HIM zawierający kompletne dane kolejnych zakresów, umieszczono w załączniku Z4 na nośniku CD załączonym do niniejszej rozprawy.

6.2.1. Charakterystyka Zakresu 1 arkusza HIM

Wypełnianie arkusza HIM rozpoczyna się od pierwszego zakresu danych (rys. 6.3 i zał. Z4), czyli ogólnej charakterystyki domeny analiz poprzez wyszczególnienie w odpowiednich polach arkusza następujących danych:

- Nazwa domeny generowania HS: D4 – domena IV – zadanie lotnicze (podrozdział 4.4.5)
- Nazwy procesów domeny: Procesy 4.1-4.3 domeny zadanie lotnicze
- Nazwy operacji/zdarzeń jako składowych procesów domeny: Operacje/zdarzenia procesów 4.1-4.3 domeny zadanie lotnicze.

Nadanie odpowiednich nazw i oznaczeń poszczególnym procesom oraz ich składowym jest szczególnie istotne dla dalszych analiz oraz musi być zgodne z nomenklaturą stosowaną w całej zagregowanej domenie analiz (w strukturze całego modelu SUżSLT).



Rysunek 6.3. Widok Zakresu 1 arkusza HIM przygotowanego w programie MS Excel

Pierwszy zakres danych to również miejsce, gdzie wykorzystując możliwości programu MS Excel umieszcza się stosowne komentarze (rys. 6.3 i zał. Z4) zawierające np. podstawowe założenia (dane wejściowe) dotyczące domeny analiz. W przypadku analizowanej domeny zadanie lotnicze (D4) autor rozprawy wprowadził następujące założenia / dane wejściowe dla dalszych rozważań:

- domena analiz: zadanie lotnicze (D4) w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4
- załoga samolotu: jednoosobowa
- doświadczenie pilota: małe
- samolot bez podwieszanych zbiorników paliwa
- samolot bez uzbrojenia
- strefa MOA wyznaczona nad lądem
- rodzaj zadania lotniczego: prosty pilotaż w ramach misji lotniczej nr B004 wg Programu szkolenia lotnictwa taktycznego na samolocie Su-22 [100].

W tym zakresie danych umieszczono również legendę arkusza (rys. 6.3 i zał. Z4) zawierającą objaśnienie oznaczeń stosowanych w całym arkuszu HIM.

6.2.2. Implementacja metody „6M" w ramach Zakresu 2 arkusza HIM

W drugim zakresie danych (rys. 6.4 i zał. Z4) arkusza HIM umieszczono pola służące rozpoznawaniu źródeł zagrożeń. Rozpoznawanie źródeł zagrożeń jest procedurą prowadzącą do nazwania/oznaczenia źródeł zagrożeń oraz wskazania, jaki element domeny analiz jest generatorem narażeń. W celu pozyskania informacji o źródłach zagrożeń w wybranej domenie analiz, można stosować m.in. rejestry zdarzeń (wypadków), wiedzę inżynierską, opinie ekspertów, metody tzw. „burzy mózgów", systemy raportowania czy też listy pytań kontrolnych. To zagadnienie opisano szerzej m.in. w pracy [182], natomiast w niniejszej rozprawie stosuje się głównie rejestry zdarzeń, opinie ekspertów oraz metody tzw. „burzy mózgów".

Drugi zakres danych opracowanego arkusza HIM jest podstawą procesu identyfikacji zagrożeń. Składa się on z sześciu części odpowiadających poszczególnym klasom elementów analizowanej domeny. W ślad za koncepcją arkuszy HIM zaprezentowaną w pracy [125], do porządkowania elementów domeny analiz powołano metodę „6M". W metodzie „6M", wykorzystując znaną z literatury tzw. metodę „5M" [378, 390] rozbudowano o szóstą klasę elementów związanych z elementami systemu bezpieczeństwa zaimplementowanego w analizowanej domenie. Zastosowanie metody „6M" prowadzi do wypełniania drugiego zakresu danych arkusza HIM w ramach następujących klas elementów:

- Klasa M1 – *Man* – człowiek
- Klasa M2 – *Machine* – obiekt techniczny
- Klasa M3 – *Media* – otoczenie
- Klasa M4 – *Mission* – elementy związane z realizowaną misją
- Klasa M5 – *Management* – zarządzanie
- Klasa M6 – *Multisafety* – elementy systemu bezpieczeństwa.

Różne kombinacje źródeł zagrożeń rozpoznanych w ramach wymienionych klas elementów domeny analiz zadanie lotnicze, pozwolą komponować grupy źródeł zagrożeń na podstawie których formułowane są zagrożenia.

	ZAKRES 2						
	KLASA wg 6M	SKŁADOWA PROCESU DOMENY	HS #	ATRYBUT HS	HS ID	ŹRÓDŁO ZAGROŻENIA (HS)	SYMBOL HS
MAN	M1	4.*.*	1	R	<M1_4.*.*_1/R>	***Pilot samolotu***	HS
	M1	4.1.3	2	G	<M1_4.1.3_2/G>	Pozostawienie ustawienia skosu skrzydła o zmiennej geometrii na kąt χ=30°	HS
	M1	4.2.2	3	G	<M1_4.2.2_3/G>	Nadanie i utrzymywanie przez pilota ponadkrytycznych kątów natarcia samolotu	HS
	M1	4.2.2	4	T	<M1_4.2.2_4/T>	Wytworzenie przez pilota ślizgu samolotu	HS
MACHINE	M2	4.*.*	1	R	<M2_4.*.*_1/R>	***Samolot***	HS
	M2	4.1.1	2	G	<M2_4.1.1_2/G>	Niezdatność zasadniczego systemu nawigacyjnego samolotu podczas lotu w kierunku strefy MOA	HS
	M2	4.1.1	3	G	<M2_4.1.1_3/G>	Duża ilość paliwa w zbiornikach skrzydłowych w procesie lotu w kierunku strefy MOA	HS
	M2	4.1.1	4	G	<M2_4.1.1_4/G>	Samoczynne wyłączenie silnika w powietrzu podczas lotu w kierunku strefy MOA	HS
MEDIA	M3	4.*.*	1	R	<M3_4.*.*_1/R>	***Ludzie***	HS
	M3	4.*.*	2	R	<M3_4.*.*_2/R>	***Obiekty infrastrutury naziemnej***	HS
	M3	4.*.*	3	R	<M3_4.*.*_3/R>	***Obiekty infrastrutury krytycznej***	HS
	M3	4.*.*	4	R	<M3_4.*.*_4/R>	***Element środowiska naturalnego***	HS
	M3	4.1.1	4	T	<M3_4.1.1_4/T>	Nieprognozowane wystąpienie warunków meteorologicznych dla lotów według wskazań przyrządów - IMC, podczas lotu w kierunku strefy MOA	HS
	M3	4.1.1	5	E	<M3_4.1.1_5/E>	Nieprawidłowe działanie radaru kontroli obszaru przestrzeni powietrznej	HS
	M3	4.1.1	6	G	<M3_4.1.1_6/G>	Występowanie skupisk ptaków w na trasie lotu w kierunku strefy MOA	HS
MISSION	M4	4.*.*	1	R	<M4_4.*.*_1/R>	***Misja lotnicza***	HS
	M4	4.1.1	2	E	<M4_4.1.1_2/E>	Lot w kierunku strefy MOA wykonywany na małej wysokości	HS
	M4	4.1.1	3	T	<M4_4.1.1_3/T>	Kolizyjne parametry lotu (kurs i wysokość) statku powietrznego z grupą ptaków podczas lotu w kierunku strefy MOA	HS
	M4	4.1.1	4	E	<M4_4.1.1_4/E>	Lot w kierunku strefy MOA wykonywany z małą prędkością	HS
	M4	4.1.1	5	T	<M4_4.1.1_5/T>	Lot w kierunku strefy MOA wykonywany na wysokości poniżej wymaganej do rozpoczęcia czynności wg checklisty do uruchomienia silnika w powietrzu	HS
MANAGEMENT	M5		1		<M5__1/>	***Brak***	HS
	M5		2		<M5__2/>		
	M5		3		<M5__3/>		
	M6		4		<M6__4/>		
	M5		5		<M5__5/>		
MULTISAFETY	M6		1		<M6__1/>	***Brak***	
	M6	4.1.1	2	E	<M6_4.1.1_2/E>	Niezdatność odbiornika GPS, jako nadmiarowego (zapasowego) systemu nawigacyjnego samolotu, podczas lotu w kierunku strefy MOA	HS
	M6	4.1.1	3	N	<M6_4.1.1_3/N>	Zaświecenie lampek СМОТРИ ТАБЛО oraz СБРОС ОБОРОТЫ świadczącej o wystąpieniu nadmiernej wibracji silnika podczas lotu w kierunku strefy MOA	HS
	M6	4.1.1	4	N	<M6_4.1.1_4/N>	Zaświecenie lampki КРЫЛ. ПУСТЫ świadczącej o braku paliwa w zbiornikach skrzydłowych podczas lotu w kierunku strefy MOA	HS
	M6	4.2.2	5	E	<M6_4.2.2_5/E>	Niezdatność świateł antykolizyjnych	HS

Rysunek 6.4. Widok fragmentu Zakresu 2 arkusza HIM przygotowanego w programie MS Excel

Źródłom zagrożeń zidentyfikowanym i umieszczonym w drugim zakresie danych arkusza HIM, przypisywany jest jeden z pięciu atrybutów, tj.: odbiorca/odbiornik narażeń (R – *receiver)*, generator narażeń (G – *generator*), wyzwalacz narażeń (T – *trigger*), eskalator narażeń (E – *escalator*) lub neutralny

(N – *neutral*). Atrybuty poszczególnych źródeł zagrożeń są szczególnie istotne podczas realizacji procedury grupowania źródeł zagrożeń (rys. 6.1) i procedury formułowania zagrożeń (rys. 6.1). Aby sformułować zagrożenie niezbędnym jest wskazanie minimum jednego źródła zagrożenia o atrybucie G i jednego źródła zagrożenia o atrybucie R.

Każde ze źródeł zagrożeń rozpoznanych w ramach metody „6M" otrzymuje unikatowy identyfikator. Identyfikatory źródeł zagrożeń przyjmują postać: <*etykieta klasy elementu wg 6M_numer operacji procesu gdzie zidentyfikowano HS_numer porządkowy / atrybut HS*> np. <M1_4.2.2_7/T>. W przypadku źródeł zagrożeń o atrybucie R zakwalifikowanych do poszczególnych klas elementów wg metody „6M" często bywa jednak tak, że występują one we wszystkich operacjach/zdarzeniach procesów, dlatego przyjęto dla nich uniwersalne identyfikatory w postaci <*etykieta klasy elementu wg 6M_numer domeny.*.*_numer porządkowy / R*> np. pilot: <M1_4.*.*_1/R>.

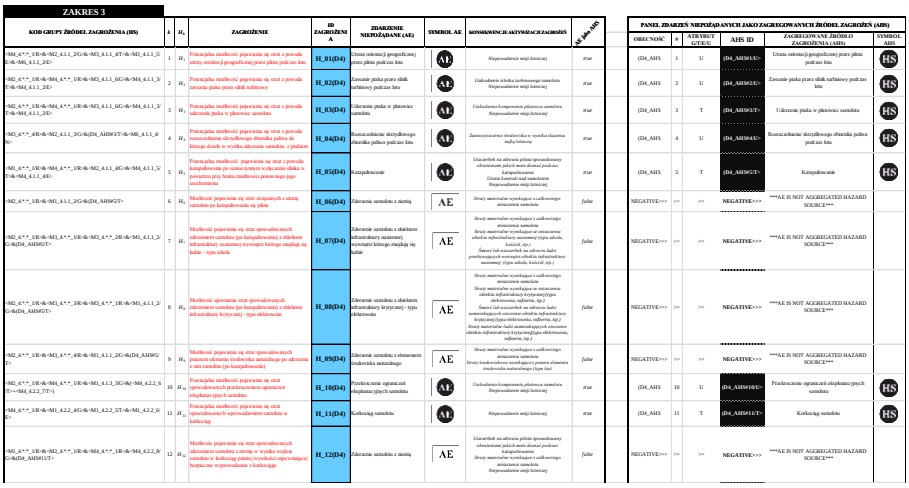
Źródłom zagrożeń rozpoznanym z wykorzystaniem metody „6M" przypisywany jest również odpowiedni symbol zgodnie z założeniami jakie zaprezentowano na rysunku 6.2.

6.2.3. Charakterystyka Zakresu 3 arkusza HIM

Trzeci zakres danych (rys. 6.5 i zał. Z4) arkusza HIM zawiera wyniki procesu identyfikacji zagrożeń, na które przede wszystkim składają się: lista grup źródeł zagrożeń w postaci kodowej, lista zagrożeń wraz z ich identyfikatorami, lista zdarzeń niepożądanych wraz z ich identyfikatorami, lista symboli klasyfikujących zdarzenia niepożądane do grupy zdarzeń potencjalnie niebezpiecznych lub zdarzeń niebezpiecznych, lista potencjalnych strat/szkód (konsekwencji) do jakich może dojść w wyniku aktywizacji sformułowanych zagrożeń.

Zadaniem procedury grupowania źródeł zagrożeń w procesie charakteryzowania zagrożeń (rys. 6.1) jest utworzenie list pogrupowanych źródeł zagrożeń. Efekty przeprowadzenia tej procedury zawiera pierwsza kolumna trzeciego zakresu danych arkusza HIM. Źródłem danych dla procedury grupowania źródeł zagrożeń jest pierwszy zakres danych arkusza HIM, z którego prowadzący analizę dobiera odpowiednie źródła zagrożeń w postaci przydzielonych im identyfikatorów. Nie każde traktowane osobno źródło zagrożenia i nie każda kombinacja większej liczby źródeł zagrożeń, generuje taki sam stan domeny analiz mogący prowadzić do powstania strat/szkód. Dlatego też prowadzący analizę musi mieć na uwadze fakt iż nie zawsze istnieje zasadność formułowania zagrożenia. Grupowanie źródeł zagrożeń w arkuszu HIM przeprowadzane jest wg wytycznych opisanych w pracy [118]. Poza źródłami zagrożeń, które zostały rozpoznane i sklasyfikowane w ramach metody „6M", w miarę postępujących analiz podczas realizacji procedury grupowania źródeł zagrożeń będą uwzględniane również zagregowane źródła zagrożeń (rys. 6.2). W efekcie grupowania źródeł za-

grożeń powstaje właściwy kod grupy źródeł zagrożeń. Kod grupy źródeł zagrożeń składa się z identyfikatorów poszczególnych źródeł zagrożeń.



Rysunek 6.5. Widok fragmentu Zakresu 3 arkusza HIM przygotowanego w programie MS Excel

W trzecim zakresie danych umieszczono również listę tych zdarzeń niepożądanych (zdarzeń potencjalnie niebezpiecznych) wraz z ich identyfikatorami, które prowadzący analizę rozpatrują dalej jako zagregowane źródła zagrożeń w procesach lub operacjach/zdarzeniach procesów tej samej lub innych domen. Zagregowanym źródłom zagrożeń przypisywany jest również odpowiedni symbol zgodnie z założeniami prezentowanymi na rysunku 6.2. Wszystkie dane prezentowane są w postaci kolejnych kolumn arkusza HIM.

W przypadku identyfikacji zagrożeń w ramach domeny analiz zadanie lotnicze w systemie użytkowania samolotu Su-22M4, wiele z rozpoznanych zdarzeń niepożądanych uznano za zdarzenia potencjalnie niebezpieczne. Są one dalej rozpatrywane jako zagregowane źródła zagrożeń (rys. 6.2). Wynika to ze specyfiki oraz ciągłości cyklu czynności lotniczych pilota oraz cyklu użytkowania samolotu lotnictwa taktycznego. Do zapisu „przekazania" zdarzenia niepożądanego (zdarzenia potencjalnie niebezpiecznego) jako zagregowanego źródła zagrożenia do innego procesu lub operacji/zdarzenia procesu tej samej lub innej domeny, zastosowano specjalny identyfikator przekazania – *(identyfikator domeny_AHS#numer porządkowy / atrybut AHS*>, np. (D4_AHS#3/T>. Tego typu identyfikator następnie trafia do wybranego przez prowadzącego analizę kodu grupy źródeł zagrożeń. W proponowanym identyfikatorze, rozpatrywanym zagregowanym źródłom zagrożenia nadaje się atrybuty: generator narażeń (G), wyzwalacz narażeń (T), eskalator narażeń (E). Wymienione tu atrybuty zagregowanego źródła zagrożenia określane są najpóźniej w momencie, gdy prowa-

dzący analizę komponuje grupę źródeł zagrożeń z wykorzystaniem takiego typu źródła zagrożenia. Do tego momentu zagregowane źródło zagrożenia otrzymuje tymczasowo atrybut – nieokreślony (U).

W rozważanym arkuszu HIM każdy identyfikator źródła zagrożenia, zagrożenia oraz zagregowanego źródła zagrożenia, generowany jest automatycznie po odpowiednim wypełnieniu kolejnych pól tego arkusza.

6.3. Karty charakterystyki wybranych zagrożeń generowanych w domenie zadanie lotnicze

Karta charakterystyki zagrożenia służy do przechowywania najważniejszych informacji uzyskanych podczas przeprowadzonego procesu identyfikacji zagrożeń. Opracowane w ramach danej domeny karty charakterystyki zagrożeń tworzą razem rejestr zagrożeń rozumiany jak w pracy [123]. Liczba kart tego rejestru odpowiada liczbie zidentyfikowanych zagrożeń. Każdej karcie charakterystyki zagrożenia przydzielany jest odpowiedni identyfikator wg następującego schematu: *HAZARD REGISTER CARD #numer porządkowy(identyfikator domeny)*, np. HAZARD REGISTER CARD #06(D4).

W niniejszej rozprawie, dane do przygotowania kart charakterystyki zagrożeń pochodzą z opracowanego arkusza HIM. Karty charakterystyki zagrożeń przygotowywane są dla tych zagrożeń, z których potencjalną aktywizacją związane są zdarzenia niepożądane sklasyfikowane jako zdarzenia niebezpieczne (rys. 6.2). To dla tych zagrożeń będą prowadzone dalsze analizy związane z zarządzaniem ryzykiem.

Przykłady trzech wybranych kart charakterystyki zagrożeń zidentyfikowanych w domenie zadanie lotnicze (D4) systemu użytkowania samolotu lotnictwa taktycznego Su-22M4 przedstawiono na rysunkach 6.6, 6.7, 6.8.

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#06(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)
ID ZAGROŻENIA	**H_06(D4)**						
SFORMULOWANIE ZAGROŻENIA	**Możliwość pojawienia się strat związanych z utratą samolotu po katapultowaniu się pilota**						
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)	<M2_4.*.*_1/R>**&**<M1_4.1.1_2/G>**&**(D4_AHS#5/T>						

	HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDLA ZAGROŻENIA**
HS	<M2_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Samolot*
HS	<M1_4.1.1_2/G>	*GENERATOR*	*Utrata kontroli nad samolotem*
HS	(D4_AHS#5/T>	*TRIGGER*	*Katapultowanie*

ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Zderzenie samolotu z ziemią
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu

O O

Rysunek 6.6. Karta charakterystyki zagrożenia H_6 – ID: H_06(D4) – zidentyfikowanego w domenie zadanie lotnicze (D4) systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#12(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

ID ZAGROŻENIA	**H_12(D4)**			
SFORMUŁOWANIE ZAGROŻENIA	**Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem samolotu z ziemią w wyniku wejścia samolotu w korkociąg poniżej wysokości zapewniającej bezpieczne wyprowadzenie z korkociągu**			
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)	<M1_4.*.*_1/R>**&**<M2_4.*.*_1/R>**&**<M4_4.*.*_1/R>**&**<M4_4.2.2_8/G>**&**(D4_AHS#11/T>			
	HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**	
HS	<M1_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*	
HS	<M2_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Samolot*	
HS	<M4_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Misja lotnicza*	
HS	<M4_4.2.2_8/G>	*GENERATOR*	*Realizacja zadania lotniczego na wysokości poniżej 16500 ft*	
HS	(D4_AHS#11/T>	*TRIGGER*	*Korkociąg samolotu*	
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Zderzenie samolotu z ziemią			
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Uszczerbek na zdrowiu pilota spowodowany obrażeniami jakich może doznać podczas katapultowania Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Niepowodzenie misji lotniczej			
O				O

Rysunek 6.7. Karta charakterystyki zagrożenia H_{12} – ID: H_12(D4) – zidentyfikowanego w domenie zadanie lotnicze (D4) systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#20(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

ID ZAGROŻENIA	**H_20(D4)**			
SFORMUŁOWANIE ZAGROŻENIA	**Możliwość pojawienia się strat spowodowanych brakiem możliwości ugaszenia pożaru silnika podczas lotu**			
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)	<M1_4.*.*_1/R>**&**<M2_4.*.*_1/R>**&**<M4_4.*.*_1/R>**&**(D4_AHS#19/G>**&**<M6_4.2.2_9/E>			
	HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**	
HS	<M1_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*	
HS	<M2_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Samolot*	
HS	<M4_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Misja lotnicza*	
HS	(D4_AHS#19/G>	*GENERATOR*	*Pożar silnika samolotu*	
HS	<M6_4.2.2_9/E>	*ESCALATOR*	*Niska skuteczność systemu przeciwpożarowego przedziału silnikowego samolotu*	
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Brak możliwości ugaszenia pożar silnika podczas lotu			
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Uszczerbek na zdrowiu pilota spowodowany obrażeniami jakich może doznać podczas katapultowania Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Niepowodzenie misji lotniczej			
O				O

Rysunek 6.8. Karta charakterystyki zagrożenia H_{20} – ID: H_20(D4) – zidentyfikowanego w domenie zadanie lotnicze (D4) systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4

Karty charakterystyki wszystkich zagrożeń, dla których będą prowadzone dalsze rozważania związane z zarządzaniem ryzykiem umieszczono w załączniku Z5.

7. MODEL RYZYKA I JEGO ZASTOSOWANIE

7.1. Wprowadzenie

Model ryzyka stanowi sposób odwzorowania istotnych ze względu na bezpieczeństwo właściwości obszaru analiz istniejącego w warunkach zagrożeń. To odwzorowanie przyjmuje postać skończonego zbioru symboli oraz relacji matematycznych lub logicznych, zawierających funkcję przejścia od zbioru zagrożeń do zbioru zdarzeń niepożądanych z uwzględnieniem ich konsekwencji (strat/szkód) i niepewności [190]. Z kolei miara ryzyka stanowi wynik przyjętego modelu ryzyka wskazujący na właściwości lub cechy systemu bezpieczeństwa, które można zmierzyć lub odwzorować w poziomach ryzyka [190].

Szacowanie ryzyka zagrożeń ma na celu przedstawienie ryzyka w sposób wymierny. Polega ono na nadaniu przyjętym miarom ryzyka odpowiednich wartości. Dobór modeli i miar ryzyka zależy głównie od złożoności, szczegółowości oraz liczby potrzebnych i wykorzystywanych informacji, a także od charakteru systemu. Na podstawie uogólnionego modelu ryzyka zaproponowanego w pracy [188] został opracowany model ryzyka dedykowany domenom analiz systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. Zastosowanie tego modelu ryzyka zostanie przedstawione na przykładzie zagrożeń zidentyfikowanych w domenie D4 – zadanie lotnicze.

7.2. Uogólniony model ryzyka zagrożeń

Opracowując modele i miary ryzyka zagrożeń zidentyfikowanych w określonych domenach analiz można przyjąć uogólniony model ryzyka przedstawiony na rysunku 7.1. Uogólniony model ryzyka zagrożeń obejmuje nastepujące kroki:

a) określenie zbioru zidentyfikowanych zagrożeń w określonej domenie analiz:

$$\mathbf{H} = \{H_1, H_2, \ldots, H_n\} \tag{7.1}$$

b) wyznaczenie miar ryzyka zagrożeń jako wartości funkcji:

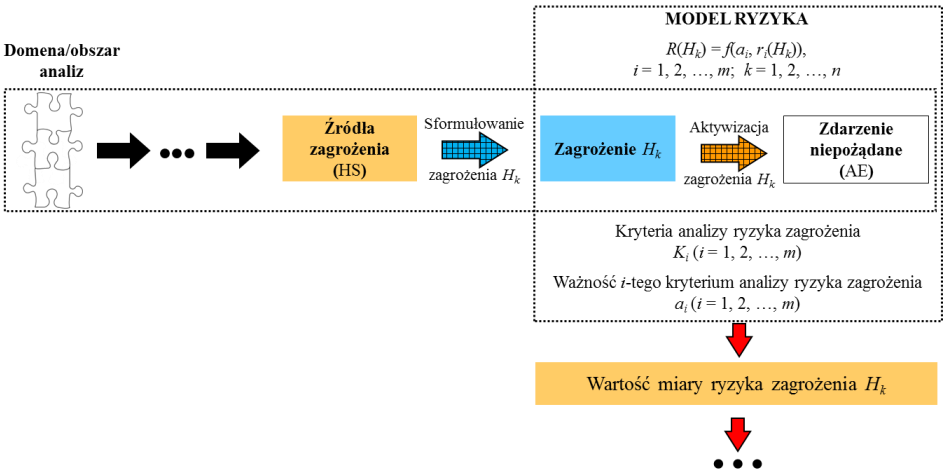
$$R : \mathbf{H} \rightarrow V \subset \mathbf{R} \tag{7.2}$$

gdzie:
H – zbiór zidentyfikowanych zagrożeń w określonej domenie analiz,
V – pewien podzbiór w zbiorze liczb rzeczywistych **R**.

c) określenie kryteriów analizy ryzyka: K_i ($i = 1, 2, \ldots, m$).
d) określenie składowych ryzyka według kryteriów, które przyjmą wartości według zasady:

$$r_i : X_i^R \rightarrow \Omega_i^R; \quad r_i(H_k) = \omega_{i,j}, \omega_{i,j} \in \Omega_i^R, \qquad (7.3)$$
$$i = 1, 2, \ldots, m; \quad j = 1, 2, \ldots, s_i; \quad k = 1, 2, \ldots, n$$

gdzie:
m – liczba kryteriów analizy ryzyka,
n – liczba zidentyfikowanych zagrożeń,
$r_i(H_k)$ – składowa ryzyka zagrożenia H_k wg i-tego kryterium analizy ryzyka,
s_i – pozycja najwyższego poziomu ryzyka w ramach i-tego kryterium analizy ryzyka,
H_k ($k = 1, 2, \ldots, n$) – k-te zagrożenie ze zbioru zidentyfikowanych zagrożeń,
X_i^R ($i = 1, 2, \ldots, m$) – zbiory wartości cech zagrożenia wykorzystywane podczas analizy ryzyka zagrożeń według kolejnych kryteriów,
Ω_i^R ($i = 1, 2, \ldots, m$) – zbiory miar poziomów ryzyka wykorzystywane podczas analizy ryzyka zagrożeń według kolejnych kryteriów,
$\omega_{i,j}$ ($j = 1, 2, \ldots, s_i$) – miary poziomów ryzyka wskazane podczas analizy ryzyka zagrożeń według i-tych kryteriów.



