

Marta MACIEJEWSKA, Monika KARDACH, Marta GALANT, Paweł FUĆ
 Poznan University of Technology (Politechnika Poznańska)

THE RISK OF HAZARDS ANALYSIS IN UNMANNED AERIAL VEHICLE FLIGHT

Analiza ryzyka zagrożeń w locie bezzałogowym statkiem powietrznym

Abstract: Along with development Commercial Air Transport were observed increase popularity of general aviation, include RPAS (Remotely Piloted Aircraft System). In manned air transport through years created a lot of standards and regulations. For still developing RPAS not created any official rules came from ICAO. This article is a trial to arranged available and commonly using methods risk management hazard to RPAS area. Prepared a list of 72 questions about the hazard sources occurring in the analyzed area. The answers allow to identify 45 sources of hazard. Based on them, 18 hazards were identified. Guided by the ideas and good practices of manned aviation, it is necessary to harmonize legal regulations concerning safety management in unmanned flights.

Keywords: risk of hazards management, remotely piloted aircraft system, hazard sources

Streszczenie: Wraz z rozwojem lotnictwa komercyjnego, obserwuje się również rosnącą popularność lotnictwa ogólnego, w tym Bezzałogowych Statków Powietrznych (BSP). W załogowym transporcie lotniczym przez lata powstało wiele norm i przepisów prawnych dotyczących zarządzania ryzykiem. Dla wciąż rozwijających się BSP nie stworzono jeszcze, na tym obszarze zarządzania zaawansowanych zasad. Niniejszy artykuł jest, więc próbą adaptacji dostępnych i powszechnie wykorzystywanych metod zarządzania ryzykiem zagrożeń do obszaru BSP. Opracowano listę 72 pytań o występowanie źródeł zagrożeń w badanym obszarze analiz. Odpowiedzi pozwoliły na rozpoznanie 45 źródeł zagrożeń. Na ich podstawie zidentyfikowano 18 zagrożeń. Kierując się ideami i dobrymi praktykami lotnictwa załogowego, należy doprowadzić do ujednoczenia unormowań prawnych dotyczących zarządzania bezpieczeństwem w lotach bezzałogowych.

Słowa kluczowe: zarządzanie ryzykiem zagrożeń, bezzałogowe statki powietrzne, źródła zagrożeń

1. Introduction

Aviation is the best procedurally organized branch of transport. Procedures and research lead in this domain make possible travel in short time to different part of the world. Along with development Commercial Air Transport were observed increase popularity of general aviation, include RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*), which are defined as *an aircraft that is flown from a remote location without a pilot located in the aircraft itself* [18]. During progress RPAS there was a necessity to lead research to provide acceptable level of risk. Nowadays is trend aimed to limited mistakes related with human factor. In response to this arise new and more specific standards and safety systems. According to ICAO (*International Civil Aviation Organization*) requirements there are three strategy of risk management: reactive, preventive and proactive method [8]. The first method carry to events, which have already taken, like incidents and accidents. Preventive method actively recognized risk through analysis organized actions. Last method is proactive, which value system action in real time during ordinary operations to define potencial hazards [14]. In this article focused on formulated hazards in chosen area, which is one of the key stage of process risk analysis. In manned air transport through years created a lots of standards and regulations [8, 19]. For still developing RPAS not created any official rules came from ICAO.

Only available form regulations for RPAS area described JARUS (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems). Information contained there have only advisory character, not legal/lawful. This article is a trial to arranged available and commonly using methods risk management hazard to RPAS area.

2. Risk management algorithm

Risk is defined as combination of probability activated hazards in unwanted event and due to, in case of that, damage [1]. To achieved acceptable level of risk should be used risk management algorithm (fig. 1). Algorithm divided for two main parts: risk assessment and response to risk. The first part was risk analysis and risk evaluation. To achieved analysis should recognized analysis area, hazard sources and formulated hazards. First step at risk management algorithm is recognized analysis area, it's understood as identification or description. Identification analysis area is equivalent to collect information necessary to take risk hazards assessment including all environment factors, which could have impact on generation hazard sources. After recognized analysis area accede to identified hazard sources. It can be executed with using checklist. Compilation of control questions was

performed based on analysis of collected information. The results of performed control list should be establishment that in analysis area occurred factors, which could be define as hazard sources. After recognized analysis area next came process of identification hazard sources. According to SMM (Safety Management Manual) it's formulated, documented action based on reactive, proactive and preventive methods collecting safety data [4, 7]. The most appropriate it's predictable methodology, which is known also as predictive approach.

