



**Wiktor Wyszywacz**

Aeroklub Polski

## „Safety Case” dla RPAS w aspekcie Human Factor / „Safety Case” for RPAS *in the Human Factor aspect*

### **Streszczenie:**

Regulacje prawne dotyczące procedur i bezpiecznego wykorzystania przestrzeni powietrznej nie nadążają za gwałtownym rozwojem komercyjnego zastosowania bezałogowych statków powietrznych. Do „Safety Case” dla bezałogowych zdalnie sterowanych systemów RPAS w aspekcie czynnika ludzkiego wykorzystano metody HRA – Analiza Niezawodności Człowieka i metodę Bow Tie Analysis – „Analiza Muchy”. Przeprowadzono analizę zagrożeń i oszacowanie ryzyka w lotach RPAS. Ze względu na zdalne sterowanie – pilotaż BSP analiza problemu koncentruje się na działaniach czynnika ludzkiego. Zaprezentowana „Safety Case”, przy użyciu metod HRA i „Analiza Muchy” identyfikuje zagrożenia, określa wskaźniki ryzyka i wskazuje poziomy tolerancji poszczególnych ryzyk. Sugeruje również określone środki zaradcze, które mają na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa i/lub dotkliwości ewentualnych negatywnych zdarzeń. Przedstawiamy model może być stosowany jako narzędzie do zarządzania ryzykiem.

**Słowa kluczowe:** BSP, RPAS, zagrożenia, analiza ryzyka, zarządzanie ryzykiem, human factor, metoda HRA, Bow Tie Analysis.

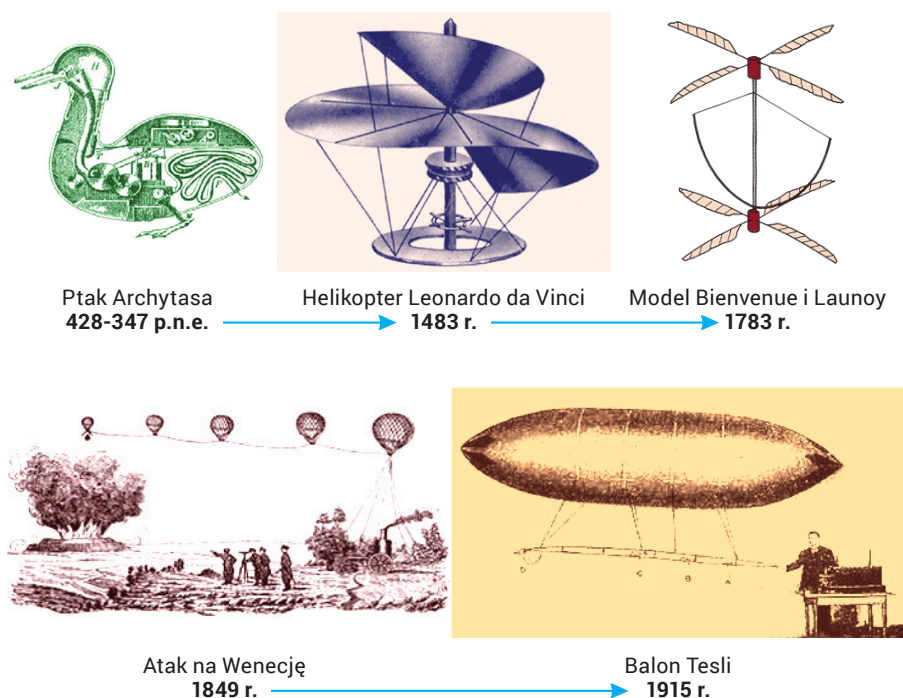
### **Abstract:**

Legal regulations regarding the procedures and safe use of airspace can not keep up with the rapid development of the commercial use of unmanned aircraft. For the „Safety Case” for unmanned remote systems RPAS in the aspect of human factor, HRA methods – Human Reliability Analysis and Bow Tie Analysis were used. Hazard analysis and risk assessment for RPAS flights was carried out. Due to the remote control flights, analysis of the problem focuses on the actions of the human factor. The presented „Safety Case”, using the HRA and „Fly Analysis” methods identifies hazards, determines risk indicators and points the tolerance levels of risks. The specific measures to reduce the likelihood and/or severity of possible adverse events are suggested. The presented model can be used as a risk management tool.