Rysunek 7.1. Miejsce modelu i miar ryzyka na tle schematu ideowego procedur analizy ryzyka wybranego zagrożenia. Opracowanie własne na podstawie [188]

e) łącznie ryzyko R zagrożenia H_k (k = 1, 2, …, n) po określenie poziomów wszystkich składowych ryzyka, przedstawia równanie:

$$R(H_k) = f_1(r_1(H_k), r_2(H_k), \ldots, r_m(H_k)), \quad k = 1, 2, \ldots, n \tag{7.4}$$

f) określenie miar ważności kryteriów analizy:

$$\mathbf{A} = \{a_1, a_2, \ldots, a_m\} \tag{7.5}$$

gdzie:
A – zbiór ważności kryteriów analizy ryzyka,
m – liczba kryteriów analizy ryzyka,
a_i (i = 1, 2, …, m) – ważność i-tego kryterium analizy ryzyka.

g) zbiór ważności kryteriów analizy ryzyka zagrożeń można uwzględnić w modelu ryzyka za pomocą funkcji f_2 w następujący sposób:

$$R(H_k) = f_2(a_i, r_i(H_k)), \quad i = 1, 2, \ldots, m; \quad k = 1, 2, \ldots, n \tag{7.6}$$

h) funkcja f_2 w zależności (7.6) może być określana w postaci funkcji matematycznej, tabelarycznie, werbalnie lub jeszcze w inny sposób. Przykład tego typu funkcji przedstawia wzór:

$$R(H_k) = \prod_{i=1}^{m} a_i \cdot r_i(H_k), \quad k = 1, 2, \ldots, n \tag{7.7}$$

Przedstawione kroki uogólnionego modelu ryzyka zagrożeń zostały wykorzystane do opracowania modelu ryzyka dedykowanego domenom analiz wchodzących w skład zagregowanej domeny analiz systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego (SUżSLT).

7.3. Model ryzyka zagrożeń dedykowany domenom analiz SUżSLT

Na podstawie założeń zaprezentowanych w podrozdziale 7.2, opracowano model ryzyka zagrożeń dedykowany dla domen analiz systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego (SUżSLT). Opracowany model może być wykorzystywany do szacowania ryzyka zagrożeń generowanych w dowolnej domenie analiz SUżSLT, oznaczanej symbolicznie jako D#.

Przyjmuje się, że w dowolnej domenie analiz SUżSLT, można zidentyfikować n zagrożeń. Zatem zbiór zidentyfikowanych zagrożeń ma postać:

$$\mathbf{H}_{D\#} = \{H_1, H_2, \ldots, H_n\} \tag{7.8}$$

Model ryzyka każdego zagrożenia ze zbioru $\mathbf{H}_{D\#}$ jest funkcją składowych $r_i(H_k)$ będących wynikiem odrębnych decyzji podjętych na podstawie analizy według czterech kryteriów K_i (i = 1, 2, 3, 4) oraz gdy miary ważności kryteriów a_i (i = 1, 2, 3, 4) analizy ryzyka zagrożeń tworzą zbiór:

$$\mathbf{A}_{D\#} = \{a_1, a_2, a_3, a_4\} \tag{7.9}$$

Składowe ryzyka zagrożenia H_k przyjmują wartości według formuły:

$$r_i(H_k) = \omega_{i,j}, \quad \omega_{i,j} \in \Omega_i, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad j = 1, 2, \ldots, 10 \tag{7.10}$$

Na tej podstawie łączne ryzyko $R_{D\#}$ wybranego zagrożenia H_k można zapisać w postaci:

$$R_{D\#}(H_k) = f(a_i, r_i(H_k)), \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad k = 1, 2, \ldots, n \tag{7.11}$$

W prezentowanym w ramach niniejszej rozprawy modelu ryzyka zagrożeń generowanych w wybranej domenie analiz SUżSLT, przyjęto cztery kryteria analizy o następujących nazwach:

K_1 – kryterium możliwości aktywizacji zagrożeń (możliwości wystąpienia strat/szkód),

K_2 – kryterium wartości/wielkości strat/szkód,

K_3 – kryterium deficytu skuteczności oddziaływania (DSO) elementów systemu bezpieczeństwa na źródła zagrożeń,

K_4 – kryterium możliwości popełnienia błędu przez człowieka (pilota).

Przyjęte kryteria mają podobne znaczenia jak kryteria przyjmowane w modelu ryzyka metody oceny ryzyka określanej jako analiza rodzajów i skutków uszkodzeń FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis* [287]). Jednak w odróżnieniu do metody FMEA, w niniejszej rozprawie przyjęto cztery kryteria analizy. Zadaniem analiz przeprowadzanych wg zaproponowanych w tej rozprawie kryteriów, jest skwantyfikowanie poziomów czterech składowych ryzyka. W ramach wszystkich kryteriów analizy ryzyka zagrożeń wykorzystano identyczne zbiory poziomów ryzyka. Określenie tych zbiorów przedstawia formuła (7.12) [126]. Wyjaśnienie znaczenia elementów zbiorów wyrażonych formułą (7.12) znajduje się w tabelach 7.1, 7.2, 7.3, 7.6.

$$\Omega_i = \{\text{(l-g); (d-g); (l-b); (d-b); (l-y); (d-y); (l-o); (d-o); (l-r); (d-r)}\},$$
$$i = 1, 2, 3, 4 \tag{7.12}$$

Pierwsze kryterium służy do skwantyfikowania miary możliwości wystąpienia strat/szkód. Schemat kwantyfikacji poziomów możliwości aktywizacji zagrożeń, w ramach kryterium K_1 analizy ryzyka, przedstawiono w tabeli 7.1.

Tabela 7.1
Schemat kwantyfikacji poziomów możliwości aktywizacji zagrożeń – wystąpienia strat/szkód

j	**Poziom** $\omega_{1,j}$	**Charakterystyka możliwości aktywizacji zagrożenia**	
-1-	-2-	-3-	
1	light green (l-g)	**bardzo mała**,	a aktywizacja zagrożenia zauważalna jest podczas procesu (składowej procesu)
2	dark green (d-g)	**bardzo mała**,	a aktywizacja zagrożenia zauważalna jest po zakończeniu procesu (składowej procesu)
3	light blue (l-b)	**mała**,	a aktywizacja zagrożenia zauważalna jest podczas procesu (składowej procesu)
4	dark blue (d-b)	**mała**,	a aktywizacja zagrożenia zauważalna jest po zakończeniu procesu (składowej procesu)
5	light yellow (l-y)	**średnia**,	a aktywizacja zagrożenia zauważalna jest podczas procesu (składowej procesu)
6	dark yellow (d-y)	**średnia**,	a aktywizacja zagrożenia zauważalna jest po zakończeniu procesu (składowej procesu)
7	light orange (l-o)	**duża**,	a aktywizacja zagrożenia zauważalna jest podczas procesu (składowej procesu)
8	dark orange (d-o)	**duża**,	a aktywizacja zagrożenia zauważalna jest po zakończeniu procesu (składowej procesu)
9	light red (l-r)	**bardzo duża**,	a aktywizacja zagrożenia zauważalna jest podczas procesu (składowej procesu)
10	dark red (d-r)	**bardzo duża**,	a aktywizacja zagrożenia zauważalna jest po zakończ. procesu (składowej procesu)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [126]

Drugie kryterium służy do skwantyfikowania powagi strat/szkód, które pojawiają się jako konsekwencje aktywizacji – każdego z osobna – zagrożenia. Schemat kwantyfikacji poziomów wartości/wielkości strat/szkód, w ramach kryterium K_2 analizy ryzyka, przedstawiono w tabeli 7.2.

Tabela 7.2
Schemat kwantyfikacji poziomów wartości/wielkości strat/szkód

j	**Poziom** $\omega_{2,j}$	**Charakterystyka wielkości/wartości straty/szkody**
-1-	-2-	-3-
1	light green (l-g)	**bardzo mała**, a strata/szkoda ujawnia się podczas trwania procesu (składowej procesu)
2	dark green (d-g)	**bardzo mała**, a strata/szkoda ujawnia się po zakończeniu procesu (składowej procesu)
3	light blue (l-b)	**mała**, a strata/szkoda ujawnia się podczas trwania procesu (składowej procesu)
4	dark blue (d-b)	**mała**, a strata/szkoda ujawnia się po zakończeniu procesu (składowej procesu)
5	light yellow (l-y)	**średnia**, a strata/szkoda ujawnia się podczas trwania procesu (składowej procesu)
6	dark yellow (d-y)	**średnia**, a strata/szkoda ujawnia się po zakończeniu procesu (składowej procesu)
7	light orange (l-o)	**duża**, a strata/szkoda ujawnia się podczas trwania procesu (składowej procesu)
8	dark orange (d-o)	**duża**, a strata/szkoda ujawnia się po zakończeniu procesu (składowej procesu)
9	light red (l-r)	**bardzo duża**, a strata/szkoda ujawnia się podczas trwania procesu (składowej procesu)
10	dark red (d-r)	**bardzo duża**, a strata/szkoda ujawnia się po zakończeniu procesu (składowej procesu)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [126]

Trzecie kryterium służy do skwantyfikowania poziomu deficytu skuteczności oddziaływania (DSO) wybranego elementu systemu bezpieczeństwa na źródła zagrożeń. Deficyt skuteczności oddziaływania danego elementu systemu bezpieczeństwa pojawia się np. w sytuacji wystąpienia niezdatności lub ograniczonej zdatności tego elementu. Poziom DSO jest wtedy tym większy im większy określono poziom skuteczności oddziaływania I (formuła (5.6), podrozdział 5.4) nadany elementowi systemu bezpieczeństwa jako druga ze współrzędnych ($\mathbf{S}_2\varphi$) wielowymiarowego wektora SSCφ opisującego w sposób formalny ten element – patrz model (5.7) i tabela 5.2. Przyjęto, że na poziom DSO elementu systemu bezpieczeństwa mają również wpływ dwie własności opisane w wektorze własności **WN** (5.4) współrzędnymi *automatyczny* i *nieautomatyczny*. Wektor **WN** wchodzi w skład wektora SSCφ formalnego zapisu elementu systemu bezpieczeństwa jako pierwsza z jego współrzednych ($\mathbf{S}_1\varphi$). Zestawiając ze sobą wartości współrzędnych $\mathbf{S}_2\varphi$ oraz współrzędne wektora **WN** postaci *automatyczny*

i *nieautomatyczny*, opracowano schemat kwantyfikacji poziomów deficytu skuteczności oddziaływania elementów systemu bezpieczeństwa na źródła zagrożeń. Wszelkie dane potrzebne do określenia tego poziomu, uzyskiwane są w wyniku analizy współrzędnych wektora SSCφ (tab. 5.2). Schemat kwantyfikacji poziomów DSO elementów systemu bezpieczeństwa, w ramach kryterium K_3 analizy ryzyka, przedstawiono w tabeli 7.3.

Tabela 7.3
Schemat kwantyfikacji poziomów deficytu skuteczności oddziaływania (DSO) elementów systemu bezpieczeństwa na źródła zagrożeń

j	**Poziom** $\omega_{3,j}$	**Charakterystyka poziomu deficytu skuteczności oddziaływania (DSO) elementów systemu bezpieczeństwa na źródła zagrożenia**	
-1-	-2-	-3-	
1	light green (l-g)	**bardzo mały**	DSO przez nieautomatyczny element systemu bezpieczeństwa
2	dark green (d-g)	**bardzo mały**	DSO przez automatyczny element systemu bezpieczeństwa
3	light blue (l-b)	**mały**	DSO przez nieautomatyczny element systemu bezpieczeństwa
4	dark blue (d-b)	**mały**	DSO przez automatyczny element systemu bezpieczeństwa
5	light yellow (l-y)	**średni**	DSO przez nieautomatyczny element systemu bezpieczeństwa
6	dark yellow (d-y)	**średni**	DSO przez automatyczny element systemu bezpieczeństwa
7	light orange (l-o)	**duży**	DSO przez nieautomatyczny element systemu bezpieczeństwa
8	dark orange (d-o)	**duży**	DSO przez automatyczny element systemu bezpieczeństwa
9	light red (l-r)	**bardzo duży**	DSO przez nieautomatyczny element systemu bezpieczeństwa
10	dark red (d-r)	**bardzo duży**	DSO przez automatyczny element systemu bezpieczeństwa

Źródło: opracowanie własne

Czwarte kryterium dotyczy skwantyfikowania poziomu możliwości popełnienia błędu przez człowieka. W rozważanym przypadku dotyczy to możliwości popełnienia błędu przez pilota samolotu lotnictwa taktycznego. W tym celu przeprowadzona zostaje analiza błędów ludzkich HRA (*Human Reliability Analysis*) [109, 198, 276]. Spośród wielu metod analizy błędów ludzkich, wybrano

metodę HEART (*Human Error Assessment and Reduction Technique*) opracowaną i zmodyfikowaną przez Williamsa [381, 382] w latach 80-tych XX wieku. Metoda HEART służy do szacowania prawdopodobieństwa wystąpienia błędu ludzkiego w układzie ergonomicznym z uwzględnieniem zadań samego człowieka jak również czynników ergonomicznych i środowiskowych, które negatywnie wpływają na zadania (czynności) wykonywane przez człowieka.

Pierwszym krokiem w metodzie HEART jest wybranie z listy typowych zadań GTT (*generic task type*), rodzaju zadania (czynności) wykonywanego przez człowieka oraz związanej z tym wartości *NHEP* (*nominal human error probability*) nominalnego prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez człowieka. Typowe zadania GTT i odpowiadające im wartości *NHEP* przedstawiono w tabeli 7.4.

Tabela 7.4

Klasyfikacja typowych zadań (GTT) i odpowiadających im wartości nominalnych prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez człowieka (*NHEP*) wg metody HEART

GTT	**Charakterystyka GTT**	**Wartość *NHEP***
A	Nowe, nieznane zadania, wykonywane w pośpiechu; brak wiedzy na temat możliwych skutków działania	0,55
B	Przywrócenie wcześniejszego bądź też spowodowanie nowego stanu układu ergonomicznego bez nadzoru lub szczegółowych procedur działania	0,26
C	Bardzo złożone zadanie wymagające od operatora wysokich kwalifikacji (wiedzy umiejętności, zręczności)	0,16
D	Proste zadanie wykonywane szybko, automatycznie lub nieuważnie	0,09
E	Zadania o charakterze rutynowym, wykonywane szybko i nie wymagające dużej zręczności	0,02
F	Przywrócenie wcześniejszego bądź też spowodowanie nowego stanu układu ergonomicznego w oparciu o szczegółowe procedury działania	0,003
G	Zadania o charakterze rutynowym, wykonywane przez dobrze wyszkolonego pracownika	0,0004
H	Reakcja na sygnał, od zautomatyzowanego systemu nadzorującego, podający dokładny stan systemu	0,00002
M	Różne zadania wykonywane bez dokładnego ich opisu	0,03

Źródło: opracowanie własne na podstawie [298, 381]

Wszystkie czynniki mogące mieć wpływ na wykonanie przez człowieka konkretnego zadania (czynności), określane są ilościowo. W metodzie HEART służy temu tabela zawierająca listę 38 zdefiniowanych czynników wpływających na prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka wraz z charakterystycznymi dla nich wartościami tzw. współczynników korygujących *EPC* (*Error-Producing Condition*). Istotne z punktu widzenia SUżSLT przykłady czynników mających wpływ na działanie człowieka (pilota), wraz z odpowiadającymi im wartościami współczynników korygujących *EPC* przedstawiono w tabeli 7.5.

Tabela 7.5

Przykłady wybranych czynników mających wpływ na działanie człowieka i odpowiadające im wartości współczynnika korygującego *EPC* wg metody HEART

i	**Czynniki mające wpływ na działanie człowieka**	**Wartości współczynników korygujących** EPC_i
2	Działanie w deficycie czasu	11
8	Przeciążenie nadmiarem informacji przekazywanych w tym samym czasie	6
12	Zła percepcja ryzyka	4
15	Brak doświadczenia operatora	3
16	Zubożona jakość informacji przekazywanych za pomocą procedur i interakcji osoba-osoba	3
21	Warunki sprzyjające wyborowi błędnej procedury postępowania	2
23	Nierzetelne oprzyrządowanie (wystarczająco, by zauważyć)	1,6
27	Niebezpieczeństwo wynikające z przekroczenia skończonych możliwości fizycznych operatora	1,4
29	Wysoki poziom stresu wynikający z działania w sytuacji zagrożenia	1,3
31	Niskie morale pracownika	1,2
33	Brak ewolucyjnego przystosowania człowieka do środowiska pracy (środowiska wykonywania zadań)	1,15
38	Wiek pracownika wykonującego działania o charakterze percepcyjnym	1,02

Źródło: opracowanie własne na podstawie [298, 381]

Po wybraniu współczynników korygujących istotnych z punktu widzenia analizowanego obszaru analiz, ekspert prowadzący analizę nadaje im tzw. współczynniki (wartości) ważności względnej APE_{EPC} (*Assessed Proportion of*

Effect). Współczynnik ważności względnej jest liczbą przyjmowaną szacunkowo z przedziału wartości od 0 do 1. Znając wartości współczynnika korygującego (*EPC*) oraz współczynnika ważności względnej (APE_{EPC}), dla wybranych czynników z tabeli 7.5 określa się wartości tzw. współczynników wpływu *IF* (*Impact Factor*), korzystając ze wzoru:

$$IF_i = (EPC_i - 1) \cdot (APE_{EPCi}) + 1; \quad i = 1, 2, \ldots, n \tag{7.13}$$

gdzie:

IF_i – *Impact Factor* – współczynnik wpływu *i*-tego czynnika mającego wpływ na działanie człowieka,

EPC_i – *Error-Producing Condition* – wartość *i*-tego współczynnika korygującego,

APE_{EPCi} – *Assessed Proportion of Effect* – współczynnik ważności względnej analizowanego $EPC_{i.}$.

Po określeniu wartości *NHEP* oraz wartości *IF* czynników wybranych do analizy, oblicza się poziom prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez człowieka *HEP* (*Human Error Probability*), według wzoru:

$$HEP = NHEP \cdot IF_1 \cdot IF_2 \cdot \ldots \cdot IF_n \tag{7.14}$$

gdzie:

HEP – prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka,

NHEP – nominalne prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka wg tabeli 7.4,

IF_1, IF_2, …, IF_n – wartości współczynników wpływu wybranych do analizy.

Obliczane wartości *HEP* nie zawsze mieszczą się w przedziale od 0 do 1. Jednak w niniejszej rozprawie, podobnie jak w pracach [42, 383], wartości *HEP* wykraczające poza wartość 1, są dalej rozpatrywane jako prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka równe 1. Dla kryterium K_4 analizy ryzyka przyjęto dziesięć zbiorów poziomów ryzyka, zależnie od obliczonej wartości *HEP*. Na podstawie obliczonej wartości *HEP*, ekspert prowadzący analizę określa poziom możliwości popełnienia błędu przez człowieka (pilota). Schemat kwantyfikacji poziomów możliwości popełnienia błędu przez człowieka (pilota), w ramach kryterium K_4, przedstawiono w tabeli 7.6.

Tabela 7.6
Schemat kwantyfikacji poziomów możliwości popełnienia błędu przez człowieka

j	**Poziom** $\omega_{4,j}$	**Charakterystyka możliwości popełnienia błędu przez człowieka**
-1-	-2-	-3-
1	light green (l-g)	$HEP \leq 0{,}1$
2	dark green (d-g)	$0{,}1 < HEP \leq 0{,}2$
3	light blue (l-b)	$0{,}2 < HEP \leq 0{,}3$
4	dark blue (d-b)	$0{,}3 < HEP \leq 0{,}4$
5	light yellow (l-y)	$0{,}4 < HEP \leq 0{,}5$
6	dark yellow (d-y)	$0{,}5 < HEP \leq 0{,}6$
7	light orange (l-o)	$0{,}6 < HEP \leq 0{,}7$
8	dark orange (d-o)	$0{,}7 < HEP \leq 0{,}8$
9	light red (l-r)	$0{,}8 < HEP \leq 0{,}9$
10	dark red (d-r)	$HEP > 0{,}9$

Źródło: opracowanie własne

W modelu ryzyka zagrożeń opracowanym dla domen analiz SUżSLT przyjęto również następujący zbiór miar ważności wszystkich kryteriów analizy ryzyka:

$$\mathbf{A}_{D\#} = \{0{,}5;\ 2;\ 1;\ 1\} \tag{7.15}$$

Elementom zbiorów Ω_i (zależność (7.12)) miar składowych ryzyka zagrożeń przyporządkowano identyczne zbiory wartości miar w postaci:

$$\Omega_i = \{1;\ 2;\ 3;\ 4;\ 5;\ 6;\ 7;\ 8;\ 9;\ 10\}, \quad i = 1, 2, 3, 4 \tag{7.16}$$

Funkcja f w zależności (7.11) uwzględnia wyniki analizy ryzyka zagrożeń według czterech kryteriów analizy ryzyka i przyjmuje postać:

$$R_{D\#}(H_k) = \prod_{i=1}^{4} a_i \cdot r_i(H_k), \quad k = 1, 2, \ldots, n \tag{7.17}$$

Wycena ryzyka odbywa się na tle przestrzeni ryzyka podzielonej na trzy obszary kategorii ryzyka. Na tym tle odbywa się kwalifikacja wartości miary ryzyka (ustalonej wg zasad przyjętego modelu ryzyka) określonego zagrożenia do obszarów kategorii ryzyka akceptowanego, tolerowanego i nieakceptowanego. Wartości zmiennych decyzyjnych wskazujących obszary dopuszczalności ryzyka przedstawiono w tabeli 7.7.

Tabela 7.7

Podział przestrzeni ryzyka na obszary kategorii ryzyka dla modelu ryzyka wyrażonego formułą (7.17)

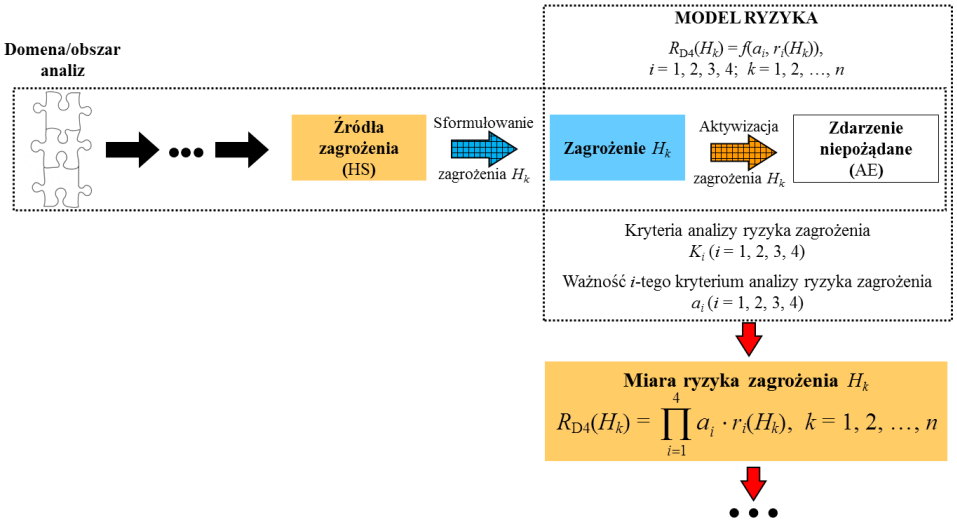
Kolor tła obszaru kategorii ryzyka	**Zakres wartości miar ryzyka**	**Nazwa obszaru kategorii ryzyka**	**Symbol obszaru kategorii ryzyka**
Zielony	<1, 625>	obszar kategorii ryzyka akceptowanego	A
Żółty	(625, 2401>	obszar kategorii ryzyka tolerowanego	T
Czerwony	(2401, 10000>	obszar kategorii ryzyka nieakceptowanego	NA

Źródło: opracowanie własne

7.4. Ocena ryzyka zagrożeń generowanych w domenie zadanie lotnicze

W podrozdziale 7.2 zaprezentowano ogólny model ryzyka zagrożeń dedykowany do oceny (szacowania i wyceny) ryzyka zagrożeń generowanych w domenach systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego (SUżSLT). Zastosowanie opracowanego modelu ryzyka zagrożeń zostanie zaprezentowane na przykładzie domeny D4 – zadanie lotnicze (rys. 7.2).

Ocenie ryzyka zostaną poddane zagrożenia zidentyfikowane przy pomocy arkusza HIM – rozdział 6. Dla każdego sformułowanego zagrożenia zostały przypisane odpowiednie składowe według czterech kryteriów analizy ryzyka (K_1, K_2, K_3, K_4). W niniejszym podrozdziale zostanie przeprowadzona, zgodnie z modelem (7.17), procedura szacowania ryzyka każdego ze zidentyfikowanych zagrożeń, których karty charakterystyki (*Hazards Register Cards*) umieszczono w załączniku Z5.



Rysunek 7.2. Miejsce modelu i miar ryzyka dedykowanych dla domeny zadanie lotnicze (D4), na tle schematu ideowego procedur analizy ryzyka wybranego zagrożenia. Opracowanie własne na podstawie [188]

Przy obliczaniu wartości składowej ryzyka wg kryterium K_4, dla całej domeny zadanie lotnicze (D4) przyjęto nominalną wartość prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez człowieka *NHEP* równą 0,16. Zgodnie z tabelą 7.4, taka wartość *NHEP* jest przypisana dla zadań GTT typu D – bardzo złożone zadania wymagające od operatora wysokich kwalifikacji (wiedzy, umiejętności, zręczności). Tak opisana charakterystyka zadań (czynności), w pełni odpowiada specyfice pracy pilota lotnictwa taktycznego w SUżSLT, co uzasadnia wybór takiej wartości *NHEP* do dalszych analiz. Z kolei przy wyborze współczynników korygujących *EPC* przyjęto zasadę doboru przez eksperta prowadzącego analizę pięciu najistotniejszych współczynników korygujących w kontekście każdego analizowanego zagrożenia. Wartości współczynników ważności względnej dla wybranych *EPC*, podobnie jak same *EPC*, określane są również przez eksperta prowadzącego analizę.

Dla zagrożenia o identyfikatorze (ID) H_06(D4) zostanie zaprezentowana przykładowa sekwencja obliczeń niezbędnych do wyznaczenia prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez człowieka *HEP*. Przyjęto, że nominalna wartość prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez człowieka *NHEP* wynosi 0,16. Następnie z tabeli 7.5 wytypowano pięć współczynników korygujących *EPC*. W przypadku analizowanego zagrożenia wybrano następujące współczynniki korygujące:

$$EPC_2;\ EPC_{15};\ EPC_{21};\ EPC_{29};\ EPC_{38}$$

Poszczególnym współczynnikom korygującym nadano następujące wartości współczynników ważności względnej:

$$APE_{EPC2}=0{,}2;\ APE_{EPC15}=0{,}02;\ APE_{EPC21}=0{,}1;\ APE_{EPC29}=0{,}2;\ APE_{EPC38}=0{,}01$$

Następnie zgodnie ze wzorem (7.13) wyznaczono wartości współczynników wpływu *IF* każdego z wytypowanych do analizy współczynników korygujących:

$$IF_2=(EPC_2-1)\cdot(APE_{EPC2})+1; \qquad IF_2=(11-1)\cdot(0{,}2)+1; \qquad IF_2=3{,}0000$$
$$IF_{15}=(EPC_{15}-1)\cdot(APE_{EPC15})+1; \qquad IF_{15}=(3-1)\cdot(0{,}02)+1; \qquad IF_{15}=1{,}0400$$
$$IF_{21}=(EPC_{21}-1)\cdot(APE_{EPC21})+1; \qquad IF_{21}=(2-1)\cdot(0{,}1)+1; \qquad IF_{21}=1{,}1000$$
$$IF_{29}=(EPC_{29}-1)\cdot(APE_{EPC29})+1; \qquad IF_{29}=(1{,}3-1)\cdot(0{,}2)+1; \qquad IF_{29}=1{,}0600$$
$$IF_{38}=(EPC_{38}-1)\cdot(APE_{EPC38})+1; \qquad IF_{38}=(1{,}02-1)\cdot(0{,}01)+1; \qquad IF_{38}=1{,}0002$$

Po wyznaczeniu wartości *IF* poszczególnych czynników korygujących EPC wybranych do analizy, oblicza się prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka *HEP* (*Human Error Probability*), według wzoru (7.14):

$$HEP_{\mathrm{H_06(D4)}} = 0{,}16\cdot 3{,}0000\cdot 1{,}0400\cdot 1{,}1000\cdot 1{,}0600\cdot 1{,}0002$$

$$HEP_{\mathrm{H_06(D4)}} = 0{,}5822$$

Wyniki obliczeń wartości *HEP* dla zagrożeń, które zostaną poddane procedurze szacowania ryzyka przedstawiono w tabeli 7.8.