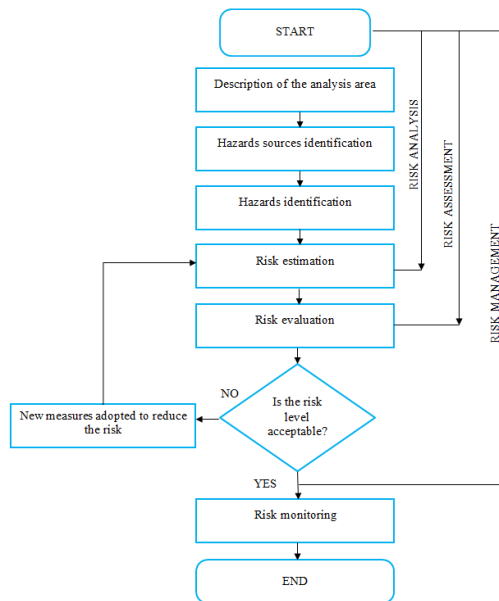


Fig. 1. Risk management algorithm, own elaboration, based on [4, 9, 11, 12, 17]

This methodology include action related with predicted future events and trends. Based on current and historical episodes there are searching relations, which could predicted future hazard sources. There are many models, which concern on safety flight theory, include: Singleton's theory, C. O. Miller's theory, 5M theory, Model SHEL(L), B. F. Łomotow's nad K. K. Płatnow's theory, James Reason's Theory, HFACS – System and classification impact of human factor. Regardless for diversity listed theory, constantly human factor is the key element, without the system could not act and arise. For example in SHEL Hawkin's model (S – software, H – hardware, E – environment, L – liveware) from 1975 human was presented as critical element of human – human, human – environment, human – technic, human – automatic, human systems or as the most flexible element, which

can interfere in each part of system. It's from human, in big step, depend, that flight operation will end succeed. SHELL model's is concept tool used to analyzed interaction of various system components. Schematic diagram SHELL model's is present on fig. 2. This model emphasized on individually and human contact points with other system ingredients and characteristic. The human factor (L) take central position in model. There are connection with every factor (S, H, E) and otherwise was added one additionally element – L. This element described, that there are disharmony also on human factor – human factor contact points. Matching factor to other elements should state about efficient system work as whole [3, 4, 6, 13]. Due to the complexity of risk management process, in this article focused on action related with risk analysis, to be more specific, was used first three steps of risk management algorithm. In the future this article will be base to further considerations on risk assessment.

3. Implementation selected steps of the risk assessment algorithm

3.1. Description of the area of analysis

Identification of the area of analysis is a key step to the risk assessment algorithm. The area should be defined as generally as it can be universal and as thoroughly to enable a clear results' interpretation. Unmanned Aerial Vehicle Operation in Visual Line of Sight in uncontrolled airspace of FIR Warsaw on the green fields of large city suburbs (Poznań in this case) was chosen as the area of the analysis (fig. 2). At the distance of several hundred meters, there is a border of Controlled Zone. Above the considered area there is a Terminal Maneuvering Area (TMA). Up to a radius of several kilometers, there are railroad tracks, highway and airport.

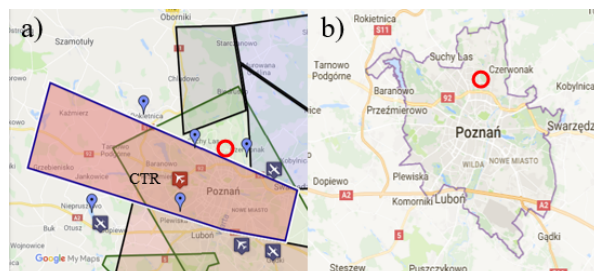


Fig. 2. The area of the analysis (red circle symbolizes borders of the area) a) The map of the area with airspace structure, b) The area on Poznań map

The risk analysis will be based on the planned flight operation. Unmanned Aerial Vehicle chosen to carry out the operation is a quadcopter (UAV with 4 brushless electric motors) weighting 1.2 kg and approximated flight time – 20 minutes. It has a Return to Home option. Its' range stays up to 100 m and maximum height of flight reaches 5000 m a.s.l and the speed up to 10 m per s. It has got a GPS and accelerometer. It is assumed that UAV does not have enough sensors to overcome all the potential obstacles. It doesn't have a auto-hover function allowing for stable hanging in one position in the case of releasing sticks. It's not possible to start and land fully automatically and to set the "safety flight borders". Due to the fact that UAV can not avoid obstacles, setting the appropriate flight attitude when setting RTH is necessary. RTH won't work if the GPS signal is to weak. In the UAV there are three flight modes available: P – positioning based on GPS, A – Altitude based on barometer parameters and F – Function intelligent orientation UAV. Modes can be changed by a switch in controller. The controller allows to send a signal up to 1 km. The best solution is when the antenna of the controller are positioned 45 degrees from one another. UAV is powered by lithium-polymer battery performance 4200 mAh. Use in case of low temperatures (< 10°C) is not recommended. The temperature of the battery should be higher than 5°C. The operator is a man without special allowance, over 18 years old with a child. Sightseeing photos for private use and familiarize the child with new technologies are the purpose of the flight.

3.2. Process of identification hazard sources and hazards formulation

For implementation hazard sources identification should connect proactive, reactive and preventive methodology. Based on all three methodology extracted sources, which can be useful at identification hazard sources process.