**Key words:** BSP, RPAS, threats, risk analysis, risk management, human factor, HRA method, Bow Tie Analysis.

## 1. WPROWADZENIE

Marzenia o lotach człowieka, podziwiającego ptaki, istniało od zawsze. Równoległe z próbami konstrukcji maszyn latających powstawały projekty urządzeń, które mogły wzlecieć bez człowieka na pokładzie. Z mroku historii wyłania się grecki filozof uważany za twórcę mechaniki Archytas z Tarentu (428-347p.n.e.), który zbudował mechanicznego ptaka z mechanizmem napędowym w jego brzuchu. Leonardo da Vinci (1452-1519) przedstawił projekt helikoptera z jednym wirnikiem, który jednak nie latałby ze względu na powstający moment reakcyjny obracający kadłub w przeciwnym kierunku niż wirnik. W 1783 r. Bienvenue Launoy zaprojektował, inspirowany pomysłami chińskimi, model ze śmigłami przeciwbieżnymi. Austriacy oblegając Wenecję w 1848r. zastosowali do zbombardowania miasta po raz pierwszy bezzałogowe statki powietrzne. Były to balony na gorące powietrze niosące materiały wybuchowe aktywowane mechanizmem zegarowym. W tym przypadku wojskowi popełnili błąd w ocenie kierunku wiatru a całe przedsięwzięcie skończyło się niepowodzeniem. Nicola Tesla (1856-1943) przedstawił w 1915r koncepcję bezzałogowej balonowej floty powietrznej do użytku militarnego, która była sterowana drogą radiową. Od tego czasu bezzałogowce zaczęto coraz częściej używać do celów militarnych co jednocześnie przyczyniło się do rozwoju bezzałogowych statków powietrznych.



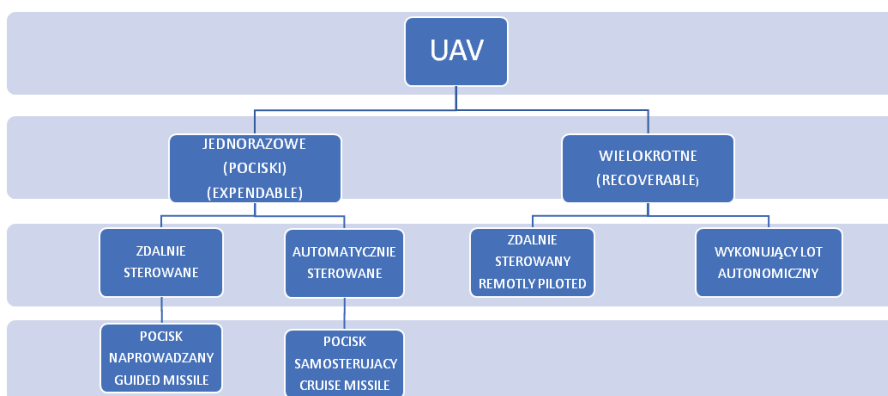
Rys. 1. Rozwój UAV<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Journal of Defense Resources Management Vol. 8, Issue 1 (14) /2017, Vasile PRISACARIU, THE HISTORY AND THE EVOLUTION OF UAVs FROM THE BEGINNING TILL THE 70s

Amerykanie w czasie I wojny światowej pracowali nad „powietrznymi torpedami” do przenoszenia ładunków wybuchowych. II wojna światowa posunęła rozwój systemu po obu stronach frontu. W Stanach Zjednoczonych rozwijano koncepcję radiowo sterowanych samolotów. Zastosowano bombowiec B-24 wyładowany dwukrotnie większą ilością materiałów wybuchowych do niszczenia głębokich bunkrów niemieckich. B-24 startował obsługiwany przez pilota, który po osiągnięciu właściwej wysokości i kursu wyskakiwał ze spadochronem a samolot sterowany radiowo leciał do miejsca przeznaczenia. Niemcy skierowali swoje wysiłki na budowę rakiet V1 i V2. Amerykańskie B-24 miały bombardować właśnie zakłady i laboratoria niemieckich V1 i V2.

Koniec XX wieku to intensywne prace w wielu krajach nad rozwojem BSP. Szczególnymi osiągnięciami poszczycić się mogą Stany Zjednoczone, Izrael i Japonia. Od 2000 roku CIA używało BSP w Afganistanie do celów wywiadowczych. Słynny Predator został wykorzystany w 2010 roku do precyzyjnego niszczenia określonych celów.<sup>2</sup>

Bojowe bezałogowe statki powietrzne – UCAV (Unmanned Combat Air Vehicles) są obecnie powszechnie stosowane w wielu armiach świata do precyzyjnego niszczenia celów wrażliwych. Specjalistyczne wyposażenie tych bezałogowców w odpowiednie urządzenia pokładowe, telemetryczne łącza oraz wysoko wykwalifikowana obsługa naziemna pozwalają na „chirurgiczne” operacje jak i zastosowanie do monitorowania terenu czy przestrzeni powietrznej. Podstawowy podział UAV (Unmanned Aerial Vehicle – BSP) pochodzi od techniki wojskowej. Wojskowi podzielili UAV (BSP) na zastosowanie jednokrotne i wielokrotne w sposób następujący:



**Rys. 2.** Militarny podział UAV.

Ze względu na wagę, wyposażenie i osiągi UAV zostały podzielone na trzy klasy:

**I Klasa** do 150 kg podzielona na cztery kategorie:

1. SMALL (powyżej 20kg),
2. MINI (od 2 do 20 kg),

2 W. Wyszywacz, Drony, budowa, loty, przepisy, Wydawnictwo Poligraf 2016, ISBN: 978-83-7856-475-1

3. MIKRO (poniżej 2 kg),
4. NANO (poniżej 2,5 dag);

**II Klasa** średnia, waga od 150 do 600 kg, jedna kategoria TACTICAL, operacyjna wysokość do 10 000 ft (3050 m), promień do 200 km;

**III Klasa** ciężka, waga powyżej 600 kg, podzielona na trzy kategorie: STRIKE/COMBAT, HALE (wysoki pułap, długotrwały lot, MALE (średni pułap, długotrwały lot)

Komercyjne zastosowanie UAV wywodzi się z praktyki militarnej. Tam, gdzie istnieje zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka, tam UAV może być wyjątkowo użyteczny. W wielu działaniach per saldo jest to bardziej ekonomiczny sposób realizowania niebezpiecznych zadań. Ponadto wiele przedsięwzięć realizowanych dotychczas przy pomocy tradycyjnego lotnictwa, dziś przy miniaturyzacji urządzeń mogą wykonywać UAV przy nieporównywalnie niższych nakładach. Na podstawie Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie przepisów technicznych i eksploatacyjnych dotyczących statków powietrznych kategorii specjalnej, nieobjętych nadzorem Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego (Dz. U. z 2013 r. poz. 524), BSP o MTOM większej niż 25 kg wymagają uzyskania pozwolenia na lot w kategorii specjalnej wydawanego przez Prezesa ULC.

Regulacje EASA i polskie przepisy<sup>3</sup> podobnie dzielą BSP na kategorie:

- samolot bezzałogowy (A),
- śmigłowiec bezzałogowy (H),
- aerostat bezzałogowy (AS),
- wielowirnikowiec bezzałogowy (MR)

i MTOM<sup>4</sup> do 150 kg (do 5 kg, 25 kg i 150 kg). Powszechnie wykorzystywane są UAV do 25 kg, dla których ustalono specjalne zasady funkcjonowania w polskiej przestrzeni powietrznej.

RPAS (ang. Remotely Piloted Aircraft System) stanowią część szerszej kategorii bezzałogowych systemów powietrznych (UAS) (ang. Unmanned Aerial Systems), do których zalicza się również statki powietrzne, które mogą zostać zaprogramowane tak, aby wykonać lot samodzielnie bez udziału pilota. RPAS, jak sama nazwa wskazuje, są sterowane przez pilota na odległość. BSP – bezzałogowe statki powietrzne mogą stanowić część systemu (UAS) w skład którego wchodzi czasami rozbudowana część naziemna przeznaczona do sterowania lub monitorowania a wykonywane loty mogą być pilotowane lub autonomiczne.

Niedoskonałość statków powietrznych, w tym przypadku UAV oraz nakładające się błędy ludzkie były przyczyną wielu niepowodzeń i wypadków lotniczych, co wiadać choćby na przykładach z historii przytoczonych we wstępie. Zastosowanie UAV

3 ROZPORZĄDZENIE MINISTRA TRANSPORTU, BUDOWNICTWA I GOSPODARKI MORSKIEJ z dnia 26 marca 2013 r. – „wyłączające” Dz.U.2013.440 / 2016-09-07 zm. Dz.U.2016.1317

4 MTOM - maksymalna masa startowa (Maximum Take-off Mass).

w gospodarce, biznesie czy nauce wymaga nie tylko stworzenia stosownych regulacji operacyjnych ale również wypracowania i wdrożenia systemu zarządzania bezpieczeństwem (SMS). Elementem systemu zarządzania są „Safety cases” zawierające analizy bezpieczeństwa. Stanowią bazę niezbędnych informacji umożliwiających zarządzanie ryzykiem.

## 2. METODA HRA

Human Reliability Analysis (HRA) dotyczy analizy ryzyka, która ocenia błędy człowieka pod kątem efektywności badanego systemu. Metoda jest opisana i zalecana w normie ISO 31010:2009 Zarządzanie ryzykiem – Metody szacowania ryzyka (Risk assessment techniques). Metoda HRA może być wykorzystana jakościowo i ilościowo dzięki czemu można podjąć działania przeciwstawne zmniejszające prawdopodobieństwo i/lub dolegliwości skutków negatywnych zdarzeń. Metodologicznie HRA identyfikuje zagrożenia wynikające z działań czynnika ludzkiego metodą proaktywną.