Tabela 7.8

Zestawienie wyników obliczeń wartości *HEP* dla wybranych zagrożeń zidentyfikowanych w domenie zadanie lotnicze (D4)

H_k	**ID zagrożenia** (H_ID)	**Wartość** *NHEP*	**Numery (*i*) analizowanych** *EPC*	**Wartość** *HEP*
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
H_6	H_06(D4)	0,16	2; 15; 21; 29; 38	0,5822
H_7	H_07(D4)	0,16	2; 15; 21; 29; 38	1,8309
H_8	H_08(D4)	0,16	2; 15; 21; 29; 38	1,8309
H_9	H_09(D4)	0,16	2; 15; 21; 29; 38	0,5822
H_{12}	H_12(D4)	0,16	2; 15; 23; 29; 38	2,0700

Tabela 7.8 cd.

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
H_{13}	H_13(D4)	0,16	2; 15; 16; 27; 38	2,6732
H_{17}	H_17(D4)	0,16	2; 15; 27; 33; 38	1,7304
H_{18}	H_18(D4)	0,16	2; 15; 29; 33; 38	0,2971
H_{20}	H_20(D4)	0,16	2; 15; 21; 29; 38	4,9680
H_{21}	H_21(D4)	0,16	2; 15; 27; 29; 38	0,5547

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 7.9 przedstawiono zestawienie końcowych wyników oceny ryzyka (szacowania i wyceny ryzyka) wybranych zagrożeń (załącznik Z5) generowanych w domenie zadanie lotnicze (D4).

Tabela 7.9

Zestawienie wyników oceny ryzyka wybranych zagrożeń zidentyfikowanych w domenie zadanie lotnicze (D4)

Kryterium analizy ryzyka zagrożenia w modelu ryzyka	Jakościowa miara analizy ryzyka w modelu ryzyka	Ilościowa miara analizy ryzyka w modelu ryzyka	Miara ważności kryterium analizy w modelu ryzyka	Wartość składowej ryzyka zagrożenia w modelu ryzyka	Łączne ryzyko zagrożenia i jego wycena w ramach modelu ryzyka
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
H_ID: **H_06(D4)** – **Możliwość pojawienia się strat związanych z utratą samolotu po katapultowaniu się pilota**					
K_1	(l-r)	9	0,5	4,5	270↔A
K_2	(l-y)	5	2	10	
K_3	(l-g)	1	1	1	
K_4	(d-y)	6	1	6	
H_ID: **H_07(D4)** – **Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem samolotu (po katapultowaniu) z obiektem infrastruktury naziemnej wewnątrz którego znajdują się ludzie**					
K_1	(l-y)	5	0,5	2,5	2000↔T
K_2	(d-o)	8	2	16	
K_3	(l-y)	5	1	5	
K_4	(d-r)	10	1	10	

Tabela 7.9 cd.

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
H_ID: **H_08(D4)** – **Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem samolotu (po katapultowaniu) z obiektem infrastruktury krytycznej**					
K_1	(l-y)	3	0,5	2,5	1500↔T
K_2	(d-r)	10	2	20	
K_3	(l-y)	5	1	5	
K_4	(d-r)	10	1	10	
H_ID: **H_09(D4)** – **Możliwość pojawienia się strat spowodowanych pożarem elementu środowiska naturalnego po zderzeniu z nim samolotu (po katapultowaniu)**					
K_1	(l-r)	8	0,5	4,5	864↔T
K_2	(d-y)	6	2	12	
K_3	(l-b)	3	1	3	
K_4	(d-y)	6	1	6	
H_ID: **H_12(D4)** – **Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem samolotu z ziemią w wyniku wejścia samolotu w korkociąg poniżej wysokości zapewniającej bezpieczne wyprowadzenie z korkociągu**					
K_1	(l-o)	7	0,5	3,5	2450↔NA
K_2	(l-o)	7	2	14	
K_3	(l-y)	5	1	5	
K_4	(d-r)	10	1	10	
H_ID: **H_13(D4)** – **Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem dwóch samolotów**					
K_1	(l-g)	1	0,5	0,5	720↔T
K_2	(l-r)	9	2	18	
K_3	(d-o)	8	1	8	
K_4	(d-r)	10	1	10	
H_ID: **H_17(D4)** – **Możliwość pojawienia się strat spowodowanych nieodwracalną utratą przytomności przez pilota podczas lotu**					
K_1	(l-y)	5	0,5	2,5	3600↔NA
K_2	(d-o)	8	2	16	
K_3	(l-r)	9	1	9	
K_4	(d-r)	10	1	10	
H_ID: **H_18(D4)** – **Możliwość pojawienia się strat spowodowanych niezdatnością fotela katapultowego**					
K_1	(l-b)	3	0,5	1,5	567↔A
K_2	(l-o)	7	2	14	
K_3	(l-r)	9	1	9	
K_4	(l-b)	3	1	3	

Tabela 7.9 cd.

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
H_ID: **H_20(D4) – Możliwość pojawienia się strat spowodowanych brakiem możliwości ugaszenia pożaru silnika podczas lotu**					
K_1	(l-g)	1	0,5	0,5	490↔A
K_2	(l-o)	7	2	14	
K_3	(l-o)	7	1	7	
K_4	(d-r)	10	1	10	
H_ID: **H_21(D4) – Możliwość pojawienia się strat spowodowanych całkowitą utratą sterowności samolotu**					
K_1	(l-y)	5	0,5	2,5	2100↔T
K_2	(l-o)	7	2	14	
K_3	(d-r)	10	1	10	
K_4	(d-b)	6	1	6	

Źródło: opracowanie własne

7.5. Reagowanie na ryzyko zagrożeń generowanych w domenie zadanie lotnicze

Przyjmuje się, że proces reagowania na ryzyko zagrożeń generowanych w dowolnym obszarze analiz obejmuje trzy podstawowe procedury:

- postępowanie wobec ryzyka,
- komunikowanie o ryzyku,
- monitorowanie ryzyka.

Postępowanie wobec ryzyka w systemach poddawanych analizie jest prowadzone w celu usuwania lub zmniejszania oddziaływania źródeł zagrożeń. W literaturze podział metod postępowania wobec ryzyka określa się m.in. mianem 4T: *terminate* (zakończyć), *treat* (leczyć), *tolerate* (tolerować), *transfer* (przenosić) [88]. Z kolei w innych źródłach [40, 182, 351] można znaleźć 3 lub 4 sposoby postępowania wobec ryzyka takie jak:

- redukcja ryzyka,
- retencja ryzyka,
- transfer ryzyka
- unikanie ryzyka.

Komunikowanie o ryzyku polega na przekazywaniu lub wymianie informacji o zagrożeniach i poziomach ich ryzyka. W tej wymianie uczestniczą [182]:

- podmioty zarządzające ryzykiem,
- użytkownicy obszarów analiz,
- środki masowego przekazu.

Monitorowanie ryzyka opiera się na działaniach służących bieżącej kontroli wskazanego obszaru objętego zarządzaniem ryzykiem. W ramach monitorowania ryzyka realizuje się działania obejmujące [183, 191]:

- wykrywanie możliwości pojawienia się strat/szkód,
- wskazywanie okresowego inicjowania analizy ryzyka, wyceny ryzyka oraz działań objętych postępowaniem wobec ryzyka,
- sprawdzanie możliwości/konieczności zmian dotyczących poziomów akceptacji i/lub braku akceptacji ryzyka,
- badanie adekwatności rezultatów zarządzania ryzykiem i zaplanowanych wyników działań w ramach postępowania wobec ryzyka.

W ramach niniejszej rozprawy planuje się przeprowadzić dwie procedury procesu reagowania na ryzyko. Będą to procedury postepowania wobec ryzyka oraz komunikowania o ryzyku. Procedura postępowania wobec ryzyka zostanie skupiona na działaniach wokół dwóch składowych ryzyka celem redukcji ryzyka tych zagrożeń, które zakwalifikowano do obszarów kategorii ryzyka tolerowanego (T) i nieakceptowanego (NA). Również w stosunku do tych zagrożeń zostanie przeprowadzona procedura komunikowania o ryzyku, która przyjmie postać kart informacji o ryzyku zagrożeń.

Postępowanie wobec ryzyka

Postępowanie wobec ryzyka przyjmuje równe formy aktywnej postawy wobec zidentyfikowanych zagrożeń i polega na oddziaływaniu na przynajmniej jedną ze składowych ryzyka. W niniejszej rozprawie dla przyjętych w modelu ryzyka założeń, trudnym jest obniżenie możliwości aktywizacji zagrożeń oraz wielkości/wartości strat/szkód. Dlatego postanowiono przeanalizować raz jeszcze wartości składowych ryzyka wg kryteriów K_3 i K_4 analizy ryzyka.

We wszystkich analizowanych zagrożeniach ogromne znaczenie przy określaniu wartości składowej ryzyka w ramach kryterium K_4 analizy ryzyka ma czynnik i=2 – działanie w deficycie czasu, dla którego przydzielono współczynnik korygujący EPC_2 (tab. 7.5). Ten czynnik we wszystkich zidentyfikowanych zagrożeniach w głównej mierze wpływa na prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka (pilota) *HEP* i jest trudny do wyeliminowania ze względu na specyfikę pracy pilota lotnictwa taktycznego podczas realizacji misji lotniczych. Przy wyznaczaniu ilościowych miar ryzyka wg kryterium K_4 założono jednak, że do wykonania misji lotniczej został wyznaczony pilot o małym doświadczeniu, co wzięto pod uwagę przy wyznaczaniu *HEP* wybierając do analizy czynnik i=15 – brak doświadczenia operatora, dla którego przydzielono współczynnik korygujący EPC_{15} (tab. 7.5).

Realizując procedurę postępowania wobec ryzyka zakłada się, że do wykonania tej samej misji lotniczej zostaje wyznaczony pilot o większym doświadczeniu, co spowoduje wyeliminowanie z obliczeń *HEP* czynnika i=15 (tab. 7.5).

W związku z tym obniży się również wartość współczynnika ważności względnej *APE* dla EPC_2, co w efekcie przełoży się na zmniejszenie całego współczynnika wpływu *IF* dla czynnika i=2 – działanie w deficycie czasu (tab. 7.5). Zakłada się, że *APE* dla EPC_2 obniży się o 50%. Takie założenie wynika z faktu, iż w deficycie czasu działanie człowieka wynika przede wszystkim z sekwencji działań ujętych w znanej w psychologii lotniczej teorii *skill-rules-knoweledge* (*SRK-Model*) Rasmussena [296, 297]. Według tej teorii, człowiek podejmując decyzje najpierw opiera się na nawykach/doświadczeniu (*skill*). Jeśli brak doświadczenia nie pozwoli mu na rozwiązanie problemu, opiera się na instrukcjach/procedurach/checklistach (*rules*). Jeśli w dalszym ciągu nie znajdzie rozwiązania, zaczyna opierać się na własnej wiedzy (*knoweledge*). Należy zaznaczyć, że podjęcie decyzji opartej na doświadczeniu trwa sekundy, na podstawie instrukcji/procedur/checklist – minuty, na podstawie wiedzy i analizowania przypadku podjęcie decyzji może trwać nawet godziny. Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu spowoduje, że pierwsza ze składowych ujętych w teorii *SRK* znacznie zwiększy poziom oddziaływania w sytuacji deficytu czasu, co z kolei obniży prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka.

W procedurze postepowania wobec ryzyka zagrożeń zidentyfikowanych w domenie zadanie lotnicze (D4) zostaną również wprowadzone działania dotyczące elementów systemu bezpieczeństwa tak aby wpłynąć na wartości składowej ryzyka w ramach kryterium K_3. Proponowane działania dotyczą głównie wprowadzenia nowych elementów systemu bezpieczeństwa, które mogłyby bardziej efektywnie realizować funkcje bezpieczeństwa. Wprowadzenie niektórych nowych elementów systemu bezpieczeństwa może również wpływać na obniżenie prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez człowieka. Jednak wprowadzane działania są rozpatrywane w separacji tzn. wpływają tylko na jedną składową ryzyka wynikającą z danego kryterium analizy ryzyka.

W tabeli 7.10 przedstawiono wykaz przykładowych działań jakie mogą zostać podjęte w stosunku do rozpoznanych źródeł poszczególnych zagrożeń w ramach procedury postępowania wobec ryzyka. Procedura postępowania wobec ryzyka zostaje przeprowadzona dla tych zagrożeń, których ryzyko zakwalifikowano do kategorii ryzyka tolerowanego (T) i nieakceptowanego (NA).

Tabela 7.10
Zestawienie działań proponowanych do wprowadzenia oraz ich oddziaływanie na wybrane składowe ryzyka w ramach procedury postępowania wobec ryzyka

ID zagrożenia	**Wprowadzone działania**	**Oddziaływanie na składową ryzyka wg kryterium**	
		K_3	K_4
-1-	-2-	-3-	-4-
H_07(D4)	Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu	↔	↓
	Wyznaczenie w strefach MOA obszarów, w które należy skierować samolot przed katapultowaniem oraz włączenie tego elementu jako obowiązkowego zagadnienia w ramach przygotowań do misji lotniczej – kategoria C7 elementów systemu bezpieczeństwa	↓	↔
H_08(D4)	Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu	↔	↓
	Wyznaczenie w strefach MOA obszarów, w które należy skierować samolot przed katapultowaniem oraz włączenie tego elementu jako obowiązkowego zagadnienia w ramach przygotowań do misji lotniczej – kategoria C7 elementów systemu bezpieczeństwa	↓	↔
H_09(D4)	Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu	↔	↓
H_12(D4)	Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu	↔	↓
	Zainstalowanie urządzenia emitującego wibrację na drążku sterowym (*stick shaker*) ostrzegającą o przeciągnięciu – kategoria C2 elementów systemu bezpieczeństwa	↓	↔
	Zainstalowanie lampki ostrzegawczej sygnalizującej przeciągnięcie – kategoria C2 elementów systemu bezpieczeństwa	↓	↔
H_13(D4)	Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu	↔	↓
	Zainstalowanie systemu TCAS (*Traffic Collision Avoidance System*) na pokładzie samolotu – kategoria C4 elementów systemu bezpieczeństwa	↓	↔

Tabela 7.10 cd.

-1-	-2-	-3-	-4-
H_17(D4)	Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu	↔	↓
	Zainstalowanie systemu monitorującego poziom saturacji (wysycenia krwi tlenem) pilota, który w razie konieczności automatycznie uruchamiałby awaryjne podawanie tlenu – kategoria C3 elementów systemu bezpieczeństwa	↓	↔
H_21(D4)	Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu	↔	↓

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 7.11 przedstawiono zestawienie wyników obliczeń wartości *HEP* dla zagrożeń poddawanych procedurze postępowania wobec ryzyka – „przed" i „po" zastosowaniu tej procedury.

Tabela 7.11
Zestawienie wyników obliczeń wartości *HEP* dla zagrożeń poddawanych procedurze postępowania wobec ryzyka – „przed" i „po" zastosowaniu tej procedury

H_k	**ID zagrożenia** (H_ID)	**Wartość** *NHEP*	**Wartość** *HEP* „przed"	**Wartość** *HEP* „po"
H_7	H_07(D4)	0,16	1,8309	0,8900
H_8	H_08(D4)	0,16	1,8309	0,8900
H_9	H_09(D4)	0,16	0,5822	0,3732
H_{12}	H_12(D4)	0,16	2,0700	0,6708
H_{13}	H_13(D4)	0,16	2,6732	0,8911
H_{17}	H_17(D4)	0,16	1,7304	0,6008
H_{21}	H_21(D4)	0,16	0,5547	0,3362

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 7.12 przedstawiono zestawienie ilościowych miar analizy ryzyka wg kryteriów K_3 i K_4, łączne ryzyko oraz jego wycenę dla poszczególnych zagrożeń objętych procedurą postępowania wobec ryzyka – „przed" i „po" zastosowaniu tej procedury.

Tabela 7.12
Zestawienie ilościowych miar analizy ryzyka wg kryteriów K_3 i K_4 oraz łącznego ryzyka zagrożeń i ich wyceny – „przed" i „po" zastosowaniu procedury postępowania wobec ryzyka

H_k	**ID zagrożenia** (H_ID)	**Ilościowa miara analizy ryzyka w modelu ryzyka wg kryterium K_3**		**Ilościowa miara analizy ryzyka w modelu ryzyka wg kryterium K_4**		**Łączne ryzyko zagrożenia i jego wycena w ramach modelu ryzyka**	
		„przed"	„po"	„przed"	„po"	„przed"	„po"
H_7	H_07(D4)	5	3	10	9	2000↔T	1080↔T
H_8	H_08(D4)	5	3	10	9	1500↔T	810↔T
H_9	H_09(D4)	3	3	6	4	864↔T	576↔A
H_{12}	H_12(D4)	5	3	10	7	2450↔NA	1029↔T
H_{13}	H_13(D4)	8	4	10	9	720↔T	324↔A
H_{17}	H_17(D4)	9	3	10	7	3600↔NA	840↔T
H_{21}	H_21(D4)	10	10	6	4	2100↔T	1400↔T

Źródło: opracowanie własne

W wyniku przeprowadzenia procedury postępowania wobec ryzyka udało się zredukować poziom ryzyka wszystkich zagrożeń. Przeprowadzając wycenę ryzyka po wprowadzeniu działań opisanych w tabeli 7.10 okazało się, że ryzyko dwóch zagrożeń zmieniło kwalifikację z obszaru kategorii ryzyka tolerowanego (T) do obszaru kategorii ryzyka akceptowanego (A), natomiast ryzyko dwóch innych zagrożeń zmieniło kwalifikację z obszaru kategorii ryzyka nieakceptowanego (NA) do obszaru kategorii ryzyka tolerowanego (T). Wprowadzone działania przyniosły więc zamierzony skutek.

Komunikowanie o ryzyku

W ramach niniejszej rozprawy proponuje się, aby procedurę komunikowania o ryzyku realizować w oparciu o karty informacji o ryzyku zagrożeń. Karty informacji o ryzyku zagrożeń będą stanowić pewnego rodzaju rozszerzoną wersję kart charakterystyki zagrożeń, które przedstawiono w podrozdziale 6.3 oraz w załączniku Z5. Szablon karty informacji o ryzyku zagrożeń przedstawiono w tabeli 7.13.

Tabela 7.13

Szablon karty informacji o ryzyku zagrożeń

Opis domeny analiz	
H_ID: – **Sformułowanie zagrożenia**	
Dane z karty charakterystyki zagrożenia	
Ryzyko zagrożenia	poziom ryzyka –
	kategoria ryzyka –
Zalecane działania do wprowadzenia (celem ograniczenia poziomu ryzyka zagrożenia)	
Ryzyko zagrożenia po wprowadzeniu zaleconych działań	poziom ryzyka –
	kategoria ryzyka –
H_ID: – **Sformułowanie zagrożenia**	
Dane z karty charakterystyki zagrożenia	
Ryzyko zagrożenia	poziom ryzyka –
	kategoria ryzyka –
Zalecane działania do wprowadzenia (celem ograniczenia poziomu ryzyka zagrożenia)	
Ryzyko zagrożenia po wprowadzeniu zaleconych działań	poziom ryzyka –
	kategoria ryzyka –
…	

Źródło: opracowanie własne na podstawie [188]

W tabeli 7.14 przedstawiono fragment karty informacji o ryzyku wybranych zagrożeń. Kartę informacji o ryzyku wszystkich zagrożeń poddawanych procedurze komunikowania o ryzyku przedstawiono w załączniku Z6.

Tabela 7.14

Fragment karty informacji o ryzyku wybranych zagrożeń zidentyfikowanych w domenie zadanie lotnicze (D4)

Opis domeny analiz. Domena analiz zadanie lotnicze (D4) w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4. Domena obejmuje trzy procesy: 4.1. Dolot do strefy działań MOA; 4.2. Realizacja zadania lotniczego w strefie działań MOA; 4.3. Powrót ze strefy działań MOA. W ramach procesów dochodzi do szeregu operacji i zdarzeń procesów z udziałem jednoosobowej załogi samolotu (jeden pilot) o małym doświadczeniu. Samolot Su-22M4 nie ma podwieszanych zbiorników paliwa oraz nie jest uzbrojony. Strefa MOA wyznaczona jest nad lądem. Rodzaj wykonywanego zadania lotniczego to prosty pilotaż w ramach misji lotniczej nr B004 wg Programu szkolenia lotnictwa taktycznego na samolocie Su-22.

H_ID: **H_09(D4) – Możliwość pojawienia się strat spowodowanych pożarem elementu środowiska naturalnego po zderzeniu z nim samolotu (po katapultowaniu)**

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#09(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

		ATRYBUT HS	OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA
ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA (HS)	HS	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	*RECEIVER*	*Element środowiska naturalnego*
	HS	*GENERATOR*	*Utrata kontroli nad samolotem*
	HS	*TRIGGER*	*Katapultowanie*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Zderzenie samolotu z elementem środowiska naturalnego		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Straty środowiskowe wynikające z pożaru elementu środowiska naturalnego (typu las)		

Ryzyko zagrożenia	poziom ryzyka	–	**864**
	kategoria ryzyka	–	**tolerowane (T)**

Zalecane działania do wprowadzenia:

1. Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu

Ryzyko zagrożenia po wprowadzeniu zaleconych działań	poziom ryzyka	–	**576**
	kategoria ryzyka	–	**akceptowane (A)**

H_ID: **H_12(D4) – Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem samolotu z ziemią w wyniku wejścia samolotu w korkociąg poniżej wysokości zapewniającej bezpieczne wyprowadzenie z korkociągu**

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#12(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

		ATRYBUT HS	OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA
ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA (HS)	HS	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*
	HS	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	*RECEIVER*	*Misja lotnicza*
	HS	*GENERATOR*	*Realizacja zadania lotniczego na wysokości poniżej 16500 ft*
	HS	*TRIGGER*	*Korkociąg samolotu*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Zderzenie samolotu z ziemią		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Uszczerbek na zdrowiu pilota spowodowany obrażeniami jakich może doznać podczas katapultowania Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Niepowodzenie misji lotniczej		

Ryzyko zagrożenia	poziom ryzyka	–	**2450**
	kategoria ryzyka	–	**nieakceptowane (NA)**

Tabela 7.14 cd.

Zalecane działania do wprowadzenia:

1. Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu
2. Zainstalowanie urządzenia emitującego wibrację na drążku sterowym (*stick shaker*) ostrzegającą o przeciągnięciu – kategoria C2 elementów systemu bezpieczeństwa
3. Zainstalowanie lampki ostrzegawczej sygnalizującej przeciągnięcie – kategoria C2 elementów systemu bezpieczeństwa

Ryzyko zagrożenia po wprowadzeniu zaleconych działań	poziom ryzyka	–	**1029**
	kategoria ryzyka	–	**tolerowane (T)**

H_ID: **H_17(D4) – Możliwość pojawienia się strat spowodowanych nieodwracalną utratą przytomności przez pilota podczas lotu**

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#17(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

		ATRYBUT HS	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**
ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA (HS)	**HS**	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*
	HS	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	*GENERATOR*	*Niedotlenienie pilota podczas lotu*
	HS	*TRIGGER*	*Brak realizacji checklisty w przypadku wystąpienia objawów niedotlenienia podczas lotu*
	HS	*ESCALATOR*	*Niezdatność awaryjnej instalacji tlenowej (fotela katapultowego)*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Nieodwracalna utrata przytomności przez pilota podczas lotu		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Śmierć pilota Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu		

Ryzyko zagrożenia	poziom ryzyka	–	**3600**
	kategoria ryzyka	–	**nieakceptowane (NA)**

Zalecane działania do wprowadzenia:

1. Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu
2. Zainstalowanie systemu monitorującego poziom saturacji (wysycenia krwi tlenem) pilota, który w razie konieczności automatycznie uruchamiałby awaryjne podawanie tlenu – kategoria C3 elementów systemu bezpieczeństwa

Ryzyko zagrożenia po wprowadzeniu zaleconych działań	poziom ryzyka	–	**840**
	kategoria ryzyka	–	**tolerowane (T)**

…

Źródło: opracowanie własne

Zakłada się że karty informacji o ryzyku mogłyby być umieszczane w formie notatek w Zbiorze Informacji Bieżących (ZIB) [92], który funkcjonuje w każdej BLT. Pilot ma obowiązek zapoznawać się z notatkami ze Zbioru Informacji Bieżących i odnotowywać ten fakt we właściwym systemie informatycznym na (np. PEX). Dodatkowo w czasie cyklicznych szkoleń służb organizacji lotów [92] tego typu karty mogą służyć jako element jednego z modułów takiego szkolenia, który jest prowadzony przez inspektora bezpieczeństwa lotów danej BLT. Tego typu karty powinny być także dystrybuowane pomiędzy komórkami do spraw bezpieczeństwa lotów wszystkich BLT.

8. ZAKOŃCZENIE

8.1. Podsumowanie rozprawy

Lotnictwo taktyczne, ale i także całe lotnictwo wojskowe niesie za sobą szczególne źródła zagrożeń, które bagatelizowane mogą spowodować w wyniku ich koincydencji wystąpienie zdarzeń niepożądanych. Zdarzenia, incydenty oraz w szczególności wypadki lotnicze, prawie zawsze generują ofiary śmiertelne, zniszczenia w infrastrukturze, środowisku naturalnym oraz inne straty/szkody.

Zarządzanie ryzykiem zagrożeń ma ogromny wpływ na zwiększanie zdolności bojowych lotnictwa taktycznego i stanowi kluczowy element zarządzania systemem bezpieczeństwa lotów. Celem zarządzania ryzykiem w tym obszarze analiz jest wspieranie procesu decyzyjnego, służącego zwiększaniu efektywności misji lotniczych wykonywanych przez lotnictwo.

Funkcjonowanie lotnictwa taktycznego w warunkach zagrożeń jest nieuniknione. Istotnym celem każdej bazy lotnictwa taktycznego, jest maksymalizowanie zdolności do realizacji misji lotniczych. Efekt ten jest możliwy do osiągnięcia poprzez systematyczne zarządzanie ryzykiem.

Rozprawa dotyczy zagadnień związanych z zarządzaniem ryzykiem zagrożeń w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego sił powietrznych. Autor rozprawy, na podstawie wnikliwych obserwacji oraz własnych doświadczeń wynikających z pracy zawodowej w rozważanym obszarze analiz, zauważa pewnego rodzaju dryf praktyczny poziomu bezpieczeństwa w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych RP. Szczególna uwaga autora zostaje skupiona na elementach systemów bezpieczeństwa funkcjonujących w lotnictwie taktycznym, a których odnotowywane ostatnio przypadki niezdatności stanowią znaczące źródła zagrożeń. Stąd też wynikają kierunki rozważań prowadzonych w ramach niniejszej rozprawy.

Sformułowany, na podstawie wskazanej luki badawczej, cel główny rozprawy został osiągnięty poprzez realizację zadań badawczych wynikających z celów cząstkowych rozprawy. Zadania badawcze, zgodnie z przyjętym schematem procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń, zostały podjęte, a ich wyniki zaprezentowano w kolejnych częściach rozprawy.

W pierwszej części rozprawy omówiono jej problematykę badawczą. Na tle wyników przeglądu obecnego stanu wiedzy, wskazano lukę badawczą oraz cele i zakres rozprawy. Pierwsza część rozprawy zawiera również kompleksową charakterystykę lotnictwa taktycznego jako uogólnionego obszaru analiz tej rozprawy. Charakterystykę lotnictwa taktycznego przeprowadzono z zastosowaniem metodologii systemowej na przykładzie lotnictwa taktycznego Sił Powietrznych RP.