The most frequently used method to identify possible sources of threats is the checklist procedure [4]. This method is one of the most formalized and also most reliable procedure. Preparation of this checklist is proceeded by another one, which is a "brain storm". This allow to fined particularly important hazard sources. Creation of checklists, information about sources of threats, in a given area and their type, is taken into account. To created check list about identification hazard sources, the analysis area was divided to five groups, according to SHELL model's, which was described in point 2: S – hazard sources concern on procedures, H hazard sources concern on RPAS, E – hazard sources related with environment, L_A – hazard sources concern on RPAS operator, L_B – other.

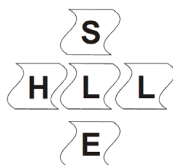


Fig. 3. Schematic diagram SHELL(L) model's [2, 4, 6]

To create a checklist about the occurrence of hazard sources in the analyzed area (tab. 1) were used, among others Airspace Use Plan (AUP) [20], Aeronautical Information Publication (AIP) [16] and instruction of selected RPAS. The next step after the check list about hazard sources in the area of tests is to answer the questions on the list above, by mark the right column (“yes”, or “no”). Among the checkboxes, there are shaded “critical fields”. If the answer mark coincides with the shaded field it may suggest occurrence of the hazard source. The succeeding step is to identify hazard sources based on separation of the answers covering “critical fields”.

Table 1

Fragments of checklist of questions about the occurrence of hazard sources in the analyzed flight along with the answers provided

Mark	Question	YES	NO
1 group of questions – environment conditions			
E. 1.	Is there a possibility that there are high point infrastructure facilities near the place of the flight?	X	
E. 2.	Is it possible that the operator will not notice the elements of the line infrastructure?	X	
E. 4.	Is there a possibility of sudden strong gusts of wind?	X	
E. 6.	Is there a possibility that there is a high-traffic airport in the immediate vicinity?	X	
E. 10.	Is it possible that the flight is performed at night?		X
E. 14.	Is there a possibility of negative temperatures?		X
...			
2 group of questions - regarding BSP			
H. 5.	Is there a possibility that the controller is charged?	X	
H. 9.	Is there a possibility that there are cavities on the surface of the propeller?	X	
...			
3 group of questions - BSP operator			
LA. 2.	Is it possible that the BSP operator is feeling bad?	X	
LA. 5.	Is it possible that the operator does not know the structure of the airspace?	X	

table 1 cont.

LA. 6.	Is it possible that the operator has not read the operating instructions?	X	
LA. 14.	Is it possible that the operator did not calibrate the GPS?	X	
LA. 19.	Is there a possibility that the operator will ignore the low battery warning?	X	
LA. 22.	Is there any assurance that the operator will first turn on the transmitter and then the BSP?		X
...			
4 group of questions - other related to man			
LB. 3.	Is it possible to take over the controller without the consent of the owner?		X
...			
5 group of questions - procedures			
S. 1.	Is it possible that the flight takes place in the CTR?	X	
S. 5.	Is it possible that the BSP flight takes place in airspace structures marked as military?		X
S. 15.	Is it possible that the operator will not be familiar with the AIP?	X	

The most questions is about occurrence hazard sources concern on RAPS operator (human). The positive answers can receive at questions about psychophysical operator state, as also his qualification and skills. After answering the questions from the checklist, the sources of threats are identified (tab. 2). The diagnosis is based on a checklist and answers to questions. The source of danger is recognized when the answer to the question coincides with the gray field in the table.

Table 2

Fragments of recognized hazard sources

Mark	Sources of threats identified on the basis of selected control questions
1 group of questions – environment conditions	
E.1.	Occurrence of high point infrastructure facilities near the place of flights
E. 2.	Unnoticed by the operator of linear infrastructure elements
E. 4.	The occurrence of sudden, strong gusts of wind
E. 6.	Close to the location of a high-traffic airport
...	
2 group of questions - regarding BSP	
H. 9.	Defects occurring on the surfaces of propellers
...	
3 group of questions - BSP operator	
LA. 2.	Bad mood of the BSP operator
LA. 5.	Lack of knowledge of the airspace structure by the operator

table 2 cont.

LA. 6.	Lack of knowledge of the BSP instruction manual
LA. 14.	No compass calibration
LA. 19.	An unconscious change in the mode in which BSP years
...	
4 group of questions - other related to man	
LB. 3.	Taking over the controller without the owner's consent
...	
5 group of questions - procedures	
S. 1.	Conducting a flight in the CTR zone
S. 15.	The operator does not recognize the AIP

After recognizing and formulating the sources of hazards, they are grouped to identify potential threats. These hazards are the result of the coexistence of sources of hazards in the area of analyzes [4, 5].