W wielu przedsięwzięciach skuteczność osiągania oczekiwanych efektów jest ograniczona zawodnością urządzeń, maszyn czy oprogramowania. Pominięcie czynnika ludzkiego daje ułomny obraz zagrożeń szczególnie w tych działaniach, w których dominuje aktywność człowieka. Podobnie jak w tradycyjnym lotnictwie, skuteczne użycie RPAS zależne jest w ogromnym stopniu od operatora RPAS. Dlatego do safety case dla RPAS wybrano jedną z najlepiej przystających metod do przedmiotu badań. W rozważaniach metodą HRA uwzględniono różnorodne rodzaje niewłaściwych działań czynnika ludzkiego, a mianowicie:

- Błąd pominięcia, zaniechania działań systemowych lub awaryjnych
- Błąd wykonania – działanie nieprecyzyjne, spóźnione, w złej kolejności itp.
- Błąd nadwykonania – działania dodatkowe, wadliwe, powiększające ryzyko

Analiza dotyczy zarówno lotów VLOS jak i BVLOS.

Wyjściowe założenia do metody HRA:

- a. Loty RPAS mają na celu osiągnięcie zaplanowanych efektów przez przemieszczanie BSP w określony sposób po założonej z góry trajektorii lub podejmowania na bieżąco decyzji o przemieszczaniu RPAS pomiędzy optymalnymi dla zadania punktami przestrzeni
- b. Wykonywane zadania przez RPAS mogą być obarczone błędami ludzkimi takimi jak: pominięcie elementów procedury, nieumiejętny pilotaż BSP, wykonywanie niebezpiecznych manewrów, niewłaściwe reakcje na pojawiające się zagrożenia itp. powodujące powstawanie zagrożeń
- c. Uwzględnienie powiązania pracy operatora RPAS z funkcjonowaniem urządzeń, wskazaniemi telemetrycznymi, warunkami atmosferycznymi itp.
- d. Odseparowanie błędów istotnych od nieznaczących
- e. Ocena błędów pod kątem prawdopodobieństwa wystąpienia
- f. Ocena błędów pod kątem rozległość skutków, dotkliwości

- g. Wyznaczenie wskaźników ryzyka
- h. Ustalenie poziomu tolerancji
- i. Redukcja lub minimalizacja zagrożeń wywołanych przez Human Factor

### 3. BŁĘDY CZYNNIKA LUDZKIEGO W OPERACJACH RPAS

Błędy czynnika ludzkiego i zagrożenia z nimi związane podzielono na trzy grupy:

**Grupa I** – dotyczy czynności przygotowawczych naziemnych i przedlotowych

I/1	Nieracjonalne zaplanowanie sekwencji/planu działań
I/2	Zaplanowanie lotów w przestrzeni o dużym ryzyku (przeszkody, obiekty, ruch)
I/3	Brak uwzględnienia warunków meteorologicznych
I/4	Nieznajomość indeksu Kp
I/5	Brak określenia czasu i zasięgu lotu
I/6	Nierozpoznanie dostępności przestrzeni powietrznej
I/7	Niewyznaczenie awaryjnych miejsc lądowania
I/8	Brak ustalenia trasy przelotów i punktów orientacyjnych
I/9	Pominięcie zaprogramowania procedur awaryjnych (RTH, FailSafe)
I/10	Niezabezpieczenie miejsc startu i lądowania
I/11	Brak obserwatora w lotach BVLOS
I/12	Niesprawdzenie trybu sterowania
I/13	Nieskalibrowanie lub niewłaściwe skalibrowanie kompasu
I/14	Start bez sprawdzenia czasu działania zasilania układu napędowego
I/15	Start bez sprawdzenia czasu działania kontrolera
I/16	Pominięcie sprawdzianu przedlotowego RPAS

**Grupa II** – dotyczy czynności w czasie lotu RPAS

II/1	Niewłaściwa kolejność włączenia kontrolera i RPAS
II/2	Start RPAS przed odnalezieniem dostatecznej ilości satelitów do GPS
II/3	Start RPAS przed potwierdzeniem współrzędnych miejsca startu
II/4	Brak ciągłej kontroli położenia i przemieszczania się RPAS w lotach VLOS i BVLOS
II/5	Brak ciągłej kontroli stanu zasilania napędu i parametrów lotu
II/6	Brak ciągłej kontroli warunków meteorologicznych
II/7	Niebezpieczne postawy operatora w pilotażu RPAS