W drugiej części rozprawy z systemu lotnictwa taktycznego wydzielono system użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego jako zagregowaną domenę

analiz zarządzania ryzykiem zagrożeń. Innowacyjny model systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego umożliwił wyodrębnienie siedmiu rozłącznych domen analiz. Domena analiz zadanie lotnicze (D4) stała się przedmiotem szczegółowych badań w ramach kolejnych procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń. W drugiej części rozprawy zrealizowano pierwszy z sześciu kroków w ramach schematu procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń. Wybór systemu lub składowych systemu jako domeny analiz oraz prezentacja jej modelu powinna zawsze stanowić punkt wyjścia do rozważań w ramach zarządzania ryzykiem zagrożeń. Wskazany tu krok schematu procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń jest w badaniach często pomijany lub traktowany marginalnie.

Trzecia część rozprawy dotyczy elementów systemów bezpieczeństwa funkcjonujących w lotnictwie taktycznym. Na podstawie analizy literatury oraz własnych obserwacji autora niniejszej rozprawy wskazano osiem kategorii elementów systemów bezpieczeństwa oraz zaproponowano model formalnego zapisu elementów systemów bezpieczeństwa. Rozważania dotyczące elementów systemów bezpieczeństwa prowadzono na przykładzie elementów systemu bezpieczeństwa związanych z samolotem Su-22M4 i istotnych z punktu widzenia realizacji zadań lotniczych w systemie użytkowania tego samolotu lotnictwa taktycznego. Trzecia część rozprawy odnosi się do drugiego z sześciu kroków schematu procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń.

Czwarta część rozprawy została poświęcona procesowi identyfikacji zagrożeń w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. Z wykorzystaniem arkusza HIM przeprowadzono identyfikację zagrożeń generowanych w domenie zadanie lotnicze (D4) systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4. Identyfikacja zagrożeń została przeprowadzona zgodnie z założeniami procesu identyfikacji zagrożeń w przód (FHIP) i obejmuje takie procedury jak: przygotowanie rozpoznania źródeł zagrożeń, rozpoznawanie źródeł zagrożeń, grupowanie źródeł zagrożeń oraz formułowanie zagrożeń. W ramach arkusza HIM zastosowano metodę „6M" rozpoznawania źródeł zagrożeń. Wykorzystana metoda stanowi rozszerzenie znanej metody „5M". W metodzie „6M" wyróżniono sześć klas elementów obszaru analiz w ramach których poszukuję się i klasyfikuje źródła zagrożeń. Pięć klas elementów obszaru analiz, które znane są z metody „5M" rozszerzono o klasę związaną z elementami systemów bezpieczeństwa – *Multisafety*. Karty charakterystyki zagrożeń stanowią finalny produkt procesu identyfikacji zagrożeń, który to proces jest przypisany do trzeciego kroku schematu procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń.

W ostatniej części rozprawy, na podstawie uogólnionego modelu ryzyka, opracowano model ryzyka przewidziany do zastosowań w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. Model ten integruje cztery kryteria analizy ryzyka, pośród których warto szczególnie wskazać na kryterium związane

z deficytem skuteczności oddziaływania elementów systemu bezpieczeństwa. Zastosowanie modelu ryzyka przedstawiono na przykładzie oceny ryzyka zagrożeń generowanych w domenie zadanie lotnicze (D4) systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4. Po zakwalifikowaniu wartości miar ryzyka do jednego z trzech obszarów kategorii ryzyka uzyskuje się wynik wyceny ryzyka zagrożenia, a na jego podstawie przeprowadzona zostaje procedura postepowania wobec ryzyka w ramach procesu reagowania na ryzyko. W kontekście schematu procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń, ostatnia część rozprawy obejmuje kroki 4, 5 i 6 tego schematu.

W ramach wszystkich części rozprawy uporządkowano aparat pojęciowy związany z lotnictwem taktycznym ogólnie ale i także ten dotyczący zarządzania ryzykiem zagrożeń generowanych w rozważanym obszarze analiz.

8.2. Uwagi i wnioski końcowe

Rozważania i analizy przeprowadzone w ramach niniejszej rozprawy pozwalają na wskazanie następujących uwag i wniosków końcowych:

1. Lotnictwo taktyczne stanowi szczególnego rodzaju obszar analiz ze względu na specyfikę jego przeznaczenia. Generowane są tutaj zagrożenia ponoszenia strat/szkód przez wielu odbiorców/odbiorników narażeń. Ocena ryzyka zagrożeń generowanych w tym obszarze analiz powinna stanowić podstawę decyzji podejmowanych przez personel kierowniczy/dowódczy, natomiast permanentne doskonalenie umiejętności personelu (latającego i naziemnego) lotnictwa taktycznego w zakresie zarządzania ryzykiem zagrożeń powinno stanowić jeden z celów nadrzędnych.
2. Zastosowanie metodologii systemowej w obszarze lotnictwa taktycznego sił powietrznych umożliwiło opracowanie metamodelu systemu lotnictwa taktycznego, który może stanowić podstawę do szerokiego spektrum prac naukowych. Dotychczas nie powstał podobny metamodel, który w tak przystępny sposób umożliwiałby zrozumienie podstawowych powiązań i zależności występujących w strukturze organizacyjnej lotnictwa taktycznego sił powietrznych.
3. W lotnictwie wojskowym, a w tym także i w lotnictwie taktycznym, obserwuje się stosowanie różnych definicji tych samych pojęć, co wpływa na brak pożądanej koherentności w tym obszarze analiz. W systemie lotnictwa taktycznego zauważono ten problem i uporządkowano stosowany aparat pojęciowy, co stanowi szczególną wartość dodaną niniejszej rozprawy.
4. Zaprezentowanie systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego w formacie zagregowanej domeny analiz w koherentny i zrozumiały sposób opisuje ten obszar analiz. Taki format przedstawiania tego systemu

otwiera możliwości szerokiego spektrum badań w obrębie każdej z rozłącznych domen analiz.

5. Elementy systemu bezpieczeństwa to pewnego rodzaju elementy „krytyczne" jakie występują w danym obszarze analiz. Dotychczas w obszarze analiz lotnictwa wojskowego nie sklasyfikowano ani nie opisano w sposób modelowy tych elementów. Wyszczególnienie ośmiu kategorii elementów systemu bezpieczeństwa oraz opracowanie modelu ich formalnego zapisu porządkuje to zagadnienie. Stanowi to szczególnie ważny aspekt w zarządzaniu ryzykiem zagrożeń w lotnictwie wojskowym.
6. Dotychczas w systemie lotnictwa taktycznego mało uwagi poświęca się rozważaniom dotyczącym możliwego wpływu niezdatności elementów systemu bezpieczeństwa na poziom bezpieczeństwa wykonywania misji lotniczych. Możliwe niezdatności niektórych elementów systemu bezpieczeństwa traktowane są jako zdarzenia typu *Black Swans*. Jednak ostatnie zdarzenia lotnicze do jakich doszło właśnie w lotnictwie taktycznym miały między innymi związek z niezdatnością pewnych elementów systemu bezpieczeństwa. Dlatego w niniejszej rozprawie wyróżniono klasę *Multisafety* elementów obszaru analiz związaną z elementami systemu bezpieczeństwa. W efekcie powstała metoda „6M" według której obszar analiz jest przeszukiwany w celu rozpoznawania w nim jak największej liczby źródeł zagrożeń.
7. Rezultaty procesu identyfikacji zagrożeń mają największy wpływ na przydatność i skuteczność zarządzania ryzykiem zagrożeń. Implementacja metody „6M" w ramach arkusza identyfikacji zagrożeń (HIM) umożliwiła uzyskanie szerszego spektrum rozpoznawania źródeł zagrożeń. Z kolei wprowadzenie pięciu atrybutów źródeł zagrożeń (*generator*, *receiver*, *trigger*, *escalator*, *neutral*), stanowi nowość pozwalającą lepiej zrozumieć istotę źródeł zagrożeń oraz ich znaczenie dla formułowania zagrożeń.
8. Metodyczne poszukiwanie źródeł zagrożeń, formułowanie zagrożeń oraz szacowanie i wycena ich ryzyka w sposób bezpośredni wpływa na poziom bezpieczeństwa wykonywania misji lotniczych. Personel latający oczekuje obecnie pojawienia się bardziej przystępnych niż dotychczas stosowane narzędzi do realizacji procesów zarządzania ryzykiem zagrożeń. Zadanie takie mogłyby spełniać wspomagające te procesy aplikacje mobilne.
9. Niewątpliwą zaletą opracowanego w ramach rozprawy oryginalnego modelu ryzyka, jest to iż uwzględnia on deficyt skuteczności oddziaływania elementów systemu bezpieczeństwa. Dodatkowo dobrym rozwiązaniem jest zastosowanie „kolorowej", dziesięciostopniowej skali zbioru poziomów ryzyka w ramach każdego z kryteriów analizy ryzyka. Jednak wy-

korzystywana w ramach modelu ryzyka metoda HEART do oceny zawodności człowieka (pilota) zakłada, że wszystkie zadania (operacje procesów, czynności) realizowane są niezależne i w izolacji od innych (niepowiązaniu ze sobą). Utrudnia to wyznaczanie miary możliwości (prawdopodobieństwa) popełnienia błędu przez człowieka (pilota) w tzw. „ciągu produkcyjnym".

10. Stosowanie zarządzania ryzykiem zagrożeń w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego jest przejawem realizacji w praktyce idei kultury bezpieczeństwa lotów oraz służy promowaniu bezpieczeństwa lotów. Podjęta w rozprawie problematyka wpisuje się w politykę bezpieczeństwa lotów lotnictwa SZ RP w kontekście podnoszenia kwalifikacji oraz angażowaniu personelu lotniczego w działaniach na rzecz bezpieczeństwa lotów. Przeprowadzone w ramach niniejszej rozprawy badania oraz wynikające z nich wnioski mogą być zaczynem działań prowadzących do doskonalenia metody zarządzania ryzykiem zagrożeń stosowanej obecnie w lotnictwie taktycznym Sił Powietrznych RP w kontekście planowanego wprowadzanie do użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego w ramach programu „Harpia".

8.3. Propozycje obszarów dalszych badań

Dalsze prace badawcze w ramach problematyki podjętej w niniejszej rozprawy powinny obejmować następujące obszary:

1. Kontynuowanie prac związanych z zarządzaniem ryzykiem zagrożeń w innych domenach niż domena zadanie lotnicze w ramach systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego sił powietrznych z zastosowaniem zaproponowanego modelu ryzyka.
2. Rozwijanie i udoskonalanie zaproponowanego modelu ryzyka w zakresie kryteriów K_1 i K_2 analizy ryzyka celem opracowania narzędzi (wspomagaczy), tak aby hierarchizacja/określanie poziomów składowych ryzyka na podstawie cech stanowiących przedmiot analiz była dodatkowo wspomagana danymi ilościowymi.
3. Opracowanie założeń do aplikacji komputerowej/mobilnej ułatwiającej personelowi latającemu realizację procesu zarządzania ryzykiem zagrożeń w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego.
4. Podjęcie prac nad innowacyjną i przyjazną dla personelu latającego metodą zarządzania ryzykiem zagrożeń w kontekście przewidywanego w ramach programu „Harpia" wprowadzenia do eksploatacji w lotnictwie taktycznym samolotów piątej generacji.

LITERATURA

[1] 21. Baza Lotnictwa Taktycznego, Zestaw procedur awaryjnych wykonywanych w deficycie czasu, Świdwin 2018.

[2] 21. Baza Lotnictwa Taktycznego, Standardowe Procedury Operacyjne 21. BLT - Standardy Eskadrowe, Świdwin 2018.

[3] 31. Baza Lotnictwa Taktycznego, Instrukcja programu FOD PREVENTION dla JW 1156 oraz jednostek stacjonujących na lotnisku Poznań-Krzesiny, Poznań 2015.

[4] 31. Baza Lotnictwa Taktycznego, Instrukcja operacyjna organu kontroli lotniska Poznań-Krzesiny (INOP Krzesiny TWR). Wydanie II, Poznań 2015.

[5] 31. Baza Lotnictwa Taktycznego, Instrukcja operacyjna Grupy Ratownictwa Lotniskowego Poznań-Krzesiny (INOP GRL EPKS). Wydanie I, Poznań 2018.

[6] 33. Baza Lotnictwa Transportowego, Instrukcja operacyjna Grupy Ratownictwa Lotniskowego Powidz (INOP GRL EPPW), Powidz 2015.

[7] Abhilash P.M., Niranjan K.S., Vijay V.P., Girish S.D., Development and Flight Testing of an Automatic Leveling Function for a Fighter Aircraft. IFAC-PapersOnLine, nr 51(1), 2018, p. 359–364, DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.05.050.

[8] Adger W.N., Vulnerability. Global Environmental Change, nr 16(3), 2006, p. 268–281, DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006.

[9] Adjetey-Bahun K., Birregah B., Châtelet E., Planchet J.-L., A model to quantify the resilience of mass railway transportation systems. Reliability Engineering & System Safety, nr 153, 2016, p. 1–14, DOI: 10.1016/j.ress.2016.03.015.

[10] Almklov P.G., Rosness R., Størkersen K., When safety science meets the practitioners: Does safety science contribute to marginalization of practical knowledge? Safety Science, nr 67, 2014, p. 25–36, DOI: 10.1016/j.ssci. 2013.08.025.

[11] Altabbakh H., Al Kazimi M.A., Murray S., Grantham K., STAMP - Holistic system safety approach or just another risk model? Journal of Loss Prevention in the Process Industries, nr 32, 2014, p. 109–119, DOI: 10.1016/j.jlp.2014.07.010.

[12] Andersson T., Final development and verification of a ground proximity warning system, w: *38th Annual International Symposium of the Society of Flight Test Engineers, SFTE*, St. Louis, MO 2007, p. V1.1-V1.14.

[13] Augustyn E., Kadziński A., Model of Generalized Technical System. Journal of Mechanical and Transport Engineering, nr 69(3), 2017, p. 5–13, DOI: 10.21008/ j.2449-920X.2017.69.3.01.

[14] Augustyn E., Kadziński A., Systemic approach and model of the Polish Tactical Air Force. Journal of KONES Powertrain and Transport, nr 24(2), 2017, p. 7–16, DOI: 10.5604/01.3001.0010.2889.

[15] Augustyn E., Kadziński A., Innovative Concepts of Systems Modelling in the Tactical Air Force, w: *Proceedings of 22nd International Scientific Conference. Transport Means 2018*, Kaunas University of Technology, Kaunas 2018, p. 37–42.

[16] Augustyn E., Kadziński A., Models of airmen's aviation activities cycles in the Tactical Aircraft's Operating System. Journal of KONBiN, nr 45, 2018, p. 45–66, DOI: 10.2478/jok-2018-0003.

[17] Augustyn E., Kadziński A., Smoczyński P., Model of the Tactical Aircraft Operating System as an aggregated analysis domain for hazard risk management processes. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, nr 101, 2018, p. 15–26, DOI: DOI: 10.20858/sjsutst.2018.101.2.
[18] Aven T., On the meaning of a black swan in a risk context. Safety Science, nr 57, 2013, p. 44–51, DOI: 10.1016/j.ssci.2013.01.016.
[19] Aven T., Implications of black swans to the foundations and practice of risk assessment and management. Reliability Engineering & System Safety, nr 134, 2015, p. 83–91, DOI: 10.1016/j.ress.2014.10.004.
[20] Aven T., Comments to the short communication by Jan Erik Vinnem and Stein Haugen titled "Perspectives on risk and the unforeseen." Reliability Engineering & System Safety, nr 137, 2015, p. 69–75, DOI: 10.1016/j.ress.2015.01.001.
[21] Aven T., A holistic framework for conceptualising and describing risk, w: *SSARS 2010*, 2010, p. 7–14.
[22] Aven T., Risk Analysis, 2015, ISBN: 9781119057796.
[23] Aven T., How some types of risk assessments can support resilience analysis and management. Reliability Engineering and System Safety, nr 167(March), 2017, p. 536–543, DOI: 10.1016/j.ress.2017.07.005.
[24] Aven T., Krohn B.S., A new perspective on how to understand, assess and manage risk and the unforeseen. Reliability Engineering and System Safety, nr 121, 2014, p. 1–10, DOI: 10.1016/j.ress.2013.07.005.
[25] Aven T., Zio E., Foundational issues in risk assessment and risk management. Risk Analysis, nr 34(7), 2014, p. 1164–1172, DOI: 10.1111/risa.12132.
[26] Aviation Safety Network, https://aviation-safety.net/statistics/, [dostęp: 04.11.2018 r.].
[27] Bączyk N., Nasze drogie F-16. Raport - Wojsko, Technika, Obronność, nr 8, 2017, p. 4–11.
[28] Barr J.N., System Safety Engineering and Risk Assessment. A Practical Approach (Second Edition), McGraw-Hill Education, 2015.
[29] Beaty D., Pilot. Naga prawda, Grupa Wydawnicza Foksal, Warszawa 1995.
[30] Belin M.Å., Tillgren P., Vision Zero. How a Policy Innovation is Dashed by Interest Conflicts, but May Prevail in the End. Scandanavian Journal of Public Administration, nr 16(3), 2013, p. 83–102.
[31] Bera R., Wizerunek współczesnego pilota wojskowego, Dowództwo Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej, Warszawa 1999.
[32] Bergström J., van Winsen R., Henriqson É., On the rationale of resilience in the domain of safety: A literature review. Reliability Engineering & System Safety, nr 141, 2015, p. 131–141, DOI: 10.1016/j.ress.2015.03.008.
[33] Bertalanffy L. Von, The History and Status of General Systems Theory. Source: The Academy of Management Journal General Systems Theory, nr 15(4), 1972, p. 407–426.

[34] Bianchini A., Donini F., Pellegrini M., Saccani C., An innovative methodology for measuring the effective implementation of an Occupational Health and Safety Management System in the European Union An innovative methodology for measuring the effective implementation of an Occupational Health and Safety Man. Safety Science, nr 92 (January 2018), 2017, p. 26–33, DOI: 10.1016/j.ssci.2016.09.012.

[35] Bielawski R., Współczesne materiały kompozytowe stosowane w cywilnych i wojskowych strukturach lotniczych oraz techniki ich wytwarzania a wpływ na bezpieczeństwo lotnicze, w: *Bielawski R., Grenda B. (red.), Bezpieczeństwo Lotnicze w Aspekcie Rozwoju Technologicznego*, Akademia Sztuki Wojennej, Warszawa 2017, p. 30–49.

[36] Bielawski R., Wybrane zagadnienia z budowy statków powietrznych. Definicje, pojęcia i klasyfikacje, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2015, ISBN: 9788375234282.

[37] Biuro Bezpieczeństwa Narodowego, Strategia bezpieczeństwa narodowego Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa 2014.

[38] Borgoń J., Jaźwiński J., Niezawodnośc eksploatacyjna i bezpieczeństwo lotów, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1989.

[39] Borucka A., Zintegrowany wieloszczeblowy system informatyczny resortu Obrony Narodowej jako kluczowy element strategii informatyzacji w Siłach Zbrojnych. Logistyka, nr 6, 2013, p. 49–58.

[40] Borysewicz M., Furtek A., Potempski S., Poradnik metod ocen ryzyka związanego z niebezpiecznymi instalacjami procesowymi, Instytut Energii Atomowej, Otwock-Świerk 2000.

[41] Boulding K.E., General Systems Theory - the skeleton of science. Management Science, nr 2(3), 1956, p. 197–208.

[42] Bowo L.P., Furusho M., Human Error Assessment and Reduction Technique for Reducing the Number Human Error Assessment and Reduction Technique for Reducing the Number of Marine Accidents in Indonesia. Applied Mechanics and Materials, nr 874, 2018, p. 199–206, DOI: 10.4028/www.scientific.net AMM.874.199.

[43] Brooker P., Airborne collision avoidance systems and air traffic management safety. Journal of Navigation, nr 58(1), 2005, p. 1–16, DOI: 10.1017/S0373463 30400308X.

[44] Bujnowski M., Bezpieczeństwo lotnictwa cywilnego. Aspekty współpracy międzynarodowej, Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Łódź 2016, ISBN: 9788373838130.

[45] CAE Oxford Aviation Academy, Air Law - ATPL Ground Training Series, 2014.

[46] Cameron I., Mannan S., Németh E., Park S., et al., Process hazard analysis, hazard identification and scenario definition: Are the conventional tools sufficient, or should and can we do much better? Process Safety and Environmental Protection, nr 110, 2017, p. 53–70, DOI: 10.1016/j.psep. 2017.01.025.

[47] Castle M., Traffic alert and collision avoidance system (TCAS) program office, w: *Safety Forum 2014: Airborne Conflict*, EUROCONTROL, 2014, p. 148–170.
[48] Catino M., Patriotta G., Learning from Errors: Cognition, Emotions and Safety Culture in the Italian Air Force. Organization Studies, nr 34(4), 2013, p. 437–467, DOI: 10.1177/0170840612467156.
[49] Cempel C., Teoria i inżynieria systemów - zasady zastosowania myslenia systemowego: dla studentów wydziałów politechnicznych, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii i Eksploatacji - PIB, Radom 2008.
[50] Cempel C., Nowoczesne zagadnienia metodologii i filozofii badań, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB, Radom 2003.
[51] Chang Y.J., Cheng A., A case study of human error probability in commercial aviation, w: *International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment and Analysis, PSA 2015*, American Nuclear Society, 2015, p. 1004–1010.
[52] Chichilnisky G., The foundations of statistics with black swans. Mathematical Social Sciences, nr 59(2), 2010, p. 184–192, DOI: 10.1016/j.mathsocsci. 2009.09.007.
[53] Chmielecki A., Rzeczy i wartości, Wydawnictwo PWN, Warszawa 1999.
[54] Chruzik K., Zarządzanie bezpieczeństwem w transporcie kolejowym, Radom 2014, ISBN: 9788377893326.
[55] Chruzik K., Areas of Civil Aviation Hazards. Journal of KONBiN, nr 43(1), 2017, p. 49–68, DOI: 10.1515/jok-2017-0039.
[56] Chruzik K., Inżynieria bezpieczeństwa w transporcie, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2016, ISBN: 9788378803454.
[57] Chruzik K., Fellner A., Safety platform of Polish transport. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, nr 90, 2016, p. 25–36, DOI: 10.20858/sjsutst.2016.90.3.
[58] Cole M., Kuhlmann A., A scenario-based approach to airport security. Futures, nr 44(4), 2012, p. 319–327, DOI: 10.1016/j.futures.2011.08.012.
[59] Cox S., Flin R., Safety culture: Philosopher's stone or man of straw? Work & Stress, nr 12(3), 1998, p. 189–201, DOI: 10.1080/02678379808256861.
[60] Le Coze J.-C., 1984-2014. Normal Accidents. Was Charles Perrow Right for the Wrong Reasons? Journal of Contingencies and Crisis Management, nr 23(4), 2015, p. 275–286, DOI: 10.1111/1468-5973.12090.
[61] Le Coze J.-C., Vive la diversité! High Reliability Organisation (HRO) and Resilience Engineering (RE). Safety Science, 2016, DOI: 10.1016/j.ssci.2016. 04.006.
[62] Le Coze J.-C., New models for new times. An anti-dualist move. Safety Science, nr 59, 2013, p. 200–218, DOI: 10.1016/j.ssci.2013.05.010.
[63] Le Coze J.-C., Disasters and organisations: From lessons learnt to theorising. Safety Science, nr 46(1), 2008, p. 132–149, DOI: 10.1016/j.ssci.2006.12.001.
[64] Cusick K.S., Cortes A.I., Rodrigues C.C., Commercial Aviation Safety (6th edition), McGraw-Hill Education, 2017.
[65] Cwojdziński L., Eksploatacja samolotów wielozadaniowych w działaniach bojowych, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa 2014, ISBN: 9788361021216.

[66] Cwojdziński L., Użycie statków powietrznych w operacjach lotniczych, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa 2013, ISBN: 9788361021889.
[67] Cwojdziński L., Lewitowicz J., Żyluk A., Models of air mission. Journal of KONBiN, nr 2(22), 2012, p. 35–44, DOI: 10.2478/jok-2013-0020.
[68] Danielecki S., Eksploatowanie samolotów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
[69] Defence24 - 29 lat MiGów-29 w Siłach Powietrznych. Kiedy będzie następca, https://www.defence24.pl/29-lat-migow-29-w-silach-powietrznych-kiedy-będzie-nastepca-analiza, [dostęp: 09.09.2018 r.].
[70] Defence24 - Co dalej z MiG-29 w Polsce i Europie?, https://www.defence24.pl/co-dalej-z-mig-29-w-polsce-i-europie-analiza, [dostęp: 16.10.2018 r.].
[71] Defence24 - MON: spada liczba incydentów w lotnictwie. Opozycja: jest więcej poważnych wypadków, https://www.defence24.pl/mon-spada-liczba-incydentow-w-lotnictwie-opozycja-jest-wiecej-powaznych-wypadkow, [dostęp: 19.10.2018 r.].
[72] Defence24 - Nocna katastrofa MiG-29. Loty zawieszone przyczyny bada komisja, https://www.defence24.pl/nocna-katastrofa-mig-29-loty-zawieszone-przyczyny-bada-komisja, [dostęp: 19.10.2018 r.].
[73] Defence24 - Polskie Su-22 znowu latają. MiGi-29 nadal uziemione, https://www.defence24.pl/polskie-su-22-znowu-lataja-migi-29-nadal-uziemione, [dostęp: 22.10.2018 r.].
[74] Defence24 - Rozbił się polski MiG-29. Pilot uratowany, https://www.defence24.pl/rozbil-sie-polski-mig-29-pilot-uratowany-aktualizacja, [dostęp:21.10.2018 r.].
[75] Defence24 - Zadania współczesnego lotnictwa a polskie możliwości, https://www.defence24.pl/zadania-wspolczesnego-lotnictwa-a-polskie-mozliwosci, [dostęp: 21.07.2018 r.].
[76] Degani A., Wiener E.L., Cockpit Checklists : Concepts, Design and Use. Human Factors, nr 35(2), 1993, p. 345–359.
[77] Dekker S.W.A., Just Culture Balancing Safety and Accountability, CRC Press, Taylor & Francis Group, London 2012, ISBN: 9781315251271.
[78] Dekker S.W.A., Just culture: Who gets to draw the line? Cognition, Technology and Work, nr 11(3), 2009, p. 177–185, DOI: 10.1007/s10111-008-0110-7.
[79] Dekker S.W.A., Drift into failure, CRC Press, Taylor & Francis Group, London 2011, ISBN: 9781409422228.
[80] Dekker S.W.A., Hollnagel E., Woods D.D., Cook R., Resilience Engineering: New directions for measuring and maintaining safety in complex systems, Lund University School of Aviation, 2008.
[81] Dekker S.W.A., Long R., Wybo J.L., Zero vision and a Western salvation narrative. Safety Science, nr 88, 2015, p. 219–223, DOI: 10.1016/j.ssci. 2015.11.016.
[82] Dekker S.W.A., Woods D.D., The High Reliability Organization Perspective. Chapter 5 in Human Factors in Aviation (2nd Edition), 2010, p. 123–143, DOI: 10.1016/B978-0-12-374518-7.00005-5.