Table 3

List of formulated hazards

Number of sources	Hazard
E. 1; E.3; E.4; S. 13; S. 17; H. 9; LA. 7; LB. 5;	The possibility of BSP collision with a point infrastructure facility.
E. 2; E.3; S. 13; E. 7; H. 9; LA. 16; LA. 19; LB. 5;	The possibility of BSP collision with a linear infrastructure object
E. 5; E. 6;	The possibility of colliding UAV with other airship
E. 3; H. 1; H. 2; E. 9; LA. 19; LB. 5;	The possibility of BSP collision with the ground
E. 4; S. 16; LA. 6; LA. 8; LA. 9;	The possibility of BSP collision with a human being
LB. 4;	The possibility of flight performed by an unauthorized person
H. 6;	Possibility of detachment of SP elements in the air
E. 5; LA. 1;	Possibility of collision in the air
E. 8;	The BSP operator's vision can be overloaded
LA. 2; LA. 10;	Possibility of occasional unavailability of the BSP operator
LA. 2; LA. 10;	The possibility of fainting the operator caused by its poor condition
H. 8; LA. 6;	Possibility of a BSP fire.
LA. 18; LB. 1; LB. 3; LA. 4;	The possibility of damage to someone else's property due to operator error
LA. 21; S. 12; LB. 6; LA. 3; LA. 6, S. 11;	Possibility of BSP damage during the start
S. 4; S. 14; S. 15; LA. 5; LA. 14, LA. 13; LB. 3;	The possibility of violating the reserved or separated space
S. 1; S. 14; S. 15; LA. 5; LA. 14, LA. 13; LB. 3;	The possibility of violating the controlled space
S. 16; LB. 1;	Possibility of damage to health by people on the ground
S. 7. LA. 6;	Possibility of BSP damage during landing.

3.3. Risk estimation

The method selected for risk estimation is MICE-RISK. This method belongs to the qualitative and determines the probability of the probability of the effects of the event. For risk estimation, the following relationship is used [4]:

$$R = 3 \cdot K_1 + 2 \cdot K_2 + 2 \cdot K_3$$

where:

K_1 – probability of catastrophe occurrence,

K_2 – level of loss amounts expressed in PLN,

K_3 – level of loss amount expressed in the number of victims.

The values of individual parameters are determined on the basis of assigned scales (tables 4-6).

Table 4

The quantification of levels K_1 - probability of occurrence of an event [4]

Probability level K_1	Characteristic	Chance of occurrence
10	very probable	80%
6	probable	40%
3	unlikely	5%
1	sporadically possible	1%
0.1	theoretically possible	10 ⁻² %

Table 5

Scheme of quantification of K_2 levels - loss amounts expressed in PLN [4]

K_2 level	Characteristic	Material losses
20	serious catastrophe	>3 M PLN
10	catastrophe	0.3-30 M PLN
5	extra large	30-300 K PLN
1	large	3-30 K PLN
0.1	small	<3 K PLN

Table 6

Scheme of quantification of levels K_3 - expressed in the number of victims [4]

K_2 level	Characteristic	Human losses
20	serious catastrophe	many mortal victims
10	catastrophe	one mortal victim
5	extra large	serious injury
1	large	first aid
0.1	small	nought human losses

After determining individual parameters and the risk indicator R, the risk is assessed according to the five-degree scale adopted in the method (tab. 8) [4].

Table 7

The quantification of risk levels R [4]

Risk value (R)	Risk level	Risk category
$R \leq 10$	negligible	Acceptable
$10 < R \leq 25$	low	
$25 < R \leq 60$	important	Tolerant
$60 < R \leq 85$	high	Unacceptable
$R > 85$	Very high	

Based on described method carried out risk estimation (tab. 8):

Table 8

Risk estimation

Number of hazard	Variable K ₁	Variable K ₂	Variable K ₃	Risk value (R)	Risk level	Risk category
1	3	0.1	0.1	9.4	negligible	acceptable
2	6	0.1	1	18.4	low	acceptable
3	0.1	10	1	22.3	low	acceptable
4	6	0.1	1	20.2	low	acceptable
5	3	1	10	31	important	tolerable
6	6	0.1	0.1	18.4	low	acceptable
7	1	0.1	0.1	3.4	negligible	acceptable
8	6	5	5	38	important	tolerable
9	0.1	0.1	0.1	0.7	low	acceptable
10	0.1	0.1	0.1	0.7	low	acceptable
11	0.1	0.1	0.1	0.7	low	acceptable
12	1	0.1	0.1	3.4	negligible	acceptable
13	3	1	0.1	11.2	low	acceptable
14	3	0.1	0.1	9.4	negligible	acceptable
15	6	1	0.1	20.2	low	acceptable
16	6	5	0.1	28.2	important	tolerable
17	0.1	0.1	1	2.5	negligible	acceptable
18	3	0.1	0.1	9.4	negligible	acceptable

Among the defined hazards, three have reached the level of risk identified as important, eight as negligible and seven as low. After the risk categorization, the results were: 3 hazards fall into the tolerated category, while fifteen hazards fall into an acceptable category. The rare of the identified hazards did not reach the unacceptable level. In the case of such a level, the analyzed system should not be allowed to function. The estimated risk values are small due to the amount of losses

expressed in zlotys, which in the case of unmanned aircraft will not be high. Three of the formulated hazards have achieved the tolerable risk category. When identifying this category, preventive actions should be taken, which will lead to the removal of sources of danger or to reduce the risk. However, the level of risk should be constantly monitored. Fifteen hazards have reached the level of accreditation. This means that there is no need to take risk-reducing measures, but you should still control its level [4].