II/8	Nieunikanie zagrożeń w locie
II/9	Błędna reakcja lub jej brak na niebezpieczne zmiany parametrów lotu
II/10	Spóźniona reakcja na zaburzenia lotu
II/11	Dopuszczenie wylotu RPAS poza zasięg sterowania
II/12	Brak lub niewłaściwa reakcja przy "ucieczce" RPAS
II/13	Brak kontroli nad miejscem lądowania

**Grupa III – dotyczy czynności po wylądowaniu**

III/1	Pozostawienia pracujących silników po lądowaniu
III/2	Brak kontroli stanu technicznego RPAS po wykonanym locie/lotach
III/3	Brak monitorowania wykonanych lotów (nalot, usterki)

#### 4. WYZNACZENIE WSKAŹNIKÓW RYZYKA

Odseparowanie błędów nieistotnych pozwala skoncentrować się na błędach istotnych dla których zastosowano matryce prawdopodobieństwa i dotkliwości skutków zagrożeń wywołanych błędami czynnika ludzkiego oraz matrycę tolerowania ryzyka bezpieczeństwa. Wykorzystano matryce prezentowane w Podręczniku Zarządzania Bezpieczeństwem ICAO (SMM) (Doc 9859), Załącznik do wytycznych Nr 11 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego. Wyznaczono wskaźniki ryzyka dla trzech grup zagrożeń spowodowanych błędami człowieka.

Prawdopodobieństwo	Znaczenie	Wartość liczbowa
Częste	Prawdopodobnie wystąpi wiele razy (występowało często)	5
Sporadyczne	Prawdopodobnie wystąpi od czasu do czasu (występowało niezbyt często)	4
Dalekie	Prawdopodobnie nie wystąpi, ale jest to możliwe (występowało rzadko)	3
Nieprawdopodobne	Bardzo mało prawdopodobne, że wystąpi (przypadek wystąpienia nie jest znany)	2
Skrajnie nieprawdopodobne	Prawie niewyobrażalne, że kiedykolwiek może wystąpić	1

**Rys. 3.** Matryca prawdopodobieństwa<sup>5</sup>

5 Podręcznika Zarządzania Bezpieczeństwem ICAO (SMM) (Doc 9859), Załącznik do wytycznych Nr 11 Prezesa ULC, str. 51

Poziom	Oznacznik	Opis dotkliwości (dostosować zgodnie z charakterem działalności dostawcy lub dostawcy usług)
E	Nieznaczny	Bez znaczenia dla bezpieczeństwa operacyjnego związanego ze statkiem powietrznym.
D	Niewielki	Obniża lub wpływa na normalne procedury operacyjne lub osiągi statku powietrznego.
C	Umiarkowany	Częściowe zniszczenie znaczących/głównych systemów statku powietrznego, lub skutkuje zastosowaniem procedur odbiegających od normy lotniczych procedur operacyjnych.
B	Poważny	Całkowita awaria znaczących/głównych systemów statku powietrznego lub skutkuje zastosowaniem awaryjnych lotniczych procedur operacyjnych.
A	Katastrofalny	Zniszczenie statku powietrznego lub utrata życia

Rys. 4. Matryca dotkliwości (podstawowa)<sup>6</sup>.

Zakres tolerancji - obszary	Znacznik oceny ryzyka	Sugerowane kryteria
obszar nietolerowania	<b>5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A</b>	Nieakceptowalne w istniejących okolicznościach
obszar tolerowalny	<b>5D, 5E, 4C, 4D, 4E, 3B, 3C, 3D, 2A, 2B, 2C, 1A</b>	Akceptowalne przy założonym łagodzeniu ryzyka. Może wymagać decyzji na poziomie kierowniczym.
obszar akceptowalny	<b>3E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E</b>	Akceptowalny

Rys. 5. Matryca tolerowania ryzyka bezpieczeństwa<sup>7</sup>.

Grupa I – dotyczy czynności przygotowawczych naziemnych i przedlotowych		Prawdopodobieństwo	Dotkliwość
I/2	Zaplanowanie lotów w przestrzeni o dużym ryzyku (przeszkody, objekty, ruch)	3	A
I/3	Brak uwzględnienia warunków meteorologicznych	5	D
I/5	Brak określenia czasu i zasięgu lotu	5	E
I/6	Nierozpoznanie dostępności przestrzeni powietrznej	2	A
I/9	Pominięcie zaprogramowania procedur awaryjnych (RTH, FailSafe)	4	B
I/10	Niezabezpieczenie miejsc startu i lądowania	5	E
I/11	Brak obserwatora w lotach BVLOS	5	D
I/13	Nieskalibrowanie lub niewłaściwe skalibrowanie kompasu	2	C
I/16	Pominięcie sprawdzianu przedlotowego RPAS	1	B