[83] Delorme R., Deep complexity and the social sciences: Experience, modelling and operationality, Edward Elgar, Cheltenham 2010, ISBN: 9781849800266.
[84] Demichela M., Piccinini N., Romano A., Risk analysis as a basis for safety management system. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, nr 17(3), 2004, p. 179–185, DOI: 10.1016/j.jlp.2003.11.003.
[85] De Dianous V., Fiévez C., ARAMIS project: A more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. Journal of Hazardous Materials, nr 130(3 SPEC. ISS.), 2006, p. 220–233, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.07.010.
[86] Dlapilota.pl - F-16 to jedynie część składowa niesłychanie kosztownego systemu, https://dlapilota.pl/wiadomosci/dlapilota/f-16-czesc-skladowa-niesly-chanie-kosztownego-systemu, [dostęp: 22.09.2018 r.].
[87] Dodshon P., Hassall M.E., Practitioners' perspectives on incident investigations. Safety Science, nr 93, 2017, p. 187–198, DOI: 10.1016/j.ssci.2016.12.005.
[88] Dorfman M.S., Cather D.A., Introduction to Risk Management and Insurance (10th edition), Pearson, 2012.
[89] Dover Air Force Base - What's your BOLDFACE?, https://www.dover.af.mil/News/Commentaries/Article/231200/whats-your-boldface/, [dostęp: 03.10.2018 r.].
[90] Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych MON, Regulamin lotów lotnictwa Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (RL-2016), Warszawa 2016.
[91] Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych MON, Instrukcja służby inżynieryjno-lotniczej lotnictwa Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (ISIL-2017), Warszawa 2017.
[92] Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych MON, Instrukcja organizacji lotów w lotnictwie Sił Zbrojnych Rzeczypozpolitej Polskiej (IOL-2016), Warszawa 2016.
[93] Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych MON, Instrukcja zarządzania ruchem lotniczym w Siłach Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (IZRL-2017), Warszawa 2017.
[94] Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych MON, Instrukcja szkoleń personelu latającego z zakresu zarządzania zasobami załogi CRM (Crew Resource Management) w lotnictwie Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa 2017.
[95] Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych MON, Samolot Su-22 M4. Instrukcja techniki pilotowania (wariant anglosaski), Warszawa 2016.
[96] Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych MON, Instrukcja zabezpieczenia wysokościowo-ratowniczego w lotnictwie Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej część II (IZWR II-2015), Warszawa 2016.
[97] Dowództwo Sił Powietrznych MON, Metodyka zarządzania ryzykiem w lotnictwie Sił Zbrojnych RP (MZR-2010), Warszawa 2010.
[98] Dowództwo Sił Powietrznych MON, Poradnik - Podstawy zarządzania ryzykiem w lotnicwie Sił Zbrojnych RP (PZR-2010), Warszawa 2010.
[99] Dowództwo Sił Powietrznych MON, Regulamin działań Sił Powietrznych DD/3.3, Warszawa 2004.

[100] Dowództwo Sił Powietrznych MON, Program szkolenia lotnictwa taktycznego na samolotach Su-22 (PSzLT-2011), Warszawa 2011.
[101] Dowództwo Wojsk Lotniczych, Samolot Su-22M4. Metodyka szkolenia. Część I. Technika pilotowania, Poznań 1985.
[102] Dudek E., Kozłowski M., Koncepcja zarządzania jakością danych lotniczych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, nr 113, 2016, p. 142–150.
[103] Dudek E., Kozłowski M., Analiza potencjalnej niezgodności informacji lotniczej - studium przypadku. Journal of KONBiN, nr 41, 2017, p. 59–82, DOI: 10.1515 jok-2017-0004.
[104] Dudek E., Kozłowski M., Koncepcja wyznaczania macierzy tolerancji ryzyka dla łańcucha danych i informacji lotniczych. Journal of KONBiN, nr 43, 2017, p. 69–94, DOI: 10.1515/jok-2017-0040.
[105] Eger C.A.G., Mitchell R.A., Data analysis of the F-16 automatic air and ground collision avoidance systems, w: *46th Annual International Symposium of the Society of Flight Test Engineers 2015*, Society of Flight Test Engineers, 2015, p. 125–137.
[106] Enya A., Dempsey S., Pillay M., High reliability organisation (HRO) principles of collective mindfulness: An opportunity to improve construction safety management. Advances in Intelligent Systems and Computing, nr 791, 2019, p. 3–13, DOI: 10.1007/978-3-319-94589-7_1.
[107] Erjavac A.J., Iammartino R., Fossaceca J.M., Evaluation of preconditions affecting symptomatic human error in general aviation and air carrier aviation accidents. Reliability Engineering and System Safety, nr 178(May), 2018, p. 156–163, DOI: 10.1016/j.ress.2018.05.021.
[108] European Committee for Electrotechnical Standardization, EN 61025:2007 Fault Tree Analysis (FTA). 2007.
[109] Evans M., He Y., Maglaras L., Janicke H., HEART-IS : A novel technique for evaluating human error-related information security incidents. Computers & Security, nr 80, 2019, p. 74–89, DOI: 10.1016/j.cose.2018.09.002.
[110] Farjoun M., Organizational learning and action in the midst of safety drift: revisiting the space shuttle program's recent history, w: *Organization at the Limit: Lessons from the Columbia Disaster*, 2005, p. 60–80.
[111] Flage R., Aven T., Emerging risk - Conceptual definition and a relation to black swan type of events. Reliability Engineering and System Safety, nr 144, 2015, p. 61–67, DOI: 10.1016/j.ress.2015.07.008.
[112] Fly Safe, http://www.flysafe-birdtam.eu/index.php, [dostęp: 03.10.2018 r.].
[113] Frank R.S., Nancy E.W., The Handbook of Safety Engineering: Principles and Applications, Government Institutes - The Scarecrow Press, Lanham 2009.
[114] Gasteren H., Dekker S.W.A., Shamoun-Baranes J., Leijnse H., et al., The FlySafe project: How weather radars can improve the en-route bird strike warning system, w: *International Bird Strike Comitee / World Birdstrike Association Conference*, Stavenger 2012.
[115] Gawande A., Potęga checklisty. Jak opanować chaos i zyskać swobodę w działaniu, Wydawnictwo Znak, 2012.

[116] Gazeta.pl - Pilot MiG-29 zemdlał po lądowaniu i w ciężkim stanie trafił do szpitala. Nieujawniony incydent, http://wiadomosci.gazeta.pl/wiadomosci/7,114883,24052980,pilot-mig-29-zemdlal-po-ladowaniu-i-w-ciezkim-stanie-trafil.amp?fbclid=IwAR3yFfFFm5AutJgvaDGSUU_-qTIHP20MgoOo_ws2aSoFmQAs8c10zNdnEg8, [dostęp: 23.10.2018 r.].

[117] Gazeta.pl - Sytuacja kryzysowa w polskim lotnictwie. Połowa samolotów nie lata. "Pierwszy raz w historii," http://wiadomosci.gazeta.pl/wiadomosci/7,114883,23846620,polskie-lotnictwo-jest-w-stanie-zawalu-polowa-samolotow-nie.html, [dostęp: 15.09.2018 r.].

[118] Gill A., Warstwowe modele systemów bezpieczeństwa do zastosowań w transporcie szynowym, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2018, ISBN: 9788377755174.

[119] Gill A., Koncepcja systemów bezpieczeństwa dla wybranych zagrożeń w komunikacji tramwajowej. Technika Transportu Szynowego, nr 10, 2013, p. 2065–2074.

[120] Gill A., Koncepcja metody projektowania i analizy systemów bezpieczeństwa dla pojazdów szynowych. Technika Transportu Szynowego, nr 9, 2012, p. 737–747.

[121] Gill A., Koncepcja zastosowania reguł decyzyjnych w doborze środków redukcji ryzyka zagrożeń. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, nr 96, 2013, p. 181–190.

[122] Gill A., Kadziński A., Identyfikacja zagrożeń w domenach analiz systemu kolejowego. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, nr 115, 2017, p. 1–10.

[123] Gill A., Kadziński A., Rejestr zagrożeń. Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, nr 17(12), 2016, p. 158–161.

[124] Gill A., Kadziński A., The concept of identification of layers of safety system models through classification of risk reduction measures. Journal of KONES Powertrain and Transport, nr 19(1), 2012, p. 105–115.

[125] Gill A., Kadziński A., Hazard Identification Model, w: *Proceedings of 20th International Scientific Conference. Transport Means 2016 (5-7 October 2016)*, Kaunas University of Technology, Juodkrante, Lithuania 2016, p. 885–890.

[126] Gill A., Kadziński A., Metoda zarządzania ryzykiem zagrożeń dla systemu przytwierdzania SB4VK. Etap 2. Aplikacja procedur metod zarządzania ryzykiem zagrożeń (MZRZ) dla łapki sprężystej systemu przytwierdzania SB4VK, Poznań 2016.

[127] Gill A., Smoczyński P., Adaptation of the rules of the models of games with nature for the design of safety systems, w: *Murayama, Y., Zlateva, P., Velev, D. (red.), Information Technology in Disaster Risk Reduction (ITDRR-2017). IFIP Advances in Information and Communication Technology (IFIP AICT)*, Springer, 2018, p. [w procesie wydawniczym].

[128] Gill A., Smoczyński P., Layered model for convenient designing of safety system upgrades in railways. Safety Science, nr 110, 2018, p. 168–176, DOI: 10.1016/j.ssci.2017.11.024.

[129] Gill A., Smoczyński P., Kadziński A., Kobaszyńska-Twardowska A., Asocjacje treści rekomendacji bezpieczeństwa. Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, nr 18(12), 2017, p. 114–117.
[130] Girdner N., An integrated system safety model of the national airspace system, w: *2016 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, IEEE, 2016, p. 1–6.
[131] Global Aviation Safety Network (GAIN) Working Group E - A Roadmap to a Just Culture: Enhancing the Safety Environment, https://flightsafety.org/files/just_culture.pdf, [dostęp: 09.08.2018 r.].
[132] Gloss D.S., Wardle M.G., Introduction to safety engineering, Wiley, 1984.
[133] Gnoni M.G., Saleh J.H., Near-miss management systems and observability-in-depth: Handling safety incidents and accident precursors in light of safety principles. Safety Science, nr 91, 2017, p. 154–167, DOI: 10.1016/j.ssci.2016.08.012.
[134] Grenda B., Planowanie użycia sił powietrznych, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2013.
[135] Grenda B., Turzyńska H., Czynnik ludzki i jego wpływ na bezpieczeństwo lotów, Akademia Sztuki Wojennej, Warszawa 2016, ISBN: 9788375235555.
[136] Gretzyngier R., Cebulok P., Szulc T., Su-22M4, w: *Przegląd Konstrukcji Lotniczych Nr 1*, Altair, Warszawa 1991.
[137] Gucma L., Wytyczne do zarządzania ryzykiem morskim, Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej, Szczecin 2009, ISBN: 9788389901422.
[138] Guldenmund F.W., (Mis)understanding Safety Culture and Its Relationship to Safety Management. Risk Analysis, nr 30(10), 2010, p. 1466–1480, DOI: 10.1111/j.1539-6924.2010.01452.x.
[139] Gunnar M., Vision Zero initiative, w: *Third ITS Poland Congress*, Warszawa 2010.
[140] Haavik T.K., Antonsen S., Rosness R., Hale A., HRO and RE: A pragmatic perspective. Safety Science, 2016, DOI: 10.1016/j.ssci.2016.08.010.
[141] Hajikazemi S., Ekambaram A., Andersen B., Zidane Y.J.-T., The Black Swan – Knowing the Unknown in Projects. Procedia - Social and Behavioral Sciences, nr 226(1877), 2016, p. 184–192, DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.06.178.
[142] Hale A.R., Guldenmund F.W., van Loenhout P.L.C.H., Oh J.I.H., Evaluating safety management and culture interventions to improve safety: Effective intervention strategies. Safety Science, nr 48(8), 2010, p. 1026–1035, DOI: 10.1016/j.ssci.2009.05.006.
[143] Halim S.Z., Mannan M.S., A journey to excellence in process safety management. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, nr 55(June), 2018, p. 71–79, DOI: 10.1016/j.jlp.2018.06.002.
[144] Harms-Ringdahl L., Analysis of safety functions and barriers in accidents. Safety Science, nr 47(3), 2009, p. 353–363, DOI: 10.1016/j.ssci.2008.06.004.
[145] Harms-Ringdahl L., Guide to safety analysis for accident prevention, IRS Riskhantering AB, Stockholm 2013, ISBN: 9789163731648.

[146] Haskins C. (red.), Systems Engineering Handbook. A guide for system life cycle processes and activities. Version 3, INCOSE, 2007, ISBN: 9781937076023.
[147] Haskins C., Forsberg K., Krueger M., Walden D., Systems Engineering Handbook, INCOSE, 2006.
[148] Haugen S., Vinnem J.E., Perspectives on risk and the unforeseen. Reliability Engineering & System Safety, nr 137, 2015, p. 1–5, DOI: 10.1016/j.ress. 2014.12.009.
[149] He A., Xu S., Fu G., Study on the Basic Problems of Safety Culture. Procedia Engineering, nr 43, 2012, p. 245–249, DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.042.
[150] Heinrich H.W., Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach, 1931.
[151] Henely S., Traffic alert and collision avoidance system II (TCAS II), CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017, ISBN: 9781439868980.
[152] Herrera I.A., Nordskag A.O., Myhre G., Halvorsen K., Aviation safety and maintenance under major organizational changes, investigating non-existing accidents. Accident Analysis and Prevention, nr 41(6), 2009, p. 1155–1163, DOI: 10.1016/j.aap.2008.06.007.
[153] Hoermann H., A proactive strategy for safety management in the global aviation industry, w: *Safety Seminar at the Spanish Congress. Transportation Committee on International Strategies and Policies to Improve Commercial Aviation Flight Safety*, Madrid 2005.
[154] Hoermann H., Noser P., Stelling D., A psychometrician's dream: Test validities in an unrestricted sample of future Swiss Air Force pilots, w: *Proceedings of the 33rd EAAP Conference. Dubrovnik, Croatia, 24-28 September.*, Dubrovnik 2018.
[155] Hollnagel E., Safety-II in Practice: Developing the Resilience Potentials, Routledge, Taylor & Francis Group, London 2017.
[156] Hollnagel E., Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management, CRC Press, Taylor & Francis Group, London 2014.
[157] Hollnagel E., Barriers and Accident Prevention, Routledge, Taylor & Francis Group, London 2004.
[158] Hollnagel E., Safety-II in Practice, Routledge, 2018.
[159] Hollnagel E., Wears R.L., Braithwaite J., From Safety-I to Safety-II: A White Paper, Published by the Authors, 2015.
[160] Hollnagel E., Woods D.D., Leveson N.G., Resilience Engineering: Concepts and Precepts, CRC Press, Taylor & Francis Group, London 2006.
[161] Hooper B.J., O'Hare D.P.A., Exploring human error in military aviation flight safety events using post-incident classification systems. Aviation Space and Environmental Medicine, nr 84(8), 2013, p. 803–813, DOI: 10.3357/ASEM. 3176.2013.
[162] Hosseini S., Barker K., Ramirez-Marquez J.E., A review of definitions and measures of system resilience. Reliability Engineering and System Safety, nr 145, 2016, p. 47–61, DOI: 10.1016/j.ress.2015.08.006.

[163] Huseby A.B., Rabbe M., Optimizing warnings for slippery runways based on weather data, w: *Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World. Proceedings of the 28th International European Safety and Reliability Conference (ESREL 2018)*, 2018, p. 2789–2798.
[164] Infolotnicze - Ochrona i obrona granicy państwowej w przestrzeni powietrznej Rzeczypospolitej Polskiej – rozwiązania systemowe, https://www.infolotnicze.pl/2015/03/30/ochrona-i-obrona-granicy-panstwowej-w-przestrzeni-powietrznej-rzeczypospolitej-polskiej-rozwiazania-systemowe/, [dostęp: 21.07.2018 r.].
[165] Inspektorat Lotnictwa MON, Instrukcja zabezpieczenia wysokościowo-ratowniczego, Warszawa 1968.
[166] Inspektorat MON ds. Bezpieczeństwa Lotów, Instrukcja bezpieczeństwa lotów lotnictwa Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (IBL-2015), Poznań 2015.
[167] Inspektorat Sił Powietrznych MON, Zasady wykonywania operacji nadlotniskowych przez lotnictwo Sił Zbrojnych RP, Warszawa 2016.
[168] Inspektorat Uzbrojenia MON, Instrukcja w sprawie zarządzania dokumentacją techniczną uzbrojenia i sprzętu wojskowego, Warszawa 2011.
[169] International Civil Aviation Organization, Safety Management Manual (Doc 9859), 4th edition, 2018, ISBN: 9789292312954.
[170] International Civil Aviation Organization, Procedures of Air Navigation Services. Aircraft Operations (Doc 8168), vol. 1. Flight Procedures, 5th edition, 2006.
[171] International Civil Aviation Organization, Konwencja o międzynarodowym lotnictwie cywilnym - Konwencja chicagowska, Dz. U z 1959 r. nr 35, poz. 212, z późn. zm., 2002.
[172] International Civil Aviation Organization, International Standards and Recommended Practices. Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation - Safety Management, 1st edition, 2013.
[173] International Civil Aviation Organization, International Standards. Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation - Rules of the Air, 10th edition, 2005.
[174] International Civil Aviation Organization, International Standards and Recommended Practices. Annex 8 to the Convention on International Civil Aviation - Airworthiness of Aircraft, 11th edition, 2010.
[175] International Civil Aviation Organization, International Standards and Recommended Practices. Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation - Aerodromes, vol.1. Aerodrome Design and Operations, 5th edition, 2009.
[176] International Electrotechnical Commission, IEC 61882:2016 Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide. 2016.
[177] International Nuclear Safety Advisory Group, INSAG-1 Summary Report on the Post-accident Review Meeting on the Chernobyl Accident. Safety Series, 1986.
[178] International Nuclear Safety Advisory Group, INSAG-4 Safety culture. Safety Series, 1991.

[179] Iordache V.-M., Balan C.V., Safety Culture in Modern Aviation Systems – Civil and Military. INCAS BULLETIN, nr 8(2), 2016, p. 135–142, DOI: 10.13111/ 2066-8201.2016.8.2.11.

[180] Iwaszko P., Wykorzystanie symulatora lotniczego samolotu MiG-29 na potrzeby szkolenia do realizacji zadań w ramach misji "Baltic Air Policing," w: *Bielawski R., Grenda B. (red.), Bezpieczeństwo Lotnicze w Aspekcie Rozwoju Technologicznego*, Akademia Sztuki Wojennej, Warszawa 2017, p. 157–179.

[181] Jamroz K., Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011, ISBN: 9878373483420.

[182] Jamroz K., Chruzik K., Gucma L., Kadziński A., Koncepcja Zintegrowanego Systemu Bezpieczeństwa Transportu w Polsce, podrozdział 4.3.1, w: *Krystek R. (red.), Praca Zbiorowa. Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu, Tom III - Koncepcja Zintegrowanego Systemu Bezpieczeństwa Transportu w Polsce*, WKŁ, Warszawa 2010, p. 133–151.

[183] Jamroz K., Kadziński A., Chruzik K., Szymanek A., et al., Trans-Risk - An Integrated Method for Risk Management in Transport. Journal of Konbin, nr 13(1), 2010.

[184] Jaźwiński J., Borgoń J., Niezawodność eksploatacyjna i bezpieczeństwo lotów, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1989.

[185] Jednostki Wojskowe - Siły Powietrzne RP, https://www.jednostki-wojskowe.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=27, [dostęp: 18.07.2018 r.].

[186] Jedynak M., Młynarski S., Sowa A., Ryzyko i jego miary w transporcie kolejowym. Logistyka, nr 6, 2015, p. 1071–1085.

[187] Jeffcott S., Pidgeon N., Weyman A., Walls J., Risk, trust, and safety culture in U.K. train operating companies. Risk Analysis, nr 26(5), 2006, p. 1105–1121, DOI: 10.1111/j.1539-6924.2006.00819.x.

[188] Kadziński A., Studium wybranych aspektów niezawodności systemów oraz obiektów pojazdów szynowych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2013.

[189] Kadziński A., Zarządzanie ryzykiem zagrożeń na stanowiskach pracy, rozdział 3, w: *Lewicki L., Sadłowska-Wrzesińska J. (red.), Istotne Aspekty BHP*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Logistyki, Poznań 2014, p. 149–159.

[190] Kadziński A., Gill A., Integracja pojęć, podrozdział 7.3.2, w: *Krystek R. (red.), Praca Zbiorowa. Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu, Tom II - Uwarunkowania Rozwoju Integracji Systemów Bezpieczeństwa Transportu*, WKŁ, Warszawa 2009, p. 285–288.

[191] Kadziński A., Gill A., Koncepcja implementacji metody Trans-Risk do zarządzania ryzykiem w komunikacji tramwajowej. Logistyka, nr 3, 2011.

[192] Kadziński A., Kobaszyńska-Twardowska A., Gill A., The Concept of Method and Models for Risk Management of Hazards Generated at Railway Crossings, w: *Proceedings of 20th International Scientific Conference. Transport Means 2016 (5-7 October 2016)*, Kaunas University of Technology, Juodkrante, Lithuania 2016, p. 297–302.

[193] Kaleta R., Zieja M., Witoś M., System informatycznego wsparcia lotnictwa Sił Zbrojnych RP. Logistyka, nr 6, 2014, p. 5094–5103.
[194] Kamińska M., Sokolnictwo a bezpieczeństwo lotów. Spostrzeżenia z pracy na lotnisku MW w Gdyni Babich Dołach, w: *Ćwiklak J. (red.), Bezpieczeństwo Lotów w Aspekcie Ryzyka Kolizji Statków Powietrznych z Ptakami*, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2009, p. 104–110.
[195] Karanikas N., Engineering safety recommendations: Results from a survey in aviation, w: *Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World. Proceedings of the 28th International European Safety and Reliability Conference (ESREL 2018)*, 2018, p. 1775–1782.
[196] Kerrebrock J.L., Aircraft Engines and Gas Turbines - 2nd edition, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1992.
[197] Kim E., Muennig P., Rosen Z., Vision zero: a toolkit for road safety in the modern era. Injury Epidemiology, nr 4(1), 2017, DOI: 10.1186/s40621-016-0098-z.
[198] Kirwan B., The validation of three Human Reliability Quantification techniques - THERP , HEART and JHEDI : Part 1 - technique descriptions and validation issues. Applied Ergonomics, nr 27(6), 1996, p. 359–373.
[199] Klich E., Bezpieczeństwo lotów, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii i Eksploatacji - PIB, Radom 2011, ISBN: 9788377890240.
[200] Klich E., Zarządzanie ryzykiem zderzeń statków powietrznych z ptakami, w: *Ćwiklak J. (red.), Bezpieczeństwo Lotów w Aspekcie Ryzyka Kolizji Statków Powietrznych z Ptakami*, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2009, p. 11–27.
[201] Klir G.J., Uncertainity and Information. Foundations of Generalized Information Theory, John Wiley & Sons Inc., New Jersey 2006.
[202] Kobaszyńska-Twardowska A., Scenariusze zdarzeń niepożądanych na przejazdach kolejowo-drogowych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, nr 96, 2013, p. 249–257.
[203] Kobaszyńska-Twardowska A., Gill A., Zastosowanie analizy Bow-Tie do identyfikacji warstw ochronnych w systemach bezpieczeństwa. Technika Transportu Szynowego, nr 10, 2013, p. 2287–2294.
[204] Kołodziński E. (red.), Modelowanie w inżynierii bezpieczeństwa, Warszawa 2015.
[205] Kontogiannis T., Malakis S., Cognitive Engineering and Safety Organization in Air Traffic Management, CRC Press, Taylor & Francis Group, London 2017, ISBN: 9789004310087.
[206] Kosmowski K.T., Methodology of risk analysis in reliability and safety management of nuclear power plants, Gdańsk University of Technology Publishing House, Gdańsk 2003.
[207] Kozłowski M., Dudek E., NOTAM jako bariera bezpieczeństwa informacji lotniczych, w: *Radomyski A., Kozuba J., Ogonowski K., Bujek M. (red.), Współczesne Aspekty Bezpieczeństwa w Transporcie Lotniczym*, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2017, p. 209–220.

[208] Kozuba J., Selected aspects of forming pilot situational awareness, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2013, ISBN: 9788360908860.
[209] Kozuba J., Rurak A., System Zarządzania Bezpieczeństwem w organizacji lotniczej. Logistyka, nr 4, 2014, p. 563–571.
[210] Kristianssen A.C., Andersson R., Belin M.Å., Nilsen P., Swedish Vision Zero policies for safety – A comparative policy content analysis. Safety Science, nr 103 (October 2017), 2018, p. 260–269, DOI: 10.1016/j.ssci.2017.11.005.
[211] Krišto I., Batak M., Šijaković A., Zero accident vision – Ambition and journey (Vizija nula nesreća - Ambicija i putovanje). SIGURNOST, nr 59(4), 2017, p. 355–361.
[212] Kruse S., Co-Evolution of Metamodels and Model Transformations, Books on Demand, Norderstedt 2015.
[213] Krystek R. (red.), Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu. T. 1, Diagnoza bezpieczeństwa transportu w Polsce, WKŁ, Warszawa 2009, ISBN: 9788320617436.
[214] Krystek R. (red.), Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu. T. 2, Uwarunkowania rozwoju integracji systemów bezpieczeństwa transportu, WKŁ, Warszawa 2009, ISBN: 9788320617603.
[215] Krystek R. (red.), Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu. T. 3, Koncepcja Zintegrowanego Systemu Bezpieczeństwa Transportu w Polsce, WKŁ, Warszawa 2010, ISBN: 9788320617818.
[216] Krystek R. (red.), Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu. Synteza, WKŁ, Warszawa 2010, ISBN: 9788320617962.
[217] Krzysiak P., Analiza zdarzeń lotniczych w obrębie portów lotniczych świata w latach 2006-2015, w: *Radomyski A., Kozuba J., Ogonowski K., Bujek M. (red.), Współczesne Aspekty Bezpieczeństwa w Transporcie Lotniczym*, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2017, p. 91–108.
[218] Krzyżanowski M., Just Culture - czyli dlaczego warto zgłaszać zdarzenia mające wpływ na bezpieczeństwo ruchu lotniczego. Safe Sky. Biuletyn Bezpieczeństwa Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej, nr 3, 2018, p. 28–33.
[219] Kurzweil L., Řehoř V., SAFETY II and other recent trends in SMS. Magazine of Aviation Development, nr 6(3), 2018, p. 6–11, DOI: 10.14311/MAD. 2018.03.01.
[220] Lawton R., ASAP : A proactive approach to safety risk management, w: *60th Annual Business Aviation Safety Summit, BASS 2015*, Weston 2015, p. 109–123.
[221] Leveson N.G., Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety, 2011, ISBN: 9780262016629.
[222] Lewis P., Comparison of High Reliability Organizations (HROS), w: *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference, ICNS*, 2013.
[223] Lewitowicz J., Podstawy esploatacji statków powietrznych. Tom 1. Statek powietrzny i elementy teorii, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa 2001.
[224] Lewitowicz J., Podstawy eksploatacji statków powietrznych. Tom 3. Systemy eksploatacji statków powietrznych, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa 2006.

[225] Lewitowicz J., Eksploatacyjne własności i własciwości samolotów i śmigłowców, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa 2015.
[226] Lewitowicz J., Kustroń K., Podstawy esploatacji statków powietrznych. Tom 2. Własności i właściwości eksploatacyjne statku powietrznego, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa 2003.
[227] Lewitowicz J., Żyluk A., Podstawy eksploatacji statków powietrznych. Tom 5. Techniczna eksploatacja statków powietrznych, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa 2009.
[228] Li J., Yang W., Zhang Y., Pei Y., et al., Aircraft vulnerability modeling and computation methods based on product structure and CATIA. Chinese Journal of Aeronautics, nr 26(2), 2013, p. 334–342, DOI: 10.1016/j.cja.2013.02.010.
[229] Lin S.-C., Chen J.-C., Li W.-C., The analysis of human error prevention strategies in military aviation. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), nr 9174, 2015, p. 428–435, DOI: 10.1007/978-3-319-20373-7_41.
[230] Linkov I., Palma-Oliveira J.M., An Introduction to Resilience for Critical Infrastructures, w: *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Resilience-Based Approaches to Critical Infrastructure Safeguarding*, 2017, p. 3–17.
[231] Low J.M.W., Yang K.K., An exploratory study on the effects of human, technical and operating factors on aviation safety. Journal of Transportation Safety and Security, 2018, p. 1–34, DOI: 10.1080/19439962.2018.1458051.
[232] Łunarski J., Inżynieria systemów i analiza systemowa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2010.
[233] Lundberg J., Johansson B.J., Systemic resilience model. Reliability Engineering & System Safety, nr 141, 2015, p. 22–32, DOI: 10.1016/j.ress.2015.03.013.
[234] Lundberg J., Rollenhagen C., Hollnagel E., What you find is not always what you fix-How other aspects than causes of accidents decide recommendations for remedial actions. Accident Analysis and Prevention, nr 42(6), 2010, p. 2132–2139, DOI: 10.1016/j.aap.2010.07.003.
[235] Ma S., He Y., Wang Z., Yang G., Researches on simulation and validation of airborne enhanced ground proximity warning system, w: *CSAE 2012 - Proceedings, 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering*, 2012, p. 198–203.
[236] Mainka J., Czym jest Just Culture? Przegląd Lotniczy Aviation Revue, nr 3, 2009, p. 38–41.
[237] Makarowski R., Ryzyko i stres w lotnictwie sportowym, Difin S.A., Warszawa 2010, ISBN: 9788376412504.
[238] Makarowski R., Smolicz T., Czynnik ludzki w operacjach lotniczych. Człowiek, możliwości i ograniczenia – uwarunkowania psychofizjologiczne, Wydawnictwo Adriana Aviation Sp. z o.o., Kosowizna 2012, ISBN: 9788393591107.