4. Conclusions

Recreational flights with unmanned aerial vehicles often take place in the airspace above the urban area. For this reason, many risks are generated related to the environment, the structure of the airspace, legal restrictions, population density, as well as the operator's person and the operated unmanned aerial vehicle. Due to the lack of enforcement of existing regulations and the ease of access to BSP, this area is particularly vulnerable to the occurrence of hazards. In the analyzed area of analysis, a list of 72 questions about the source of the threat was prepared, of which 45 sources of threats were identified. Based on them, 18 hazards were identified. In further work a risk management model should be developed. Determine how to respond to threats that lead to an improvement in the level of risk. The developed methods should be reported to the relevant state authorities, e.g. to the Civil Aviation Authority for the purpose of their widest possible promotion. Due to the growing interest in non-commercial use of BSP in both VLOS and BVLOS flights, it is appropriate to extend the analysis to other purposes and areas of unmanned operations. Guided by the ideas and good practices of manned aviation, it is necessary to harmonize legal regulations concerning safety management in unmanned flights.

5. References

1. Chruzik K., Fellner A., Risk management in transport. *Logistyka*, No. 4, 2015.
2. Cieślak E., Safety in aviation. *Safety and reliability in aviation*, Toruń 2009.
3. Fellner A., Osowski M.: Taking into account the human factor in the analysis of the safety of the human resources management process. *Forensics problems*, Vol. 290(4), 2015.
4. Galant M.: Limiting the risk of threats in general aviation through the use of a system monitoring the psychophysical state of the pilot. PhD dissertation, Poznań 2017.
5. Gill A.: The concept of a security system for selected hazards in tram communication. *Technic of Rail Transport*, No. 10, 2013.

6. Grochowski M.: Conclusions from the investigation of aviation events conducted by the State Aviation Aerodrome Accident Investigation Commission. Safety and reliability in aviation, Toruń 2009.
7. International Civil Aviation Organization, Safety Management, Pub. International Civil Aviation, Warszawa 2009.
8. International Civil Aviation Organization, Safety Management Manual, Doc. 9859 ICAO, Wyd. Urząd Lotnictwa Cywilnego, Warszawa 2013.
9. Kadziński A.: A study of selected aspects of reliability of railway vehicle systems and objects. Publishing of Poznan University of Technology, Poznań 2013.
10. Klich E.: Safety of flight operations. Radom 2011.
11. Koradecka D.: Safety and ergonomics of work. Vol. 2, Publishing CIOP, Warszawa 1999.
12. Krystek R. (ed.): Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu. Tom III. Koncepcja zintegrowanego systemu bezpieczeństwa transportu w Polsce. [Integrated Transport Safety System. Volume III. The concept of an integrated transport security system in Poland]. Politechnika Gdańska, WKŁ, Warszawa 2010.
13. Makarowski R., Smolicz T.: Human factor in aviation accidents Pub. Adriana Aviation sp. z o.o., Kosowizna 2012.
14. Merkisz J., Galant M., Karpiński D.: Assessment and assessment of risk during the flight of the glider in the traffic circuit. Logistics, nr 4, 2014.
15. Merkisz J., Galant M.: Risk management of hazards for route between Ławica-Kobylnica-Bednary airports, Journal of KONBiN, No. 2(22) 2012.
16. Polska Agencja Żeglugi Powietrznej, AIP Polska, Warszawa 2017.
17. Romanowska-Słomka I., Słomka A.: Professional risk management. Publishing Tarbonus, Tarnobrzeg 2005.
18. Tkacz M.: Drones - legal aspect and legal consequences from the point of view of the police. Materiały konferencyjne, Konferencja Bezpieczeństwa w Lotnictwie Cywilnym, Warszawa 2018.
19. Urząd Lotnictwa Cywilnego, Krajowy Plan Bezpieczeństwa 2017-2020, Warszawa 2017.
20. www.pansa.pl