6 Podręcznika Zarządzania Bezpieczeństwem ICAO (SMM) (Doc 9859), Załącznik do wytycznych Nr 11 Prezesa ULC, str. 38

7 Podręcznika Zarządzania Bezpieczeństwem ICAO (SMM) (Doc 9859), Załącznik do wytycznych Nr 11 Prezesa ULC, str. 41



Grupa II – dotyczy czynności w czasie lotu RPAS			
II/1	Niewłaściwa kolejność włączenia kontrolera i RPAS	4	E
II/4	Brak ciągłej kontroli położenia i przemieszczania się RPAS w lotach VLOS i BVLOS	5	C
II/5	Brak ciągłej kontroli stanu zasilania napędu i parametrów lotu	3	D
II/6	Brak ciągłej kontroli warunków meteorologicznych	2	C
II/7	Niebezpieczne postawy operatora w pilotażu RPAS	3	E
II/8	Nieunikanie zagrożeń w locie	4	C
II/9	Błędna reakcja lub jej brak na niebezpieczne zmiany parametrów lotu	4	C
II/10	Spóźniona reakcja na zaburzenia lotu	5	B
II/11	Dopuszczenie wylotu RPAS poza zasięg sterowania	2	B
II/12	Brak lub niewłaściwa reakcja przy "ucieczce" RPAS	3	A
Grupa III – dotyczy czynności po wylądowaniu			
III/1	Pozostawienia pracujących silników po lądowaniu	3	D

Zestawienie prezentuje określone wskaźniki ryzyka przypisane do zagrożeń.

TOLERANCJA	GRUPA	OPIS BŁĘDU	Praw dop odo bieństwo	Dotk liwość
obszar nietolerowa nia	II/4	Brak ciągłej kontroli położenia i przemieszczania się RPAS w lotach VLOS i BVLOS	5	C
	I/9	Pominięcie zaprogramowania procedur awaryjnych (RTH, FailSafe)	4	B
	I/2	Zaplanowanie lotów w przestrzeni o dużym ryzyku (przeszkody, obiekty, ruch)	3	A
	II/12	Brak lub niewłaściwa reakcja przy "ucieczce" RPAS	3	A
obszar tolerowalny	I/3	Brak uwzględnienia warunków meteorologicznych	5	D
	I/5	Brak określenia czasu i zasięgu lotu	5	E
	I/6	Nierozpoznanie dostępności przestrzeni powietrznej	2	A
	I/10	Niezabezpieczenie miejsc startu i lądowania	5	E
	I/11	Brak obserwatora w lotach BVLOS	5	D
	I/13	Nieskalibrowanie lub niewłaściwe skalibrowanie kompasu	2	C
	II/1	Niewłaściwa kolejność włączenia kontrolera i RPAS	4	E
	II/5	Brak ciągłej kontroli stanu zasilania napędu i parametrów lotu	3	D
	II/6	Brak ciągłej kontroli warunków meteorologicznych	2	C
	II/8	Nieunikanie zagrożeń w locie	4	C
	II/9	Błędna reakcja lub jej brak na niebezpieczne zmiany parametrów lotu	4	C
	II/10	Spóźniona reakcja na zaburzenia lotu	4	C
	II/11	Dopuszczenie wylotu RPAS poza zasięg sterowania	2	B
obszar akceptowalny	III/1	Pozostawienia pracujących silników po lądowaniu	3	D
	I/16	Pominięcie sprawdzianu przedlotowego RPAS	1	B
	II/7	Niebezpieczne postawy operatora w pilotażu RPAS	3	E

Rys. 6. Określenie poziomu tolerancji dla błędów czynnika ludzkiego

Tolerancję ryzyka wyznaczono przenosząc wskaźniki ryzyka do matrycy oceny ryzyka dotyczącego bezpieczeństwa. Uzyskuje się w ten sposób opis ryzyka, którego tolerancja jest klasyfikowana zgodnie z kryteriami matrycy. W tym celu błędy czynnika ludzkiego i zagrożenia z nimi związane podzielone na trzy grupy zestawiono w matrycy tolerancji. W zależności od poziomu tolerancji ryzyka podmiot lotniczy – operator bezałogowego statku powietrznego musi podjąć decyzję o zaprzestaniu danych działań o ile złagodzenie ryzyka nie jest możliwe. Działania redukujące ryzyko mogą być skierowane na zmniejszenie składnika prawdopodobieństwa lub ograniczenie składnika dotkliwości.