[239] Marston P., Adams P., Accommodating the 21st century pilot: The Human Factor in Ejection Seat restraint, w: *Proceedings - Annual SAFE Symposium (Survival and Flight Equipment Association)*, Survival and Flight Equipment Association (SAFE), 2014, p. 156–169.
[240] Martins I.. ., Martins E.T., Soares M.M., Da Silva Augusto L.G., Human error in aviation: The behavior of pilots facing the modern technology. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), nr 8014 LNCS(PART 3), 2013, p. 150–159, DOI: 10.1007/978-3-642-39238-2_17.
[241] McDermott P.L., Ryan M., Bonaceto C., Potter S., et al., Improving how we weave cognitive engineering into military acquisition: Understand, design, validate, w: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, Human Factors an Ergonomics Society Inc., 2017, p. 171–175.
[242] McDonald N., Corrigan S., Ulfvengren P., Baranzini D., Proactive safety performance for aviation operations, w: *International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, 2014, p. 351–362.
[243] McIntyre G.R., The application of system safety engineering and management techniques at the US Federal Aviation Administration (FAA). Safety Science, nr 40(1–4), 2002, p. 325–335, DOI: 10.1016/S0925-7535(01)00052-2.
[244] Migdalski J. (red.), Poradnik niezawodności: podstawy matematyczne, Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego, Warszawa 1982.
[245] Mikutel T., Wielokryterialna ocena samolotów transportowych dla Sił Powietrznych RP - rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, 2014.
[246] Milkiewicz A., Praktyczna aerodynamika i mechanika lotu samolotu odrzutowego w tym wysokomanewrowego, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa 2009.
[247] Ministerstwo Obrony Narodowej, Koncepcja obronna Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa 2017.
[248] Ministerstwo Obrony Narodowej, Decyzja nr 416 Ministra Obrony Narodowej z dnia 23 grudnia 2013 r. w sprawie funkcjonowania systemu Obrony Powietrznej Rzeczypospolitej Polskiej w czasie pokoju oraz podziału kompetencji pomiędzy Szefem Sztabu Generalnego Wojska Polskiego, Dowódcą Operacyjnym Rodzajów Sił Zbrojnych oraz Dowódcą Generalnym Rodzajów Sił Zbrojnych w tym zakresie.
[249] Ministerstwo Obrony Narodowej, Podręcznik zastosowania podstawowego samolotu MiG-29. Metodyka szkolenia lotniczego, Warszawa 2017.
[250] Ministerstwo Obrony Narodowej, Metodyka szkolenia lotniczego na samolocie PZL-130 ORLIK (MSzL PZL-130). Cz. I. Pojedynczy samolot, Warszawa 2015.
[251] Ministry of Defence of the United Kingdom, Manual of Air Safety (MAS), United Kingdom 2015.
[252] Miranda A.T., Using conditional probabilities to understand “Human error” in military aviation mishaps, w: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 2017 Annual Meeting*, 2017, p. 1619–1620.
[253] Misra K.B. (red.), Handbook of Performability Engineering, Springer Verlag, London 2008.

[254] Młyńczak M., Metodyka badań eksploatacyjnych obiektów mechanicznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
[255] Młyńczak M., Risk Assessment in Transportation Systems. Journal of KONBiN, nr 40(1), 2016, p. 83–100, DOI: 10.1515/jok-2016-0042.
[256] Młyńczak M., Failure models of mechanical objects. Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance, nr 163(3), 2010, p. 29–44.
[257] Nadolny G., Zintegrowany system bezpieczeństwa w żegludze śródlądowej. TTS Technika Transportu Szynowego, nr 12, 2015, p. 2033–2037.
[258] Napiórkowski J., Drożyner P., Mikołajczak P., Rychlik A., et al., Podstawy budowy i eksploatacji pojazdów i maszyn, EXPOL, P. Rybiński, J. Dąbek, sp.j., Olsztyn 2013, ISBN: 9788363041977.
[259] National Aeronautics and Space Administration, Systems Engineering Handbook (NASA/SP-20), NASA Headquaters, Washington 2007.
[260] Nemeth C.P., Cook R., Infusing healthcare with resilience, w: *20th Annual International Symposium of the International Council on Systems Engineering, INCOSE 2010*, 2010, p. 1073–1087.
[261] Ng E.-H., Beruvides M., Tolk J.N., Hartley R.S., High reliability organization: A literature review, w: *Annual International Conference of the American Society for Engineering Management 2011, ASEM 2011*, 2011, p. 350–355.
[262] Niziński S., Fret J., Bielawski K., Kozłowski G., Logistyka a eksploatacja techniki wojskowej. Materiały XXII Zimowej Szkoły Niezawodności, Szczyrk 1994.
[263] NO-05-A012:2006, Bezpieczeństwo lotów. Procedury ostrzegania o zagrożeniu zderzenia statków powietrznych z ptakami, Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, Warszawa 2006.
[264] NO-05-A018:2007, Ruch lotniczy. Lotniskowy system zatrzymywania samolotów - procedury użycia, Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, Warszawa 2007.
[265] NO-05-A022:2007, Ruch lotniczy. Procedury po zgaśnięciu silnika samolotu w locie, Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, Warszawa 2007.
[266] NO-05-A023:2008, Lotnictwo wojskowe. Procedury postępowania w przypadku awarii urządzeń radiokomunikacyjnych lub pomocy nawigacyjnych dla OAT, Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, Warszawa 2008.
[267] NO-15-A202/A1:2009, Wojskowe statki powietrzne. Lotnicza łódka ratunkowa jednoosobowa - wymagania i badania, Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, Warszawa 2009.
[268] NO-16-A002:2015, Wojskowe statki powietrzne. Ochrona przed skutkami wyładowań atmosferycznych - wymagania ogólne, Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, Warszawa 2015.
[269] NO-16-A203/A1:2007, Wojskowe statki powietrzne. Lotnicze maski tlenowe - wymagania, Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, Warszawa 2007.

[270] NO-16-A205/A1:2011, Lotnicze środki ratunkowe. Lotnicza kamizelka ratunkowa - wymagania i badania, Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, Warszawa 2011.
[271] North Atlantic Treaty Organization - Topics, https://www.nato.int/cps/ua/natohq/topics_8206.htm, [dostęp: 19.07.2018 r.].
[272] North Atlantic Treaty Organization Standarization Agency, NATO Glossary of Terms and Definitions (AAP-6), Brussels 2014.
[273] Nowak I., Symulatory w szkoleniu pilotów. Przegląd Sił Powietrznych, nr 1(001), 2007, p. 17–21.
[274] Nowakowski T., From Reliability to Resilience: Modern Challenges of Safety and Reliability Theory and Applications. Journal of KONBiN, nr 33, 2015, p. 151–158, DOI: 10.1515/jok-2015-0012.
[275] O'Neil P.D., High reliability systems and the provision of a critical transportation service. Journal of Contingencies and Crisis Management, nr 19(3), 2011, p. 158–168, DOI: 10.1111/j.1468-5973.2011.00645.x.
[276] Obora H., Metoda analizy błędów pracownika w układzie ergonomicznym HRA. Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie, nr 648, 2004, p. 77–89.
[277] Onet.pl Technologie - Proces szkolenia pilotów polskich F-16, https://technologie.onet.pl/nauka-i-technika/proces-szkolenia-pilotow-polskich-f-16/q0pnej5, [dostęp: 10.08.2018 r.].
[278] Pariès J., Macchi L., Valot C., Deharvengt S., Comparing HROs and RE in the light of safety management systems. Safety Science, 2018, DOI: 10.1016/j.ssci.2018.02.026.
[279] Parlament Europejski. Rada Unii Europejskiej, Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE, EUR-Lex, Baza aktów prawnych Unii Europejskiej, 2006.
[280] Paté-Cornell E., Cox L.A., Improving Risk Management: From Lame Excuses to Principled Practice. Risk Analysis, nr 34(7), 2014, p. 1228–1239, DOI: 10.1111/risa.12241.
[281] Patterson M., Deutsch E.S., Safety-I, Safety-II and Resilience Engineering. Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care, nr 45(12), 2015, p. 382–389, DOI: 10.1016/j.cppeds.2015.10.001.
[282] Patterson M.D., Wears R.L., Resilience and precarious success. Reliability Engineering & System Safety, nr 141, 2015, p. 45–53, DOI: 10.1016/j.ress.2015.03.014.
[283] Pawłuszko W., Seredyński F., Nowy samolot bojowy dla Sił Powietrznych RP . Program pozyskania krajowego potencjału w przemyśle lotniczym - raport, Instytut Sobieskiego, Warszawa 2017, ISBN: 9788394880606.
[284] Perrow C., Normal Accidents: Living With High-Risk Technologies, Princeton University Press, Princeton 1984.
[285] Pettersen K.A., Schulman P.R., Drift, adaptation, resilience and reliability: Toward an empirical clarification. Safety Science, 2016, DOI: 10.1016/j.ssci.2016.03.004.

[286] Plkington G., How to use Bow-Tie diagrams. The Chemical Engineer, nr April, 2017, p. 48–55.
[287] PN-EN 60812:2009, Techniki analizy nieuszkadzalności systemów Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń (FMEA), Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009.
[288] PN-N-18002:2000, Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy - Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego (norma wycofana i zastąpiona przez PN-N-18002:2011), Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2000.
[289] PN-N-18002:2011, Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy - Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2011.
[290] Power M., The Audit Society. Rituals of Verification, Oxford University Press, Oxford 1997.
[291] Powierża L., Zarys inżynierii systemów bioagrotechnicznych. Część 1. Podstawy, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii ITE, Radom-Płock 1997.
[292] Radkowski S., Podstawy bezpiecznej techniki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
[293] Radomska A., Zastosowanie nowych technologii i materiałów konstrukcyjnych na przykładach wybranych samolotów bojowych piątej generacji, w: *Bielawski R., Grenda B. (red.), Bezpieczeństwo Lotnicze w Aspekcie Rozwoju Technologicznego*, Akademia Sztuki Wojennej, Warszawa 2017, p. 50–69.
[294] Radomyski A. (red.), Podstawy obrony powietrznej, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2015.
[295] Rajchel J., Militarne i niemilitarne zasoby obronne państwa w kształtowaniu bezpieczeństwa powietrznego XXI wieku, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2013.
[296] Rasmussen J., Skills, Rules and Knowledge; Signals, Signs and Symbols and Other Distinctions in Human Performance Models. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, nr 13(3), 1983, p. 257–266.
[297] Rasmussen J., On the Structure of Knowledge: A Morphology of Mental Models (Riso-M-2192), Electronics Department of Riso National Laboratory, Roskilde Denmark 1979.
[298] Ratajczak Z., Niezawodność człowieka w pracy, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1988.
[299] Rausand M., Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey 2011.
[300] Reason J., Managing the risk of organizational accidents, Ashgate, Farnham 1997.
[301] Reason J., Organizational Accidents Revisited, CRC Press, Taylor & Francis Group, London 2016.
[302] de Regt A., Siegel A.W., Schraagen J.M., Toward quantifying metrics for rail-system resilience: identification and analysis of performance weak resilience signals. Cognition, Technology & Work, nr 18(2), 2016, p. 319–331, DOI: 10. 1007/s10111-015-0356-9.

[303] Reiman T., Rollenhagen C., Does the concept of safety culture help or hinder systems thinking in safety? Accident Analysis and Prevention, nr 68, 2014, p. 5–15, DOI: 10.1016/j.aap.2013.10.033.
[304] Righi A.W., Saurin T.A., Wachs P., A systematic literature review of resilience engineering: Research areas and a research agenda proposal. Reliability Engineering & System Safety, nr 141, 2015, p. 142–152, DOI: 10.1016/j.ress. 2015.03.007.
[305] Rissland R., Smith A., System radarowego unikania zderzeń z ptakami MERLIN, w: *Ćwiklak J. (red.), Bezpieczeństwo Lotów w Aspekcie Ryzyka Kolizji Statków Powietrznych z Ptakami*, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2009, p. 124–127.
[306] Roberts K.H., New challenges in organizational research: High reliability organizations. Organization & Environment, nr 3(2), 1989, p. 111–125, DOI: 10. 1177/108602668900300202.
[307] Roberts K.H., Rousseau D.M., Research in Nearly Failure-Free, High-Reliability Organizations: Having the Bubble. IEEE Transactions on Engineering Management, nr 36(2), 1989, p. 132–139, DOI: 10.1109/17.18830.
[308] Rosness R., The diversity of systemic safety drift: the role of infrastructure in the railway sector. Cognition, Technology and Work, nr 19(1), 2017, p. 109–126, DOI: 10.1007/s10111-016-0398-7.
[309] Roth E., Kilgore R., Burns C., Wears R.L., et al., Cognitive engineering across domains: What the wide-angle view can provide, w: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, San Diego, CA 2013, p. 139–143.
[310] Roy B., Wielokryterialne wspomaganie decyzji, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1990, ISBN: 832041119X.
[311] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 376/2014 z dnia 3 kwietnia 2014 r. w sprawie zgłaszania i analizy zdarzeń w lotnictwie cywilnym, Dz. U. Unii Europejskiej L 122/18.
[312] de Ruijter A., Guldenmund F.W., The bowtie method: A review. Safety Science, nr 88, 2015, p. 211–218, DOI: 10.1016/j.ssci.2016.03.001.
[313] Sadeghi L., Mathieu L., Tricot N., Al L., Developing a safety indicator to measure the safety level during design for safety. Safety Science, nr 80, 2015, p. 252–263, DOI: 10.1016/j.ssci.2015.08.006.
[314] Sadowski W., Podstawy ogólnej teorii systemów, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1978.
[315] Sage A.P., Systems engineering, John Wiley & Sons, Inc.
[316] Sakuj M., Systemowe podejście do zagrożeń środowiskowych w lotnictwie, w: *Radomyski A., Kozuba J., Ogonowski K., Bujek M. (red.), Współczesne Aspekty Bezpieczeństwa w Transporcie Lotniczym*, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2017, p. 57–74.
[317] Sakuj M., Ćwiklak J., Ziółkowski J., Wildlife strike in Polish Air Force, w: *Bird/Wildlife Strike Prevention Conference*, ICAO, World Birdstrike Association & CARSAMPAF, Mexico City 2014.

[318] Sakuj M., Ziłókowski J., Borowiecki R., Program ograniczania zagrożeń środowiskowych w lotnictwie Sił Zbrojnych RP, w: *Radomyski A., Kozuba J., Ogonowski K., Bujek M. (red.), Współczesne Aspekty Bezpieczeństwa w Transporcie Lotniczym*, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2017, p. 109–130.

[319] Samarth Ramprasad K., Kumar P., 3 factor - Hot (human, organizational and (technical) model for construction safety culture. International Journal of Civil Engineering and Technology, nr 9(8), 2018, p. 530–541.

[320] Samoloty.pl - Na czym szkolić polskich pilotów wojskowych?, https://www.station.samoloty.com.pl/home/156-archiwum-sp-844/4905-szkolenie-pilotow-wojskowych, [dostęp: 20.10.2018 r.].

[321] Saurin T.A., Wachs P., Righi A.W., Henriqson É., The design of scenario-based training from the resilience engineering perspective: A study with grid electricians. Accident Analysis and Prevention, nr 68, 2014, p. 30–41, DOI: 10.1016/j.aap.2013.05.022.

[322] Schubert S., Arbinger C., Sola Morena J.M., What Space can learn from Aviation: Human Factors in High Reliability Organisations, w: *SpaceOps 2016 Conference*, 2016, p. 1–11.

[323] Shashidhara B.P., Chandrasekaran R., Bhatia Y., Magesh G., et al., Development of a full mission simulator for pilot training of fighter aircraft. Defence Science Journal, nr 68(5), 2018, p. 425–431, DOI: 10.14429/dsj.68.12235.

[324] Sikora I., Risk Assessment, Modelling and Proactive Safety Management in Aviation: a Literature Review, w: *Conferenceo on Transportation Systems KoREMA*, 2015.

[325] Sklet S., Safety barriers: Definition, classification, and performance. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, nr 19(5), 2006, p. 494–506, DOI: 10.1016/j.jlp.2005.12.004.

[326] Skorupski J., Ilościowe metody analizy incydentów w ruchu lotniczym, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2018.

[327] Skorupski J., The risk of an air accident as a result of a serious incident of the hybrid type. Reliability Engineering and System Safety, nr 140, 2015, p. 37–52, DOI: 10.1016/j.ress.2015.03.031.

[328] Skorupski J., Risk analysis of incident-accident transformation in air traffic, w: *11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012, PSAM11 ESREL 2012*, Helsinki 2012, p. 4849–4857.

[329] Skorupski J., Traffic incidents analysis as a tool for improvement of transport safety, w: *Marine Navigation and Safety of Sea Transportation: Navigational Problems*, 2013, p. 101–108.

[330] Skorupski J., Method of analysis of the relation between serious incident and accident in air traffic, w: *Advances in Safety, Reliability and Risk Management - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2011*, CRC Press, Taylor & Francis Group, London 2011, p. 2393–2401.

[331] Skorupski J., Analysis of the Relation Between Serious Incident and Accident in Air Traffic. Logistics and Transport, nr 2(11), 2010, p. 45–54.
[332] SkyBrary - Birdtam, https://www.skybrary.aero/index.php/BIRDTAM, [dostęp: 03.10.2018 r.].
[333] Słowiński B., Inżynieria eksploatacji maszyn, Politechnika Koszalińska, Koszalin 2014.
[334] Smoczyński P., Finke S., Kadziński A., Hazard identification method applied to the analyses domain with a virtual freight facility. Journal of Mechanical and Transport Engineering, nr 69(2), 2017, p. 57–67, DOI: 10.21008/j.2449-920X. 2017.69.2.07.
[335] Smoczyński P., Gill A., Object-oriented hazard identification on level crossings, w: *Transport Means - Proceedings of the International Conference*, 2017.
[336] Snook S.A., Friendly fire: the accidental shootdown of U.S. Black Hawks over Northern Iraq, Princeton University Press, New Jersey 2000.
[337] Soeters J.L., Boer P.C., Culture and flight safety in military aviation. International Journal of Aviation Psychology, 2000, DOI: 10.1207/S15327 108IJAP1002_1.
[338] Stanton N.A., Baber C., Modelling Command and Control: Event Analysis of Systemic Teamwork, CRC Press, 2008, ISBN: 9781138072480.
[339] Stępień D., Bartosik B., Systemy ostrzegania o uskoku wiatru, turbulencji i inwersji. Przegląd Sił Powietrznych, nr 4(022), 2009, p. 21–28.
[340] Stolte W., Vogt J., Weber C., Controlling practical drift in high reliability organizations. International Journal of Applied Aviation Studies, nr 10(2), 2010, p. 31–49.
[341] Stoop J., Dekker S.W.A., Are safety investigations pro-active? Safety Science, nr 50(6), 2012, p. 1422–1430, DOI: 10.1016/j.ssci.2011.03.004.
[342] Størkersen K. V, Johansen J.P., No swans in sight-analyzing the resilience in Norwegian water passenger transport, w: *Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2013*, 2014, p. 1619–1626.
[343] Sun Y., Wu T.-Y., Liu X., Obaidat M.S., Multilayered Impact Evaluation Model for Attacking Missions. IEEE Systems Journal, nr 10(4), 2016, p. 1304–1315, DOI: 10.1109/JSYST.2014.2344048.
[344] Suplisson A., Optimal Recovery Trajectories for Automatic Ground Collision Avoidance Systems (Auto GCAS), Air University, 2015.
[345] Swihart D.E., Barfield A.F., Griffin E.M., Lehmann R.C., et al., Automatic ground collision avoidance system design, integration, & flight test. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, nr 26(5), 2011, p. 4–11, DOI: 10. 1109/MAES.2011.5871385.
[346] Szajnar S.W., Ocena bezpieczeństwa i modelowanie w systemach awaryjnego opuszczania samolotu wojskowego, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2014, ISBN: 9788379380558.
[347] Szczeciński S., Balicki W., Glowacki P., Uszkodzenia silników turbinowych wywołane zderzeniami z ptakami. Przegląd Sił Powietrznych, nr 2(020), 2009, p. 15–21.

[348] Szewczak P., Meteorologia dla pilota samolotowego, Avia-Test, Poznań 2010, ISBN: 9788393141906.
[349] Szrama S., Zarządzanie ryzykiem zagrożeń w systemie utrzymania samolotów wielozadanowych F-16 - rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, 2019.
[350] Szrama S., Kadziński A., Hazard identification process implementation in selected analysis domain of the maintenance system of the multirole F-16 aircraft. Journal of Mechanical and Transport Engineering, nr 69(2), 2017, p. 69–86, DOI: 10.21008/j.2449-920X.2017.69.2.08.
[351] Szymanek A., Teoria i metodologia zarządzania ryzykiem w ruchu drogowym, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2012, ISBN: 9788373515055.
[352] Szymanek A., Bezpieczeństwo i ryzyko w technice, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2006.
[353] Szymaniec K., Systemowe zarządzanie ryzykiem zagrożeń w lotnictwie transportowym - rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, 2017.
[354] Szymczak J., Kolizje wojskowych statków powietrznych z ptakami na lotniskach w Polsce, w: *Ćwiklak J. (red.), Bezpieczeństwo Lotów w Aspekcie Ryzyka Kolizji Statków Powietrznych z Ptakami*, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2009, p. 28–38.
[355] Szymczak M., Biologiczna ochrona lotniska metodą sokolniczą - praca sokolnika, w: *Ćwiklak J. (red.), Bezpieczeństwo Lotów w Aspekcie Ryzyka Kolizji Statków Powietrznych z Ptakami*, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin 2009, p. 111–118.
[356] Taleb N., The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable, Random House, New York 2007.
[357] Ternov S., Akselsson R., A method, DEB analysis, for proactive risk analysis applied to air traffic control. Safety Science, nr 42(7), 2004, p. 657–673, DOI: 10.1016/j.ssci.2003.10.001.
[358] Think Magazine - University of Malta - Future Cockpit, https://www.um.edu.mt/think/future-cockpit/, [dostęp: 04.09.2018 r.].
[359] United States Air Force - Air Education and Training Command, AETC Tactics Techniques and Procedures 11-1 (AETCTTP 11-1). Employment Fundamentals T-38C - Introduction to Fighter Fundamentals (IFF), United States of America 2009.
[360] United States of America - Department of Defense, Risk Management Guide for DoD Acquisition, United States of America 2006.
[361] United States of America - Department of Defense, Standard Practice for System Safety MIL-STD-882D, United States of America 2000.
[362] United States of America - Department of the Air Force, Air Force Instruction 21-103 (AFI 21-103). Maintenance - Equipment Inventory, Status and Utilization Reporting, United States of America 2017.
[363] United States of America - Department of the Air Force, Air Force Manual 11-248 (AFMAN 11-248). Flying Operations - T6 Primary Flying, United States of America 2011.
[364] United States of America - Department of the Air Force, Air Force Instruction 90-802 (AFI 90-802). Special Management - Risk Management, 2013.

[365] United States of America - Department of the Air Force, Air Force Manual 11-217, vol. 2 (AFMAN 11-217V2). Flying Operations - Visual Flight Procedures, United States of America 2010.
[366] Urbański M., Rozumowania abdukcyjne. Modele i procedury, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2009, ISBN: 9788323221098.
[367] Urząd Lotnictwa Cywilnego, http://www.ulc.gov.pl/pl/247-aktualnosci/3854-zaproszenie-do-podpisania-deklaracji-just-culture, [dostęp: 21.08.2018 r.].
[368] USA Today - Ask the Captain: How has technology changed a pilot's job?, https://eu.usatoday.com/story/travel/columnist/cox/2015/09/27/cockpit-electronics-autopilot/72794120/, [dostęp: 04.09.2018 r.].
[369] Ustawa o powszechnym obowiązku obrony Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 21.11.1967 r., Dz. U. z 2004 r. Nr 241, poz. 2416.
[370] Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. - Prawo lotnicze, Dz. U. z 2017 r. poz. 959, z późniejszymi zmianami.
[371] Vincoli J.W., Basic Guide to System Safety, John Wiley & Sons Inc., 2014, ISBN: 9781118904589.
[372] Vladimir H., Ernst E., Theory of Technical Systems. A Total Concept Theory for Engineering Design, Springer-Verlag, Berlin 1988.
[373] Walczak W., Fotele katapultowe, Centrum Szkolenia Inżynieryjno Lotniczego, Oleśnica 1996.
[374] Wasson C.S., System engineering analysis, design, and development. Concepts, principles, and practices, John Wiley & Sons, Inc., 2006, ISBN: 1118442261.
[375] Ważny M., Wojtowicz K., The analysis of the military aircraft maintains system and the modernization proposal. Maintenance and Reliability, nr 3, 2008, p. 4–11.
[376] Wears R.L., Roberts K.H., Special issue, Safety Science, High reliability organizations and resilience engineering. Safety Science, 2018, p. [w procesie wydawniczym], DOI: 10.1016/j.ssci.2018.03.017.
[377] Weick K.E., Sutcliffe K.M., Obstfeld D., Organizing for High Reliability: Processes of Collective Mindfulness. Research in Organizational Behavior, nr 21(1), 1999, p. 81–123, DOI: 10.1177/0020764009106599.
[378] Weiner E.L., Nagel D.C., Human factors in aviation, Academic Press, Inc., San Diego, USA 1988.
[379] Wesołowski M., Barszcz P., Blacha K., Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni lotniskowych jednym z parametrów oceny bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Journal of KONBiN, nr 42, 2017, p. 283–303, DOI: 10.1515/jok-2017-0030.
[380] Wikipedia Wolna Encyklopedia, https://pl.wikipedia.org/wiki/Eskadra_(lotnictwo), [dostęp: 19.07.2018 r.].
[381] Williams J. C, HEART – A proposed method for achieving high reliability in process operation by means of human factors engineering technology, w: *Proceedings of a Symposium on the Achievement of Reliability in Operating Plant*, Safety and Reliability Society, Birmingham 1985.