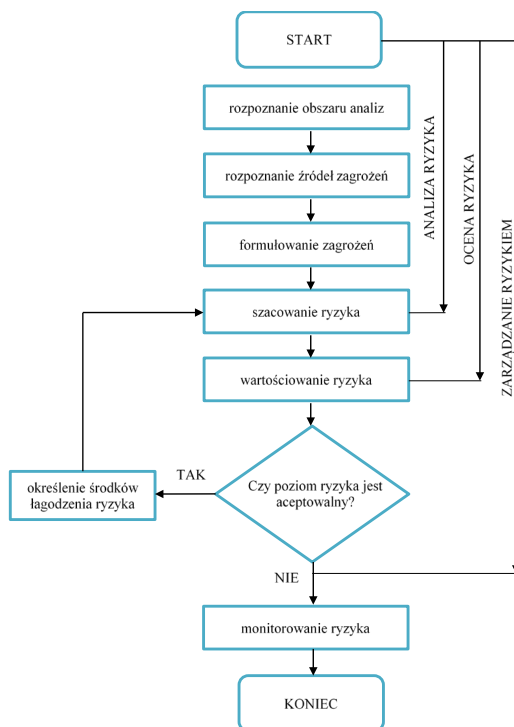
ANALIZA RYZYKA ZAGROŻEŃ W LOCIE BEZZAŁOGOWYM STATKIEM POWIETRZNYM

1. Wprowadzenie

Lotnictwo jest najlepiej zorganizowaną gałęzią transportu. Szereg procedur i badań prowadzonych w tej dziedzinie umożliwia podróżowanie w stosunkowo krótkim czasie do wszelkich zakątków świata. Wraz z rozwojem lotnictwa komercyjnego, obserwuje się również rosnącą popularność lotnictwa ogólnego, w tym bezzałogowych statków powietrznych (BSP), które według ICAO (International Civil Aviation Organization) definiowane są, jako bezpilotowe pojazdy powietrzne, niezabierające na pokład człowieka, pilotowane zdalnie lub autonomicznie, wykonujące zadania w locie [18]. Wraz z rozwojem BSP zaistniała konieczność prowadzenia badań w celu zapewnienia akceptowalnego poziomu ryzyka. Obecnie obserwuje się trend mający na celu ograniczenie błędów ludzkich. W celu zapewnienia bezpieczeństwa w lotnictwie ważne jest utrzymywanie ryzyka na odpowiednim poziomie. W odpowiedzi na to powstają coraz nowsze i dokładniejsze standardy i systemy bezpieczeństwa. Zgodnie z wymaganiami ICAO rozróżnia się trzy strategie zarządzania bezpieczeństwem: metodę reaktywną, prewencyjną i prognozującą [8]. Pierwsza z nich odpowiada za wydarzenia, które już miały miejsce, takie jak incydenty i wypadki. Metoda prewencyjna aktywnie rozpoznaje ryzyko poprzez analizę czynności organizacyjnych. Ostatnią z metod jest metoda prognozująca, która ocenia działanie systemu w czasie rzeczywistym podczas zwykłych operacji w celu określania potencjalnych zagrożeń [14]. W niniejszym artykule skupiono się na formułowaniu zagrożeń w wybranym obszarze analiz, co jest jednym z istotnych etapów procesu oceny ryzyka. W załogowym transporcie lotniczym przez lata powstało wiele norm i przepisów prawnych [8, 19]. Dla wciąż rozwijających się BSP nie stworzono jeszcze żadnych oficjalnych zasad pochodzących od ICAO. Jedyną dostępną formę przepisów dla obszaru BSP opisuje JARUS (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems), jednak zawarte tam informacje nie mają mocy prawnej, a jedynie charakter doradczy. Niniejszy artykuł jest próbą adaptacji dostępnych i powszechnie wykorzystywanych metod zarządzania ryzykiem zagrożeń do obszaru BSP.

2. Algorytm zarządzania ryzykiem

Ryzyko definiuje się jako kombinację prawdopodobieństwa aktywizacji zagrożenia w zdarzeniu niepożądanym i spowodowanych w związku z tym szkód [1]. W celu osiągnięcia jego akceptowalnego poziomu należy zastosować algorytm zarządzania ryzykiem (rys. 1). Algorytm jest podzielony na dwie główne części: ocenę ryzyka i reagowanie na ryzyko. Na pierwszą część składa się analiza i wartościowanie ryzyka. W celu dokonania analizy należy rozpoznać obszar analiz, źródła zagrożeń i sformułować zagrożenia.



Rys. 1. Algorytm zarządzania ryzykiem opracowanie własne na podstawie [4, 9, 11, 12, 17]

Pierwszym krokiem w algorytmie zarządzania ryzykiem jest rozpoznanie obszaru analiz, rozumiane, jako jego identyfikacja lub opis. Rozpoznanie obszaru analiz jest równoznaczne ze zbieraniem informacji niezbędnych do przeprowadzenia oceny ryzyka zagrożeń, uwzględniając wszystkie czynniki otoczenia mogące mieć wpływ na generowanie źródeł zagrożeń. Po rozpoznaniu obszaru analiz przystępuje się do identyfikacji źródeł zagrożeń. Można ją przeprowadzić za pomocą ułożenia listy pytań kontrolnych. Pytania kontrolne opracowuje się na