Ocena niezawodności człowieka określona metodą HRA pod kątem błędów popełnionych przez operatora RPAS potwierdza tezę, że działania czynnika ludzkiego mają największy wpływ na poziom bezpieczeństwa w użytkowaniu RPAS. Metoda RHA jest przydatna w określeniu rodzaju i charakteru błędów. Ułatwia to dostosowanie działań korygujących zmniejszających prawdopodobieństwo wystąpienia lub zmniejszenia zakresu negatywnych skutków zdarzenia.

Błędy z obszaru nietolerowania muszą być wyeliminowane i dotyczą działań naziemnych przedlotowych i pilotażu. Błędy I/2 i I/9 można usunąć przez wprowadzenie nadzorowanych procedur np. check list. Błędy II/4 i II/12 wymagają podniesienia kwalifikacji operatorów, szkoleń w zakresie procedur w sytuacjach awaryjnych. Można je także wyeliminować dobierając personel odpowiedni do poziomu trudności realizowanych zadań i zmniejszyć dolegliwość stosując odpowiednie ubezpieczenie.

Błędy czynnika ludzkiego z obszaru tolerowalnego dotyczą również głównie przygotowania do lotów, procedur naziemnych i pilotażu. Częstotliwość występowania oraz rozległość negatywnych skutków ich popełnienia podmiot lotniczy może obniżyć przez dobór odpowiednich szkoleń, podnoszenie kwalifikacji, nabywanie doświadczeń. Wymierne efekty przyniesie położenie nacisku na działania naziemne i procedury przygotowawcze w zakresie:

- Rozpoznanie przestrzeni, miejsca wykonywania lotów, warunków meteo
- Właściwe przygotowanie RPAS i stacji naziemnej
- Zastosowanie urządzeń sygnalizujących krytyczne parametry lotu
- Treningi rozwiązywania sytuacji awaryjnych

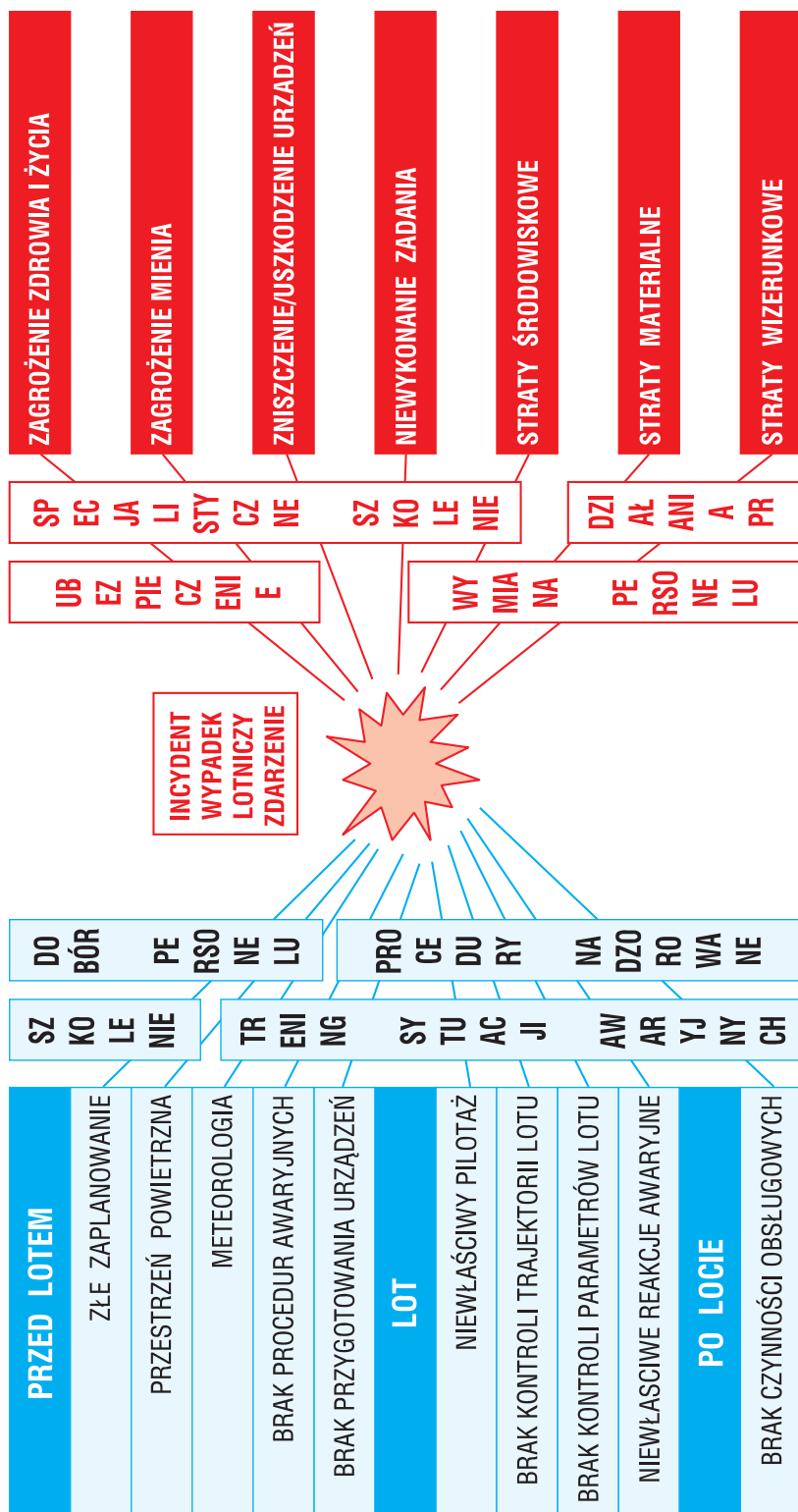
Ograniczenia metody HRA:

- Różnorodność i nieprzewidywalność zachowań ludzkich utrudnia oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia błędu
- HRA nie uwzględnia wywołania dalszych zagrożeń i ewentualnych skutków po wystąpieniu błędu człowieka – jednowarstwowość metody

## 5. ANALIZA MUCHY (BOW TIE ANALYSIS)<sup>8</sup>

W metodzie Safety Case dla RPAS może być także przydatna „analiza muchy”. Jest znacznie prostszym, schematycznym sposobem przedstawienia i analizy rozwoju sytuacji od przyczyny do konsekwencji. W sposób graficzny prezentuje zagrożenia,

<sup>8</sup> ISO 31010 Risk Management – Risk Assessment Techniques, annex B.21.



Rys. 7. Diagram Bow Tie Analysis

przyczyny i konsekwencje negatywnego zdarzenia. Przy występowaniu wielu przyczyn niekorzystnego incydentu, z którym mamy do czynienia w Safety Case dla RPAS metoda ta może być bardzo przydatna. Diagram Bow Tie w centralnej części przedstawia zdarzenie wygenerowane przez czynnik ludzki, który stwarzał zagrożenie. Z jednej strony centralnego punktu przedstawione są przyczyny a z drugiej konsekwencje. Na diagramie wskazuje się również działania zaradcze. Dużym ograniczeniem metody może być nadmierne upraszczanie skomplikowanych sytuacji.

## 6. PODSUMOWANIE

Zaprezentowana metoda „Safety Case” dla RPAS w aspekcie Human Factor stanowi jeden z możliwych modeli zarządzania ryzykiem dla BSP. Wskazuje ona na kluczowe znaczenie czynnika ludzkiego dla lotów RPAS w przeciwieństwie do lotów autonomicznych BSP. Określone zostały główne czynniki wpływające na bezpieczeństwo użytkowania RPAS, takie jak: kompetencje operatorów, precyzyjne procedury czy umiejętność rozwiązywania sytuacji awaryjnych/kryzysowych. Do „Safety Case” wykorzystano dwie metody, Human Reliability Analysis i Bow Tie Analysis. Metoda Muchy może być z powodzeniem używana jako sposób przybliżony, ogólny dający rozpoznanie rozległości problemów badanego systemu. Metoda HRA stanowi narzędzie pozwalające na bardziej szczegółową analizę ryzyka i eliminację występujących zagrożeń w procesie zarządzania ryzykiem.

## LITERATURA:

- Analiza procesów wdrażania systemów zarządzania bezpieczeństwem w lotnictwie cywilnym w Rzeczypospolitej Polskiej – Raport Polskiego Klubu Lotniczego, Warszawa 2015.
- Journal of Defense Resources Management Vol. 8, Issue 1 (14) /2017, Vasile PRISACARIU, THE HISTORY AND THE EVOLUTION OF UAVs FROM THE BEGINNING TILL THE 70s.
- ISO 31000:2009 Zarządzanie ryzykiem – zasady i wytyczne ( Risk management – Principles and guidelines).
- ISO 31010:2009 Zarządzanie ryzykiem – Metody szacowania ryzyka (Risk assessment techniques).
- Zarządzanie bezpieczeństwem w lotnictwie cywilnym, pod redakcją Katarzyny Łuczak, Katowice 2016, Uniwersytet Śląski.
- Zarządzanie ryzykiem – przegląd wybranych metodyk, pod redakcją bryg. Dr inż. Dariusza Wróblewskiego, Józefów 2015, ISBN 978-83-61520-18-4.
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA TRANSPORTU, BUDOWNICTWA I GOSPODARKI MORSKIEJ.
- z dnia 26 marca 2013 r. – „wyłączające” Dz.U.2013.440 / 2016-09-07 zm. Dz.U.2016.1317.