[382] Williams J. C, A data-based method for assessing and reducing human error to improve operational performance, w: *Conference Record for 1988 IEEE Fourth Conference on Human Factors and Power Plants*, Monterey 1988, p. 436–450.
[383] Williams J. C, Toward an improved evaluation analysis tool for user of HEART, w: *Proceedings of International Conference on Hazard Identification and Risk Analysis, Human Factors and Human Reliability in Process Safety*, New York 1992.
[384] Woods D.D., Four concepts for resilience and the implications for the future of resilience engineering. Reliability Engineering & System Safety, nr 141, 2015, p. 5–9.
[385] WP Wiadomości - Pilot MiG-a po lądowaniu zemdlał i trafił do szpitala. Po pół roku wciąż nie wrócił do służby, https://wiadomosci.wp.pl/pilot-mig-a-po-ladowaniu-zemdlal-i-trafil-do-szpitala-po-pol-roku-wciaz-nie-wrocil-do-sluzby-6307021525555329a, [dostęp: 18.10.2018 r.].
[386] Xiao S., Zhang G., Rapid Development of China Aviation Life-Support Equipment R&D Center, w: *Proceedings - Annual SAFE Symposium (Survival and Flight Equipment Association)*, Jacksonville, FL 2003, p. 359–364.
[387] Yang X., Zhang Z., Xing Y., Yang J., et al., A new theoretical model of aircraft arresting system based on polymeric foam material. Aerospace Science and Technology, nr 66, 2017, p. 284–293, DOI: 10.1016/j.ast.2017.03.019.
[388] Yodo N., Wang P., Zhou Z., Predictive Resilience Analysis of Complex Systems Using Dynamic Bayesian Networks. IEEE Transactions on Reliability, nr 66(3), 2017, p. 761–770, DOI: 10.1109/TR.2017.2722471.
[389] Zabłocki E., Siły powietrzne, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2007.
[390] Załęski K., Kozuba J., Rajchel J., Bezpieczeństwo w transporcie lotniczym. Wybrane problemy, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2018.
[391] Zhang Z.Q., Yang J.L., Improving safety of runway overrun through foamed concrete aircraft arresting system: An experimental study. International Journal of Crashworthiness, nr 20(5), 2015, p. 448–463, DOI: 10.1080/13588265.2015.1033971.
[392] Zheng L., Xie J., Qian S., Risk prediction method of aircraft hard landing based on flight data, w: *Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World. Proceedings of the 28th International European Safety and Reliability Conference (ESREL 2018)*, 2018, p. 1827–1832.
[393] Zieja M., Gołda P., Wybrane aspekty systemu zarządzania bezpieczeństwem. Logistyka, nr 4, 2014, p. 2600–2608.
[394] Zieja M., Smoliński H., Gołda P., Proactive methods - New quality in aircraft flight safety management. Journal of KONBiN, nr 36, 2015, p. 105–113, DOI: 10.1515/jok-2015-0060.
[395] Zwetsloot G.I.J.M., Aaltonen M., Wybo J.L., Saari J., et al., The case for research into the zero accident vision. Safety Science, nr 58, 2013, p. 41–48, DOI: 10.1016/j.ssci.2013.01.026.

[396] Zwetsloot G.I.J.M., Kines P., Ruotsala R., Drupsteen L., et al., The importance of commitment, communication, culture and learning for the implementation of the Zero Accident Vision in 27 companies in Europe. Safety Science, nr 96, 2017, p. 22–32, DOI: 10.1016/j.ssci.2017.03.001.

[397] Zwetsloot G.I.J.M., Kines P., Wybo J.L., Ruotsala R., et al., Zero Accident Vision based strategies in organisations: Innovative perspectives. Safety Science, nr 91, 2017, p. 260–268, DOI: 10.1016/j.ssci.2016.08.016.

[398] Zwetsloot G.I.J.M., Leka S., Kines P., Vision zero: From accident prevention to the promotion of health, safety and well-being at work. Policy and Practice in Health and Safety, nr 15(2), 2017, p. 88–100, DOI: 10.1080/14773996. 2017.1308701.

ZAŁĄCZNIKI

ZAŁĄCZNIK Z1	–	Baza pojęć rozprawy
ZAŁĄCZNIK Z2	–	Charakterystyka modelu uogólnionego systemu technicznego
ZAŁĄCZNIK Z3	–	Rysunki i tabele do rozdziału 3. rozprawy (płyta CD)
ZAŁĄCZNIK Z4	–	Arkusz identyfikacji zagrożeń HIM (*Hazard Identification Model*) Plik *Arkusz_HIM.xlsx* przygotowany w programie MS Excel (płyta CD)
ZAŁĄCZNIK Z5	–	Karty charakterystyki zagrożeń zidentyfikowanych w domenie zadanie lotnicze (D4) systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4
ZAŁĄCZNIK Z6	–	Karta informacji o ryzyku zagrożeń

ZAŁĄCZNIK Z1
BAZA POJĘĆ ROZPRAWY[1]

Z1.1. Pojęcia dotyczące użytkowania statków powietrznych

Dobieg – ostatnia operacja procesu lądowania, w której samolot zmniejsza swą prędkość ruchu postępowego od wartości prędkości przyziemienia do momentu całkowitego zatrzymania lub do momentu osiągnięcia prędkości zapewniającej bezpieczne kołowanie [246].

Kołowanie – zamierzony ruch samolotu po powierzchni lotniska (lądowiska) przy użyciu mocy własnej (wyłączając start i lądowanie) [90, 173].

Lądowanie – proces obejmujący ruch samolotu począwszy od osiągnięcia prędkości lotu szybowego na wysokości 15 m (50 ft) AGL do momentu wyhamowania prędkości postępowej po przyziemieniu, zapewniającej bezpieczne kołowanie. Lądowanie samolotu obejmuje: lot szybowy, wyrównanie, wytrzymanie, przyziemienie, dobieg [246].

Lot – jest to etap misji lotniczej obejmujący ruch statku powietrznego w przestrzeni powietrznej od momentu zdarzenia jego oderwania się od powierzchni drogi startowej do momentu zdarzenia jego przyziemienia (ponownego zetknięcia z ziemią) na powierzchni drogi startowej [16].

Lotnictwo wojskowe – ogół wojskowych statków powietrznych (samolotów, śmigłowców, bezzałogowych statków powietrznych) przeznaczonych do wykonywania różnych funkcji wojskowych takich jak: niszczenie celów powietrznych, naziemnych i morskich, rozpoznanie powietrzne, transport powietrzny, zadania specjalne i pomocnicze [75, 134, 389].

Misja lotnicza – jest to główna część cyklu czynności lotniczych pilota obejmująca szereg następujących po sobie w określonej kolejności procesów, operacji i zdarzeń od momentu zdarzenia przyjęcia statku powietrznego przez pilota do momentu zdarzenia opuszczenia kabiny statku powietrznego przez pilota [16].

Oderwanie – oddzielenie samolotu od drogi startowej, zdarzenie zakończenia rozbiegu samolotu w procesie startu.

Przyziemienie – zdarzenie zetknięcia kół głównych goleni podwozia samolotu z powierzchnią drogi startowej w procesie lądowania.

Rozbieg – jedna z operacji procesu startu samolotu, podczas której rozpędza się on od prędkości zerowej do prędkości oderwania.

---

[1] Podkreśleniem oznaczono pojęcia, których brzmienia zostały wybrane przez autora jako właściwe dla poprawnego rozumienia treści rozprawy

Start – ruch przyśpieszony samolotu, od prędkości zerowej w chwili rozpoczęcia startu do minimalnej prędkości wznoszenia, którą uzyskuje on na wysokości 15 m (50 ft) AGL. Start samolotu obejmuje: rozbieg, oderwanie i wznoszenie początkowe [246].

Samolot – statek powietrzny o własnym napędzie silnikowym cięższy od powietrza, uzyskujący swoją siłę nośną w locie głównie na skutek reakcji aerodynamicznych na powierzchnie, które pozostają nieruchome w danych warunkach lotu [173].

Statek powietrzny – urządzenie zdolne do unoszenia się w atmosferze na skutek oddziaływania powietrza innego niż oddziaływanie powietrza odbitego od podłoża [90, 173].

Wojskowy statek powietrzny – statek powietrzny użytkowany przez Siły Zbrojne RP oraz wpisany do rejestru wojskowych statków powietrznych [91].

Wyrównanie – jedna z operacji w procesie lądowania, w której następuje zakrzywienie toru lotu i samolot przechodzi z szybowania pod pewnym kątem do lotu poziomego. Wyrównanie powinno rozpocząć się na wysokości ok. 7-10 m nad powierzchnią drogi startowej, a zakończyć na wysokości 0,5-0,2 m nad powierzchnią drogi startowej [246].

Wytrzymanie – jedna z operacji w procesie lądowania, w której samolot utrzymywany jest w locie z niewielkim, stopniowym zmniejszaniem wysokości (prawie lot poziomy), z dużym kątem natarcia w bezpośredniej bliskości ziemi (powierzchni drogi startowej), ze stopniowo zmniejszającą się prędkością postępową do uzyskania prędkości przyziemienia. Trwa od wysokości zakończenia wyrównania do zdarzenia przyziemienia [246].

Zadanie lotnicze – jest główną fazą lotu i stanowi zespół określonych, docelowych działań pilota/pilotów podczas lotu w wyznaczonym terminie i obszarze, realizowanych dla osiągnięcia założonych celów misji lotniczej takich jak m.in.: szkoleniowe, treningowe, operacyjne lub bojowe. Określane jest przez przełożonego, instruktora lub lidera ugrupowania/formacji i realizowane przez pilota jako operatora statku powietrznego [16].

Załoga statku powietrznego – zespół osób wyznaczonych i posiadających kwalifikacje do wykonania określonych czynności na pokładzie statku powietrznego w czasie misji lotniczej. Pod pojęciem załogi należy również rozumieć pilota jednoosobowego statku powietrznego [94].

Z1.2. Pojęcia dotyczące systemów bezpieczeństwa

Atrybuty elementów systemów bezpieczeństwa – cechy charakteryzujące elementy systemów bezpieczeństwa podzielone na atrybuty niższego rzędu (własności elementów systemów bezpieczeństwa) i atrybuty wyższego rzędu (właściwości elementów systemów bezpieczeństwa) [118].

Domena systemu bezpieczeństwa (1) – zakres oddziaływania systemu bezpieczeństwa w obszarze analiz tego systemu [118].

Domena systemu bezpieczeństwa (2) – zbiór składowych obszarów analiz systemów bezpieczeństwa, na które oddziałuje system bezpieczeństwa [118].

Elementy systemów bezpieczeństwa – elementy systemów pełniące funkcje bezpieczeństwa [118].

Funkcja bezpieczeństwa – sposób reagowania elementu systemu bezpieczeństwa na obecność, stan, własności składowych domen tego systemu [118].

Obszar analiz systemu bezpieczeństwa – przestrzeń zainteresowań wyróżniona na potrzeby modelowania systemu bezpieczeństwa obejmująca ten system i jego otoczenie (nadsystem systemu bezpieczeństwa). Obszar analiz składa się z elementów: środowiska (otoczenia), człowieka (ludzi), techniki w związku z którymi osobno lub w ich różnych kombinacjach mogą pojawiać się źródła zagrożeń [188].

System bezpieczeństwa (1) – rodzaj systemu definiowany przez trzy składowe [190]:

- cel systemu – racjonalizacja ryzyka zagrożeń w obszarach analiz, tak aby dla zagrożeń w nich zidentyfikowanych zapewnić akceptowany lub tolerowany poziom ryzyka;
- elementy systemu – człowiek (np. operator techniki, uczestnik procesów, współużytkownik infrastruktury), elementy materialne (np. elementy techniki, elementy infrastruktury, elementy środowiska naturalnego, systemy ratownictwa itp.) i elementy niematerialne (np. prawo, normy, wytyczne, metody, strategie, procedury, modele itp.);
- struktura systemu – zbiór relacji miedzy elementami systemu dla osiągania jego celu.

System bezpieczeństwa (2) – zespół środków redukcji ryzyka, stanowiący celowo zorientowaną całość [118].

Środki redukcji ryzyka – elementy systemów (głównie systemów bezpieczeństwa) oddziałujące na źródła zagrożeń [118].

Własności elementów systemów bezpieczeństwa – cechy charakteryzujące elementy systemów bezpieczeństwa, które są niezmienne i niezależne od relacji z innymi elementami domen systemów bezpieczeństwa [118].

Właściwości elementów systemów bezpieczeństwa – cechy, których wartości miar je opisujących są zmienne. Wynika to z ich interakcji z różnymi elementami domen systemów bezpieczeństwa, szczególnie interakcji ze źródłami zagrożeń [118].

Z1.3. Pojęcia dotyczące zarządzania ryzykiem zagrożeń

Cecha zagrożenia – zmienna, której wartości służą do określenia składowej ryzyka zagrożenia. Przez cechy zagrożenia rozumie się m.in.: historię aktywizacji zagrożenia w domenie/obszarze analiz, prawdopodobieństwa aktywizacji zagrożenia, rozległość strat/szkód generowanych w obszarze analiz w wyniku aktywizacji zagrożenia, liczbę osób poszkodowanych w wyniku aktywizacji zagrożenia, wielkości narażeń generowanych przez źródła zagrożenia [188].

Domena analiz (obszar analiz) – wyróżniona przestrzeń zainteresowań składająca się z trzech podstawowych elementów: środowiska, człowieka (ludzi), techniki, w związku z którymi osobno lub w ich różnych kombinacjach mogą pojawiać się źródła zagrożeń [188].

Miara ryzyka – wynik przyjętego modelu ryzyka wskazujący na właściwości lub cechy systemu bezpieczeństwa, które można zmierzyć lub odwzorować w poziomach ryzyka [182, 190].

Model ryzyka – sposób odwzorowania istotnych ze względu na bezpieczeństwo właściwości domeny/obszaru analiz istniejącego w warunkach zagrożeń, za pomocą skończonego zbioru symboli oraz relacji matematycznych lub logicznych, zawierający funkcję przejścia od zbioru zagrożeń do zbioru zdarzeń niepożądanych, z uwzględnieniem ich skutków (strat/szkód) i niepewności [190].

Narażenie – wyrażona ilościowo lub jakościowo charakterystyka zagrożenia wynikająca z oddziaływania źródeł zagrożeń rozpoznanych w domenie/obszarze analiz [188].

Ocena ryzyka zagrożenia zidentyfikowanego w domenie/obszarze analiz – przy zastosowaniu wybranego modelu ryzyka – określenie (wyznaczenie) wartości miary ryzyka (w skrócie – oszacowanie ryzyka) oraz jej przyporządkowanie do jednego z poziomów ryzyka zastosowanego modelu [188].

Odbiorca/odbiornik narażeń – element domeny/obszaru analiz, na który oddziałują źródła zagrożenia [122].

Ryzyko (1) – to możliwość wystąpienia zdarzenia lotniczego spowodowana istniejącym lub potencjalnym zagrożeniem z uwzględnieniem prawdopodobieństwa jego wystąpienia oraz przewidywanych skutków [94, 166].

Ryzyko (2) – możliwość zaistnienia zdarzenia przy uwzględnieniu częstości (prawdopodobieństwa) i skutków wystąpienia zagrożeń [199].

Ryzyko zagrożenia (1) – kombinacja poziomów możliwości aktywizacji (materializacji) zagrożenia w zdarzeniu niepożądanym i/lub poziomu jego skutków lub konsekwencji (strat/szkód) [190, 352].

Ryzyko zagrożenia (2) – iloczyn poziomu możliwości (prawdopodobieństwa) aktywizacji (materializacji) zagrożenia w zdarzeniu niepożądanym i poziomu jego skutków lub konsekwencji (strat/szkód) [190].

System zarządzania bezpieczeństwem – cześć systemu zarządzania organizacji, który obejmuje struktury organizacji, planowanie, odpowiedzialność, zasady postępowania, procesy, procedury i zasoby potrzebne do opracowania, wdrażania, realizowania, monitorowania i utrzymywania zadeklarowanej przez organizację polityki bezpieczeństwa i jej celów [190].

Strata/szkoda – utrata życia, uraz fizyczny lub uszczerbek na zdrowiu, utrata lub zniszczenie mienia, degradacja środowiska, straty ekonomiczne itp. [181, 190, 352].

Wycena ryzyka (wartościowanie ryzyka, ewaluacja ryzyka) w obszarze analiz – sprawdzenie (przez porównywanie, wartościowanie) do jakiej kategorii (klasy) ryzyka (akceptowane, tolerowane, nieakceptowane) należy ryzyko oszacowane (określone) podczas analizy ryzyka [188].

Zagregowana domena analiz – rozbudowana domena analiz skomponowana z kilku pojedynczych domen analiz, które z osobna można traktować jako obszary do prowadzenia badań. Opracowanie własne.

Zagrożenie (1) – warunkowa możliwość ujawnienia się strat/szkód [288].

Zagrożenie (2) – stan obszaru analiz mogący spowodować wypadek lub chorobę (straty/szkody) [289].

Zagrożenie (3) – hipotetyczny stan obszaru analiz prowadzący do zdarzeń niepożądanych [118].

Zagrożenie (4) – to każde realne lub potencjalne warunki, które mogą spowodować obniżenie poziomu wykonywanego zadania, obrażenia, chorobę lub śmierć ludzi, uszkodzenie lub utratę sprzętu czy innego mienia [199].

Zarządzanie ryzykiem zagrożeń w domenie/obszarze analiz – systematyczna realizacja polityki zarządzania z wdrażaniem procedur i praktycznym działaniem, mająca na celu sprowadzenie ryzyka do racjonalnego poziomu, a obejmująca analizowanie ryzyka, wycenę ryzyka oraz reagowanie na ryzyko [190, 352].

Zdarzenie niepożądane – zdarzenie, które może spowodować stratę/szkodę w wyniku aktywizacji (materializacji) zagrożenia [182, 292].

Źródła zagrożenia (zwane także w literaturze czynnikami zagrożenia, czynnikami ryzyka, ich część nazywana jest czynnikami niebezpiecznymi, szkodliwymi lub uciążliwymi) – twory (np. fizyczne, chemiczne, biologiczne, psychologiczne, organizacyjne, osobowe), których obecność we wskazanej domenie/obszarze analiz, stan, właściwości itp. są powodem (źródłem) sformułowania zagrożenia [190].

Z1.4. Pojęcia dotyczące niezawodności oraz eksploatacji systemów i obiektów

Byt – pojęcie abstrakcyjne stosowane m.in. w filozofii, teorii systemów, modelowaniu matematycznym do wyróżnienia pewnych obiektów i zjawisk w zbiorze innych obiektów [53].

Eksploatacja (1) – w sensie fazy istnienia obiektu lub systemu – okres życia obiektu lub systemu rozpoczynający się z chwilą przejęcia ich przez użytkownika i trwający do chwili kasacji [254].

Eksploatacja (2) – w sensie działania – zespół działań technicznych i organizacyjnych mających na celu umożliwienie obiektowi lub systemowi wypełnianie wymaganych funkcji, włącznie z koniecznym dostosowywaniem się do zmian warunków zewnętrznych [254].

Eksploatacja (3) – w nomenklaturze wojskowej – zespół celowych działań organizacyjno-technicznych i ekonomicznych ludzi ze sprzętem wojskowym oraz wzajemne relacje występujące miedzy nimi, od chwili wprowadzenia sprzętu wojskowego do wykorzystania przez siły zbrojne zgodnie z przeznaczeniem, aż do chwili jego wycofania [91, 223].

Eksploatacja wojskowych statków powietrznych – działania realizowane na zbiorze wojskowych statków powietrznych przez zespoły ludzkie kierowane (dowodzonych) w sposób dyrektywny, których zadaniem jest realizacja celów militarnych: w czasie pokoju utrzymanie statków powietrznych i pilotów w stanie gotowości do użycia poprzez realizację szkolenia lotniczego (szkolnych misji lotniczych); w czasie wojny umożliwienie realizacji bojowych misji lotniczych. Opracowanie własne na podstawie [225].

Metamodel – model modeli, określenie szczególnie przydatne przy badaniach dużych systemów. Opracowanie własne.

Model – uproszczona reprezentacja systemu, w czasie i przestrzeni, stworzona w zamiarze zrozumienia zachowania systemu rzeczywistego [49, 50].

Model systemu eksploatacji statków powietrznych – taki układ odzwierciedlający lub odtwarzający funkcjonowanie lotniczych struktur z takim przybliżeniem, które może go zastąpić w taki sposób, że jego badanie dostarcza nowych informacji [224].

Modelowanie – wyszukiwanie w systemie cech i związków istotnych ze względu na dany cel [49, 50].

Modelowanie systemu eksploatacji statków powietrznych – konstruowanie modelu, czyli proces dokonywania wyboru elementów, które odznaczają się cechami istotnymi z uwagi na przyjęte kryterium dla modelu i procesu poznawczego, zapewniające taka postać programu badania modelu, który pozwoli uzyskać zakładany efekt [224].

Obiekt techniczny (w ujęciu systemowym) – byt złożony lub system, w którym na niższych poziomach dekompozycji definiuje się komponenty (komponenty/obiekty odnawiane – układy zespoły, podsystemy; komponenty/obiekty nieodnawiane – podsystemy, elementy, powierzchnie robocze elementów) lub podsystemy. Wzajemne relacje między komponentami/obiektami i podsystemami tworzą struktury, np. strukturę konstrukcyjną, funkcjonalną, niezawodnościową, diagnostyczną [201, 254, 256, 314].

Para antropotechniczna – elementarny system antropotechniczny składający się z obiektu technicznego oraz człowieka będącego zazwyczaj operatorem tego obiektu technicznego. Opracowanie własne.

Stan niezawodnościowy statku powietrznego – właściwość, która określa jakość wykonywania przez dany statek powietrzny stawianych mu zadań, przy uwzględnieniu losowych zmian charakterystyk funkcjonalnych wynikających z oddziaływania otoczenia i czasu [225]. W rozprawie wyróżniono nastepujące stany niezawodnościowe: zdatny bez ograniczeń, zdatny z ograniczeniami oraz niezdatny [91].

System (1) – byt będący zbiorem elementów z określonymi własnościami i relacjami, stanowiący jedną całościową całość [49, 50].

System (2) – byt przejawiający istnienie przez synergiczne współdziałanie swych elementów [49, 50].

System (3) – zbiór (kompleks, zespół) współdziałających ze sobą elementów, stanowiący celowo zorientowaną całość [23, 49, 147, 259].

System (4) – zorganizowana, celowa struktura, która składa się ze wzajemnie powiązanych i współzależnych elementów oraz powiązanych z nimi polityk, procedur i praktyk stworzonych w celu przeprowadzenia określonej czynności lub rozwiązania problemu [169].

System eksploatacji – byt, w ramach którego odbywa się eksploatacja (w sensie działania) obiektu lub systemu obejmująca ich użytkowanie i utrzymanie [254].

System lotnictwa taktycznego – byt militarny stanowiący synergiczny zbiór elementów hierarchicznej struktury organizacyjnej, personelu osobowego oraz samolotów lotnictwa taktycznego, jako złożonych obiektów technicznych uczestniczących w procesie eksploatacji [14].

System obiektów technicznych – zbiór wydzielonych obiektów technicznych i innych bytów (elementów), charakteryzowanych zbiorami atrybutów, powiązanych relacjami, a współistniejących w pewnym otoczeniu w celu spełniania określonej potrzeby [253, 254, 374].

System socjotechniczny – system składający się z podsystemu technicznego, organizacyjnego i zespołów ludzkich [224].

Utrzymanie statku powietrznego – (bezpośrednia eksploatacja) działania polegające na zindywidualizowanym kontakcie technika (określonej specjalności) ze statkiem powietrznym mające na celu utrzymanie go w stanie umożliwiającym/gwarantującym jego użytkowanie. Obejmuje ono m.in.: alimentację w środki energetyczno-materiałowe, wykonywanie różnego rodzaju obsług, diagnozowanie, remonty, przechowywanie, itp. Pojęcie często utożsamiane z obsługiwaniem jednak obejmujące znacznie szerszy zakres działań. Opracowanie własne na podstawie [223].

Użytkowanie statku powietrznego – (bezpośrednia eksploatacja) działania polegające na zindywidualizowanym kontakcie pilota ze statkiem powietrznym i wykonywaniu przez niego czynności operatorskich celem realizacji misji lotniczych. Opracowanie własne na podstawie [227].

ZAŁĄCZNIK Z2
CHARAKTERYSTYKA MODELU UOGÓLNIONEGO SYSTEMU TECHNICZNEGO

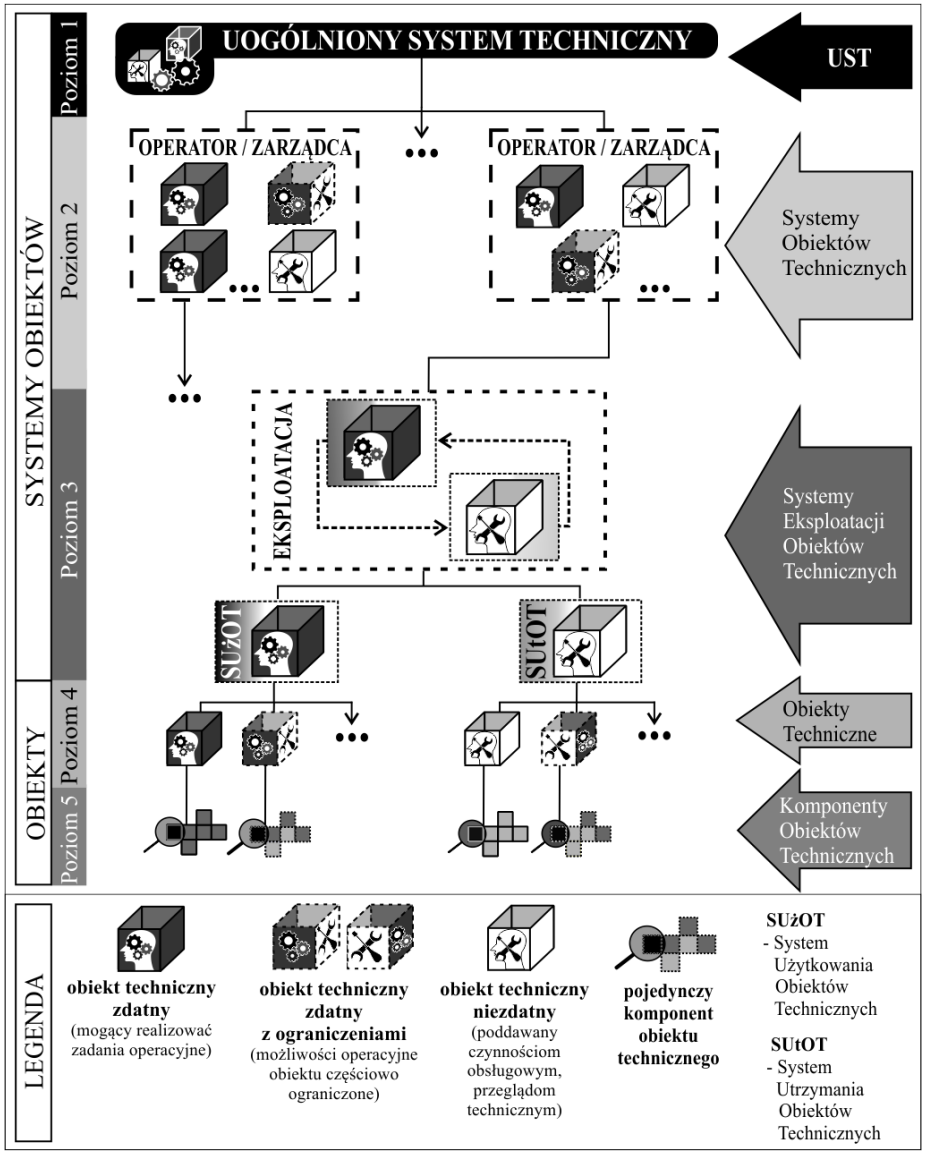
Budowa modelu uogólnionego systemu technicznego (UST) [13] jest oparta na dowolnych obiektach technicznych. Model został zapisany w postaci struktury drzewiastej dekomponującej UST na pięć poziomów (rys. Z2.1). Przyjęcie takiego sposobu dekompozycji dało m.in. możliwość zachowania taksonomii poszczególnych obiektów/systemów występujących na każdym z poziomów dekompozycji oraz prezentuje pewne zasady zorganizowania i funkcjonowania systemów w systemach, obiektów technicznych w systemach, czy też komponentów w systemach. Z użyciem symboli (tzw. *box*-ów wyjaśnionych w legendzie modelu – rys. Z2.1) UST zdekomponowano na poziomy od 1 do 5 [13].