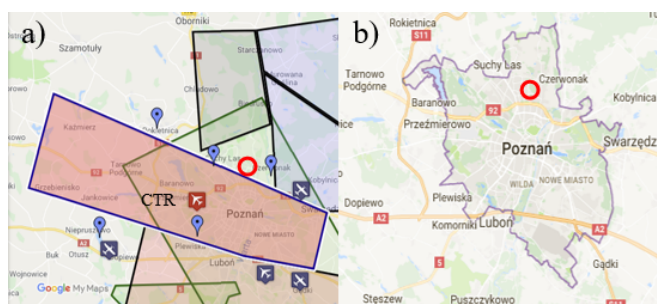
podstawie analizy zebranych informacji, której wynikiem powinno być ustalenie, czy w analizowanym obszarze występują czynniki, które mogą być uznane za źródła zagrożeń. Po rozpoznaniu obszaru analiz następuje proces identyfikacji źródeł zagrożeń, który jest jednym z najważniejszych kroków w procesie zarządzania ryzykiem.

Zgodnie z SMM (Safety Management Manual), jest to sformalizowane, udokumentowane działanie opierające się na reaktywnych, proaktywnych i prognostycznych metodach gromadzenia danych dotyczących bezpieczeństwa [4, 7]. Najbardziej pożądana jest metodyka przewidywalna, zwana również podejściem predykcyjnym (ang. *predictive*), obejmująca działania związane z przewidywaniem przyszłych zdarzeń i trendów. Na podstawie bieżących i historycznych wydarzeń poszukiwane są zależności pozwalające na prognozowanie przyszłych źródeł zagrożeń. Opracowano wiele modeli dotyczących teorii bezpieczeństwa lotów, m.in. [10]: teoria Singletona, teoria C.O. Millera, teoria 5M, model SHEL(L), teoria B.F. Łomowa i K.K. Płatnowa, teoria Jemesa Reasona, HFACS – System analizy i klasyfikacji wpływu czynnika ludzkiego. Bez względu na różnorodność wymienionych teorii, niezmiennie czynnikiem ludzkim jest kluczowym elementem, bez którego system nie może działać ani powstać. Na przykład w modelu SHEL (S – *software*, H – *hardware*, E – *environment*, L – *liveware*) Hawkinsa z 1975 r. człowiek przedstawiony jest jako krytyczny element systemu człowiek – człowiek, człowiek – środowisko, człowiek – technika, człowiek – automatyka, ale też jako najbardziej elastyczny, potrafiący ingerować w każdy z pozostałych elementów systemu. To od niego w dużym stopniu zależy, czy operacja lotnicza zakończy się sukcesem. Model SHELL jest narzędziem koncepcyjnym wykorzystywanym do analizowania wzajemnego oddziaływania różnorodnych komponentów systemu. Schemat ideowy modelu SHELL przedstawiony został na rys. 3. Model ten kładzie nacisk na indywidualne i ludzkie punkty styku z innymi składnikami i cechami systemu. Czynnikiem ludzkim (L) zajmuje centralną pozycję w modelu. Poza tym, że występują powiązania z każdym innym czynnikiem (S, H, E), dodany jest jeszcze dodatkowy element L mówiący o tym, że zakłócenia występują również na styku czynnika ludzkiego z czynnikiem ludzkim, a dopasowanie czynnika do pozostałych elementów powinno stanowić o sprawnej pracy systemu jako całości [3, 4, 6, 13]. W związku ze złożonością procesu zarządzania ryzykiem, w niniejszym artykule skupiono się na działaniach związanych z analizą ryzyka, a dokładniej, skorzystano z trzech pierwszych etapów algorytmu zarządzania ryzykiem. W przyszłości będzie to podstawą do dalszych rozważań nad oceną ryzyka.

3. Realizacja wybranych kroków algorytmu zarządzania ryzykiem

3.1. Rozpoznanie obszaru analiz

Identyfikacja obszaru analiz jest kluczowym etapem algorytmu zarządzania ryzykiem. Określenie go powinno być przeprowadzone na tyle ogólnie, aby możliwa była pewna uniwersalność, a zarazem na tyle szczegółowo, aby uniknąć błędów w interpretacji wyników. Jako obszar analiz przyjęto lot bezzałogowego statku powietrznego z widocznością (VLOS Visual Line Of Sight) w przestrzeni niekontrolowanej FIR (Flight Information Region) Warszawa nad terenem zielonym, na przedmieściach średniej wielkości miasta, w tym przypadku Poznania (rys. 2). W odległości kilkuset metrów przebiega granica CTR (z ang. *Control Zone* – *strefa kontrolowana lotnisk*). Nad obszarem rozciąga się TMA (z ang. *Terminal Manoeuvring Area* – *rejon kontrolowany lotniska*). W promieniu kilku kilometrów znajdują się tory kolejowe, droga szybkiego ruchu, oraz port lotniczy.