Poziom 1 (rys. Z2.1) – pełni w głównej mierze funkcję tytularną. W zamyśle autorów pracy [13] ma stanowić miejsce na wskazanie domeny analiz, z którą pokrywa się potencjalny nowy system techniczny – projektowany z użyciem modelu UST.

Poziom 2 (rys. Z2.1) **–** to miejsce na zaprezentowanie **Systemów Obiektów Technicznych**, tzn. systemów pokazujących sposób zorganizowania czy też podziału obiektów technicznych przez określonego operatora/zarządcę.

Poziom 3 (rys. Z2.1) – stanowią **Systemy Eksploatacji Obiektów Technicznych**. Z założenia w nowo projektowanym systemie mają tutaj być integrowane **Systemy Użytkowania Obiektów Technicznych** (SUżOT) i **Systemy Utrzymania Obiektów Technicznych** (SUtOT). Istotnym na tym poziomie jest zaprezentowanie mechanizmu funkcjonowania eksploatacji obiektów technicznych, która ogólnie opiera się na użytkowaniu obiektów technicznych w SUżOT oraz ich utrzymaniu w SUtOT, a także na „wędrówce" obiektów technicznych pomiędzy SUżOT i SUtOT. W określonym czasie, obecność obiektu technicznego w jednym z systemów systemu eksploatacji wynika z jego stanu niezawodnościowego [244, 254].

Poziom 4 (rys. Z2.1) – to efekt podziału Systemu Eksploatacji Obiektów Technicznych na SUżOT i SUtOT. Na tym poziomie istnieje możliwość zaprezentowania dominujących w danej domenie analiz **Obiektów Technicznych** z uwzględnieniem ich stanu niezawodnościowego. Model UST definiuje stany niezawodnościowe w sposób ogólny, dzieląc je na: stan pełnej zdatności technicznej, stan zdatności technicznej z ograniczeniami (stan częściowej zdatności technicznej) oraz stan niezdatności technicznej. W każdym nowo projektowanym systemie technicznym – bazującym na modelu UST – możliwym jest stosowanie dowolnego nazewnictwa stanów niezawodnościowych obiektów technicznych zależnie od frazeologii dedykowanej wybranej domenie analiz.



Rysunek Z2.1. Schemat ideowy modelu uogólnionego systemu technicznego [13]

Poziom 5 (rys. Z2.1) – prezentuje **Komponenty Obiektów Technicznych** właściwych dla wybranej domeny analiz. Obiekt techniczny to zazwyczaj setki części i ich powierzchni roboczych, podzespołów, zespołów, układów, modułów. Pomimo, że ten poziom dekompozycji występuje pod nazwą Komponenty Obiektów Technicznych, to warto podkreślić, że współczesne obiekty technicz-

ne to systemy synergicznie ze sobą powiązanych systemów kilku rzędów [232] o celowo zaprojektowanych funkcjach.

Model UST, spaja systemy, obiekty oraz ich komponenty partycypujące w ramach technicznego punktu widzenia w określonej domenie analiz. W miejscu jakie na schemacie zajmuje każdy *box* można umieścić pewien dowolny obiekt techniczny (autobus, tramwaj, wagon, samolot itp.) i idąc „drogą" zaprezentowaną w pracy [13] zaprojektować strukturę (model) nowego systemu technicznego. Niezbędna jest tutaj przede wszystkim specjalistyczna wiedza ekspercka z zakresu struktur, organizacji, funkcjonowania i eksploatacji obiektów technicznych związanych z określoną domeną analiz. Zapis modelu UST oraz inżynieria systemów obiektów technicznych [13] umożliwiają szersze wykorzystanie koncepcji tworzenia systemów opartych na dowolnych obiektach technicznych. Model UST stanowi pewnego rodzaju matrycę, którą można implementować do różnych domen analiz, w których występują obiekty techniczne, celem ich uporządkowania oraz klarownego i koherentnego zaprezentowania. Ponadto model UST może również stanowić matrycę do tworzenia metamodeli [212] systemów technicznych w sytuacji gdy na poszczególnych poziomach dekompozycji systemu w danej domenie analiz prezentowane będą elementy (obiekty, systemy obiektów) które również dają się przedstawić za pośrednictwem odpowiednich modeli. Słuszność takiego stwierdzenia wykazano w pracach [15, 17].

ZAŁĄCZNIK Z3

RYSUNKI I TABELE DO
ROZDZIAŁU 3. ROZPRAWY

(płyta CD)

ZAŁĄCZNIK Z4

ARKUSZ IDENTYFIKACJI ZAGROŻEŃ
HIM (*Hazard Identification Model*)
PLIK
Arkusz_HIM.xlsx
PRZYGOTOWANY
W PROGRAMIE MS EXCEL

(płyta CD)

ZAŁĄCZNIK Z5
KARTY CHARAKTERYSTKI ZAGROŻEŃ ZIDENTYFIKOWANYCH W DOMENIE ZADANIE LOTNICZE (D4) SYSTEMU UŻYTKOWANIA SAMOLOTÓW LOTNICTWA TAKTYCZNEGO Su-22M4

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#06(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

ID ZAGROŻENIA		**H_06(D4)**		
SFORMUŁOWANIE ZAGROŻENIA		**Możliwość pojawienia się strat związanych z utratą samolotu po katapultowaniu się pilota**		
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)		<M2_4.*.*_1/R>**&**<M1_4.1.1_2/G>**&**(D4_AHS#5/T>		
		HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**
	HS	<M2_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	<M1_4.1.1_2/G>	*GENERATOR*	*Utrata kontroli nad samolotem*
	HS	(D4_AHS#5/T>	*TRIGGER*	*Katapultowanie*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)		Zderzenie samolotu z ziemią		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA		Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu		
O				O

Rysunek Z5.1. Karta charakterystyki zagrożenia H_6 – ID: H_06(D4)

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#07(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

ID ZAGROŻENIA		**H_07(D4)**		
SFORMUŁOWANIE ZAGROŻENIA		**Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem samolotu (po katapultowaniu) z obiektem infrastruktury naziemnej wewnątrz którego znajdują się ludzie**		
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)		<M2_4.*.*_1/R>**&**<M3_4.*.*_1/R>**&**<M3_4.*.*_2/R>**&**<M1_4.1.1_2/G>**&**(D4_AHS#5/T>		
		HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**
	HS	<M2_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	<M3_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Ludzie*
	HS	<M3_4.*.*_2/R>	*RECEIVER*	*Obiekt infrastruktury naziemnej*
	HS	<M1_4.1.1_2/G>	*GENERATOR*	*Utrata kontroli nad samolotem*
	HS	(D4_AHS#5/T>	*TRIGGER*	*Katapultowanie*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)		Zderzenie samolotu z obiektem infrastruktury naziemnej wewnątrz którego znajdują się ludzie		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA		Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Straty materialne wynikające ze zniszczenia obiektu infrastruktury naziemnej (typu szkoła, kościół, itp.) Śmierć lub uszczerbek na zdrowiu ludzi przebywających wewnątrz obiektu infrastruktury naziemnej (typu szkoła, kościół, itp.)		
O				O

Rysunek Z5. 2. Karta charakterystyki zagrożenia H_7 – ID: H_07(D4)

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#08(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

ID ZAGROŻENIA		**H_08(D4)**		
SFORMUŁOWANIE ZAGROŻENIA		**Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem samolotu (po katapultowaniu) z obiektem infrastruktury krytycznej**		
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)		<M2_4.*.*_1/R>**&**<M3_4.*.*_3/R>**&**<M3_4.*.*_1/R>**&**<M1_4.1.1_2/G>**&**(D4_AHS#5/T>		
		HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**
	HS	<M2_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	<M4_4.*.*_3/R>	*RECEIVER*	*Obiekt infrastruktury krytycznej*
	HS	<M3_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Ludzie*
	HS	<M1_4.1.1_2/G>	*GENERATOR*	*Utrata kontroli nad samolotem*
	HS	(D4_AHS#5/T>	*TRIGGER*	*Katapultowanie*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)		Zderzenie samolotu z obiektem infrastruktury krytycznej		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA		Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Straty materialne wynikające ze zniszczenia obiektu infrastruktury krytycznej (typu elektrownia, rafineria, itp.) Śmierć lub uszczerbek na zdrowiu ludzi zamieszkujących otoczenie obiektu infrastruktury krytycznej (typu elektrownia, rafineria, itp.) Straty materialne ludzi zamieszkujących otoczenie obiektu infrastruktury krytycznej (typu elektrownia, rafineria, itp.)		
O				O

Rysunek Z5.3. Karta charakterystyki zagrożenia H_8 – ID: H_08(D4)

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#09(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

ID ZAGROŻENIA		**H_09(D4)**		
SFORMUŁOWANIE ZAGROŻENIA		**Możliwość pojawienia się strat spowodowanych pożarem elementu środowiska naturalnego po zderzeniu z nim samolotu (po katapultowaniu)**		
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)		<M2_4.*.*_1/R>**&**<M3_4.*.*_4/R>**&**<M1_4.1.1_2/G>**&**(D4_AHS#5/T>		
		HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**
	HS	<M2_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	<M3_4.*.*_3/R>	*RECEIVER*	*Element środowiska naturalnego*
	HS	<M1_4.1.1_2/G>	*GENERATOR*	*Utrata kontroli nad samolotem*
	HS	(D4_AHS#5/T>	*TRIGGER*	*Katapultowanie*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)		Zderzenie samolotu z elementem środowiska naturalnego		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA		Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Straty środowiskowe wynikające z pożaru elementu środowiska naturalnego (typu las)		
O				O

Rysunek Z5.4. Karta charakterystyki zagrożenia H_9 – ID: H_09(D4)

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#12(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

ID ZAGROŻENIA		**H_12(D4)**		
SFORMUŁOWANIE ZAGROŻENIA		**Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem samolotu z ziemią w wyniku wejścia samolotu w korkociąg poniżej wysokości zapewniającej bezpieczne wyprowadzenie z korkociągu**		
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)		<M1_4.*.*_1/R>**&**<M2_4.*.*_1/R>**&**<M4_4.*.*_1/R>**&**<M4_4.2.2_8/G>**&**(D4_AHS#11/T>		
		HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**
	HS	<M1_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*
	HS	<M2_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	<M4_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Misja lotnicza*
	HS	<M4_4.2.2_8/G>	*GENERATOR*	*Realizacja zadania lotniczego na wysokości poniżej 16500 ft*
	HS	(D4_AHS#11/T>	*TRIGGER*	*Korkociąg samolotu*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)		Zderzenie samolotu z ziemią		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA		Uszczerbek na zdrowiu pilota spowodowany obrażeniami jakich może doznać podczas katapultowania Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Niepowodzenie misji lotniczej		

O O

Rysunek Z5.5. Karta charakterystyki zagrożenia H_{12} – ID: H_12(D4)

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#13(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

ID ZAGROŻENIA		**H_13(D4)**		
SFORMUŁOWANIE ZAGROŻENIA		**Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem dwóch samolotów**		
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)		<M1_4.*.*_1/R>**&**<M2_4.*.*_1/R>**&**<M4_4.*.*_1/R>**&**(<M1_4.1.2_6/G>+<M1_4.2.2_7/G>)**&**<M4_4.2.2_9/T>**&**<M3_4.1.1_5/E>**&**<M6_4.2.2_5/E>		
		HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**
	HS	<M1_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*
	HS	<M2_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Samolot*
		<M4_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Misja lotnicza*
	HS	<M1_4.1.2_6/G>	*GENERATOR*	*Nieprawidlowo zgloszone intencje dotyczące przedziału wysokości który będzie wykorzystywany podczas realizacji zadania lotniczego w strefie MOA*
	HS	<M1_4.2.2_7/G>	*GENERATOR*	*Wykorzystywanie przedziału wysokości strefy MOA spoza zadeklarowanego zakresu podczas realizacji zadania lotniczego*
	HS	<M4_4.2.2_9/T>	*TRIGGER*	*Kolizyjne parametry lotu (kurs i wysokość) samolotu z innym samolotem podczas realizacji zadania lotniczego w strefie MOA*
	HS	<M6_4.2.2_5/E>	*ESCALATOR*	*Niezdatność świateł antykolizyjnych*
	HS	<M3_4.1.1_5/E>	*ESCALATOR*	*Nieprawidlowe działanie radaru kontroli obszaru przestrzeni powietrznej*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)		Zderzenie dwóch samolotów		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA		Śmierć pilota/pilotów Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu/samolotów Niepowodzenie misji lotniczej		

O O

Rysunek Z5.6. Karta charakterystyki zagrożenia H_{13} – ID: H_13(D4)

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#17(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

ID ZAGROŻENIA		**H_17(D4)**		
SFORMUŁOWANIE ZAGROŻENIA		**Możliwość pojawienia się strat spowodowanych nieodwracalną utratą przytomności przez pilota podczas lotu**		
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)		<M1_4.*.*_1/R>**&**<M2_4.*.*_1/R>**&**(D4_AHS#16/G>**&**<M1_4.3.3_8/T>**&**<M6_4.3.3_8/E>		
		HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**
	HS	<M1_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*
	HS	<M2_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	(D4_AHS#16/G>	*GENERATOR*	*Niedotlenienie pilota podczas lotu*
	HS	<M1_4.3.3_8/T>	*TRIGGER*	*Brak realizacji checklisty w przypadku wystąpienia objawów niedotlenienia podczas lotu*
	HS	<M6_4.3.3_8/E>	*ESCALATOR*	*Niezdatność awaryjnej instalacji tlenowej (fotela katapultowego)*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)		Nieodwracalna utrata przytomności przez pilota podczas lotu		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA		Śmierć pilota Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu		
		O		O

Rysunek Z5.7. Karta charakterystyki zagrożenia H_{17} – ID: H_17(D4)

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#18(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

ID ZAGROŻENIA		**H_18(D4)**		
SFORMUŁOWANIE ZAGROŻENIA		**Możliwość pojawienia się strat spowodowanych niezdatnością fotela katapultowego**		
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)		<M1_4.*.*_1/R>**&**<M6_4.1.1_9/G>&(D4_AHS#5/T>		
		HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**
	HS	<M1_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*
	HS	<M6_4.1.1_9/G>	*GENERATOR*	*Niezdatność fotela katapultowego K-36DM*
	HS	(D4_AHS#5/T>	*TRIGGER*	*Katapultowanie*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)		Niezdatność fotela katapultowego		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA		Śmierć pilota		
		O		O

Rysunek Z5.8. Karta charakterystyki zagrożenia H_{18} – ID: H_18(D4)

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#20(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

ID ZAGROŻENIA	**H_20(D4)**			
SFORMUŁOWANIE ZAGROŻENIA	**Możliwość pojawienia się strat spowodowanych brakiem możliwości ugaszenia pożaru silnika podczas lotu**			
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)	<M1_4.*.*_1/R>**&**<M2_4.*.*_1/R>**&**<M4_4.*.*_1/R>**&**(D4_AHS#19/G>**&**<M6_4.2.2_9/E>			
	HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**	
HS	<M1_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*	
HS	<M2_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Samolot*	
HS	<M4_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Misja lotnicza*	
HS	(D4_AHS#19/G>	*GENERATOR*	*Pożar silnika samolotu*	
HS	<M6_4.2.2_9/E>	*ESCALATOR*	*Niska skuteczność systemu przeciwpożarowego przedziału silnikowego samolotu*	
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Brak możliwości ugaszenia pożar silnika podczas lotu			
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Uszczerbek na zdrowiu pilota spowodowany obrażeniami jakich może doznać podczas katapultowania Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Niepowodzenie misji lotniczej			

O O

Rysunek Z5.9. Karta charakterystyki zagrożenia H_{20} – ID: H_20(D4)

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#21(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

ID ZAGROŻENIA	**H_21(D4)**			
SFORMUŁOWANIE ZAGROŻENIA	**Możliwość pojawienia się strat spowodowanych całkowitą utratą sterowności samolotu**			
KOD GRUPY ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA (HS)	<M1_4.*.*_1/R>**&**<M2_4.*.*_1/R>**&**<M4_4.*.*_1/R>**&**<M2_4.3.1_8/G>**&**<M6_4.3.3_10/T>			
	HS ID	**ATRYBUT HS**	**OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA**	
HS	<M1_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*	
HS	<M2_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Samolot*	
HS	<M4_4.*.*_1/R>	*RECEIVER*	*Misja lotnicza*	
HS	<M2_4.3.1_8/G>	*GENERATOR*	*Niezdatność obydwu instalacji hydraulicznych*	
HS	<M6_4.3.3_10/T>	*TRIGGER*	*Niezdatność awaryjnej elektrycznej pompy hydraulicznej HC-3*	
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Całkowita utrata sterowności samolotu			
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Uszczerbek na zdrowiu pilota spowodowany obrażeniami jakich może doznać podczas katapultowania Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Niepowodzenie misji lotniczej			

O O

Rysunek Z5.10. Karta charakterystyki zagrożenia H_{21} – ID: H_21(D4)

ZAŁĄCZNIK Z6
KARTA INFORMACJI O RYZYKU ZAGROŻEŃ

Tabela Z6.1

Karta informacji o ryzyku zagrożeń zidentyfikowanych w domenie zadanie lotnicze (D4) i poddanych procedurze komunikowania o ryzyku

Opis domeny analiz. Domena analiz zadanie lotnicze (D4) w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego Su-22M4. Domena obejmuje trzy procesy: 4.1. Dolot do strefy działań MOA; 4.2. Realizacja zadania lotniczego w strefie działań MOA; 4.3. Powrót ze strefy działań MOA. W ramach procesów dochodzi do szeregu operacji i zdarzeń procesów z udziałem jednoosobowej załogi samolotu (jeden pilot) o małym doświadczeniu. Samolot Su-22M4 nie ma podwieszanych zbiorników paliwa oraz nie jest uzbrojony. Strefa MOA wyznaczona jest nad lądem. Rodzaj wykonywanego zadania lotniczego to prosty pilotaż w ramach misji lotniczej nr B004 wg Programu szkolenia lotnictwa taktycznego na samolocie Su-22.

H_ID: **H_07(D4) – Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem samolotu (po katapultowaniu) z obiektem infrastruktury naziemnej wewnątrz którego znajdują się ludzie**

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#07(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

	ATRYBUT HS		OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA
ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA (HS)	HS	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	*RECEIVER*	*Ludzie*
	HS	*RECEIVER*	*Obiekt infrastruktury naziemnej*
	HS	*GENERATOR*	*Utrata kontroli nad samolotem*
	HS	*TRIGGER*	*Katapultowanie*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Zderzenie samolotu z obiektem infrastruktury naziemnej wewnątrz którego znajdują się ludzie		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Straty materialne wynikające ze zniszczenia obiektu infrastruktury naziemnej (typu szkoła, kościół, itp.) Śmierć lub uszczerbek na zdrowiu ludzi przebywających wewnątrz obiektu infrastruktury naziemnej (typu szkoła, kościół, itp.)		

Ryzyko zagrożenia	poziom ryzyka	–	**2000**
	kategoria ryzyka	–	**tolerowane (T)**

Zalecane działania do wprowadzenia:

1. Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu
2. Wyznaczenie w strefach MOA obszarów, w które należy skierować samolot przed katapultowaniem oraz włączenie tego elementu jako obowiązkowego zagadnienia w ramach przygotowań do misji lotniczej – kategoria C7 elementów systemu bezpieczeństwa

Ryzyko zagrożenia po wprowadzeniu zaleconych działań	poziom ryzyka	–	**1080**
	kategoria ryzyka	–	**tolerowane (T)**

Tabela Z6.1 cd.

H_ID: **H_08(D4) – Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem samolotu (po katapultowaniu) z obiektem infrastruktury krytycznej**

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#08(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

		ATRYBUT HS	OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA
ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA (HS)	HS	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	*RECEIVER*	*Obiekt infrastruktury krytycznej*
	HS	*RECEIVER*	*Ludzie*
	HS	*GENERATOR*	*Utrata kontroli nad samolotem*
	HS	*TRIGGER*	*Katapultowanie*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Zderzenie samolotu z obiektem infrastruktury krytycznej		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Straty materialne wynikające ze zniszczenia obiektu infrastruktury krytycznej (typu elektrownia, rafineria, itp.) Śmierć lub uszczerbek na zdrowiu ludzi zamieszkujących otoczenie obiektu infrastruktury krytycznej (typu elektrownia, rafineria, itp.) Straty materialne ludzi zamieszkujących otoczenie obiektu infrastruktury krytycznej (typu elektrownia, rafineria, itp.)		

Ryzyko zagrożenia	poziom ryzyka –	**1500**
	kategoria ryzyka –	**tolerowane (T)**

Zalecane działania do wprowadzenia:

1. Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu
2. Wyznaczenie w strefach MOA obszarów, w które należy skierować samolot przed katapultowaniem oraz włączenie tego elementu jako obowiązkowego zagadnienia w ramach przygotowań do misji lotniczej – kategoria C7 elementów systemu bezpieczeństwa

Ryzyko zagrożenia po wprowadzeniu zaleconych działań	poziom ryzyka –	**810**
	kategoria ryzyka –	**tolerowane (T)**

H_ID: **H_09(D4) – Możliwość pojawienia się strat spowodowanych pożarem elementu środowiska naturalnego po zderzeniu z nim samolotu (po katapultowaniu)**

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#09(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

		ATRYBUT HS	OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA
ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA (HS)	HS	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	*RECEIVER*	*Element środowiska naturalnego*
	HS	*GENERATOR*	*Utrata kontroli nad samolotem*
	HS	*TRIGGER*	*Katapultowanie*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Zderzenie samolotu z elementem środowiska naturalnego		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Straty środowiskowe wynikające z pożaru elementu środowiska naturalnego (typu las)		

Ryzyko zagrożenia	poziom ryzyka –	**864**
	kategoria ryzyka –	**tolerowane (T)**

Zalecane działania do wprowadzenia:

1. Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu

Ryzyko zagrożenia po wprowadzeniu zaleconych działań	poziom ryzyka –	**576**
	kategoria ryzyka –	**akceptowane (A)**

Tabela Z6.1 cd.

H_ID: **H_12(D4) – Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem samolotu z ziemią w wyniku wejścia samolotu w korkociąg poniżej wysokości zapewniającej bezpieczne wyprowadzenie z korkociągu**

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#12(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

		ATRYBUT HS	OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA
ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA (HS)	HS	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*
	HS	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	*RECEIVER*	*Misja lotnicza*
	HS	*GENERATOR*	*Realizacja zadania lotniczego na wysokości poniżej 16500 ft*
	HS	*TRIGGER*	*Korkociąg samolotu*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)		Zderzenie samolotu z ziemią	
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA		Uszczerbek na zdrowiu pilota spowodowany obrażeniami jakich może doznać podczas katapultowania Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Niepowodzenie misji lotniczej	

Ryzyko zagrożenia	poziom ryzyka	–	**2450**
	kategoria ryzyka	–	**nieakceptowane (NA)**

Zalecane działania do wprowadzenia:

1. Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu
2. Zainstalowanie urządzenia emitującego wibrację na drążku sterowym (*stick shaker*) ostrzegającą o przeciągnięciu – kategoria C2 elementów systemu bezpieczeństwa
3. Zainstalowanie lampki ostrzegawczej sygnalizującej przeciągnięcie – kategoria C2 elementów systemu bezpieczeństwa

Ryzyko zagrożenia po wprowadzeniu zaleconych działań	poziom ryzyka	–	**1029**
	kategoria ryzyka	–	**tolerowane (T)**

H_ID: **H_13(D4) – Możliwość pojawienia się strat spowodowanych zderzeniem dwóch samolotów**

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#13(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

		ATRYBUT HS	OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA
ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA (HS)	HS	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*
	HS	*RECEIVER*	*Samolot*
		RECEIVER	*Misja lotnicza*
	HS	*GENERATOR*	*Nieprawidłowo zgłoszone intencje dotyczące przedziału wysokości który będzie wykorzystywany podczas realizacji zadania lotniczego w strefie MOA*
	HS	*GENERATOR*	*Wykorzystywanie przedziału wysokości strefy MOA spoza zadeklarowanego zakresu podczas realizacji zadania lotniczego*
	HS	*TRIGGER*	*Kolizyjne parametry lotu (kurs i wysokość) samolotu z innym samolotem podczas realizacji zadania lotniczego w strefie MOA*
	HS	*ESCALATOR*	*Niezdatność świateł antykolizyjnych*
	HS	*ESCALATOR*	*Nieprawidłowe działanie radaru kontroli obszaru przestrzeni powietrznej*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)		Zderzenie dwóch samolotów	
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA		Śmierć pilota/pilotów Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu/samolotów Niepowodzenie misji lotniczej	

Ryzyko zagrożenia	poziom ryzyka	–	**720**
	kategoria ryzyka	–	**tolerowane (T)**

Zalecane działania do wprowadzenia:

1. Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu
2. Zainstalowanie systemu TCAS (*Traffic Collision Avoidance System*) na pokładzie samolotu – kategoria C4 elementów systemu bezpieczeństwa

Tabela Z6.1 cd.

Ryzyko zagrożenia po wprowadzeniu zaleconych działań	poziom ryzyka	–	**324**
	kategoria ryzyka	–	**akceptowane (A)**

H_ID: **H_17(D4) – Możliwość pojawienia się strat spowodowanych nieodwracalną utratą przytomności przez pilota podczas lotu**

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#17(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

		ATRYBUT HS	OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA
ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA (HS)	HS	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*
	HS	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	*GENERATOR*	*Niedotlenienie pilota podczas lotu*
	HS	*TRIGGER*	*Brak realizacji checklisty w przypadku wystąpienia objawów niedotlenienia podczas lotu*
	HS	*ESCALATOR*	*Niezdatność awaryjnej instalacji tlenowej (fotela katapultowego)*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Nieodwracalna utrata przytomności przez pilota podczas lotu		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Śmierć pilota Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu		

Ryzyko zagrożenia	poziom ryzyka	–	**3600**
	kategoria ryzyka	–	**nieakceptowane (NA)**

Zalecane działania do wprowadzenia:

1. Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu
2. Zainstalowanie systemu monitorującego poziom saturacji (wysycenia krwi tlenem) pilota, który w razie konieczności automatycznie uruchamiałby awaryjne podawanie tlenu – kategoria C3 elementów systemu bezpieczeństwa

Ryzyko zagrożenia po wprowadzeniu zaleconych działań	poziom ryzyka	–	**840**
	kategoria ryzyka	–	**tolerowane (T)**

H_ID: **H_21(D4) – Możliwość pojawienia się strat spowodowanych całkowitą utratą sterowności samolotu**

HAZARD REGISTER CARD	#__(D1)	#__(D2)	#__(D3)	**#21(D4)**	#__(D5)	#__(D6)	#__(D7)

		ATRYBUT HS	OPIS ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA
ŹRÓDŁA ZAGROŻENIA (HS)	HS	*RECEIVER*	*Pilot samolotu*
	HS	*RECEIVER*	*Samolot*
	HS	*RECEIVER*	*Misja lotnicza*
	HS	*GENERATOR*	*Niezdatność obydwu instalacji hydraulicznych*
	HS	*TRIGGER*	*Niezdatność awaryjnej elektrycznej pompy hydraulicznej HC-3*
ZDARZENIE NIEPOŻĄDANE (AE)	Całkowita utrata sterowności samolotu		
KONSEKWENCJE AKTYWIZACJI ZAGROŻENIA	Uszczerbek na zdrowiu pilota spowodowany obrażeniami jakich może doznać podczas katapultowania Straty materialne wynikające z całkowitego zniszczenia samolotu Niepowodzenie misji lotniczej		

Ryzyko zagrożenia	poziom ryzyka	–	**2100**
	kategoria ryzyka	–	**tolerowane (T)**

Zalecane działania do wprowadzenia:

1. Wyznaczenie do wykonania misji lotniczej pilota o większym doświadczeniu

Ryzyko zagrożenia po wprowadzeniu zaleconych działań	poziom ryzyka	–	**1400**
	kategoria ryzyka	–	**tolerowane (T)**

Źródło: opracowanie własne