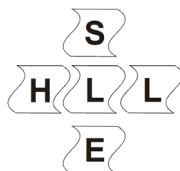
Rys. 2. Przedstawienie obszaru analiz (czerwonym okręgiem oznaczono granice obszaru):
 a) mapa z podziałem na strefy przestrzeni powietrznej występujące w pobliżu,
 b) umiejscowienie obszaru na mapie Poznania

Bezzałogowym statkiem powietrznym wybranym do wykonania operacji lotniczej, na podstawie której przeprowadzona zostanie analiza ryzyka zagrożeń, jest quadkopter (bezzałogowy statek powietrzny posiadający cztery bezszczotkowe silniki elektryczne) o masie ok. 1,2 kg i przewidywanym czasie lotu ok. 20 min. Posiada on funkcję powrotu do domu (*Return to Home* – *RTH*). Jego zasięg to ok. 100 m, maksymalna wysokość lotu to 5000 m n.p.m., a prędkość lotu 10 m/s. Wyposażony jest GPS oraz akcelerometr. Zakłada się, że BSP nie jest wyposażony w wystarczającą liczbę czujników, aby zastosować funkcję pozwalającą na omijanie przeszkód terenowych. Nie posiada opcji *auto-hover* pozwalającej na stabilne zawisnięcie w jednej pozycji w przypadku puszczenia drążków

sterujących, nie ma też funkcji automatycznego startu oraz nie ma możliwości ustawienia granic bezpiecznego latania. Ze względu na to, że BSP nie może omijać przeszkód w funkcji powrotu do domu, należy ustawić odpowiedni pułap lotu (dostosowany do wysokości przeszkód terenowych znajdujących się w zasięgu BSP). Funkcja RTH nie zadziała, jeśli sygnał GPS jest za słaby. W wybranym BSP dostępne są trzy tryby lotu: tryb P (*positioning*) – sygnał na podstawie GPS (P-GPS, P-ATTI), A (*altitude*) – pozycjonowanie na podstawie danych z barometru i F (*function*) – inteligentna orientacja BSP. Tryby zmienia się za pomocą przełącznika w kontrolerze. Kontroler pozwala na przesyłanie sygnału na odległość 1 km. Najlepiej, gdy anteny kontrolera są zgięte pod kątem 45°. BSP zasila bateria litowo-polimerowa o pojemności 4200 mAh. Nie zaleca się używania akumulatora w niskich temperaturach, poniżej 10°C. Temperatura samego akumulatora powinna przekraczać 5°C. Rolę operatora w obszarze analiz pełni człowiek (mężczyzna), nieposiadający świadectwa kwalifikacji, mający powyżej 18 roku życia, któremu towarzyszy dziecko. Celem lotu jest wykonanie zdjęć widokowych przeznaczonych do użytku prywatnego oraz zapoznanie dziecka z nowymi technologiami.

3.2. Proces identyfikacji źródeł zagrożeń oraz formułowania zagrożeń

W celu rozpoznania źródeł zagrożeń należy połączyć podejście proaktywne, reaktywne i prognozujące. Na bazie wszystkich trzech metodologii wyodrębniono źródła danych mogące być przydatne w procesie identyfikacji źródeł zagrożeń. Najczęściej stosowaną metodą pozwalającą na określenie możliwych źródeł zagrożeń jest procedura listy kontrolnej [4]. Metoda ta jest jedną z najbardziej sformalizowanych, a zarazem rzetelnych procedur. Jej sporządzenie poprzedza się inną procedurą, tzw. burzą mózgów, która pozwala na wyłonienie szczególnie istotnych źródeł zagrożeń. Przy tworzeniu list kontrolnych uwzględnia się informacje o źródłach zagrożeń w danym obszarze oraz o ich typie. Do wykonania listy kontrolnej pytań o występowanie źródeł zagrożeń obszar analizy podzielono na pięć grup, zgodnie z modelem SHELL (rys. 3) opisanym w punkcie 2: S – źródła zagrożeń dotyczące procedur, H – źródła zagrożeń dotyczące BSP, E – źródła zagrożeń związane z warunkami środowiskowymi, L_A – operator BSP człowiek, L_B – inne.



Rys. 3. Schemat ideowy SHELL [2, 4, 6]

Do stworzenia listy pytań kontrolnych o występowanie źródeł zagrożeń w analizowanym obszarze (tab. 1) wykorzystano m.in. plan użytkowania przestrzeni powietrznej (*Airspace Use Plan*) [20], zbiór informacji lotniczych (*Aeronautical Information Publication*) [16] oraz instrukcje użytkowania wybranych BSP. Kolejnym krokiem po opracowaniu listy pytań kontrolnych jest udzielenie odpowiedzi na znajdujące się w niej pytania (tab. 1) przez umieszczenie znacznika odpowiedzi w odpowiedniej kolumnie („tak” lub „nie”) [4, 7]. Wśród pól wyboru znajdują się tzw. pola krytyczne oznaczone przez zaciemnienie komórki. Jeżeli znak odpowiedzi umieszczony zostanie w polu krytycznym, to sugeruje to występowanie źródła zagrożeń. Kolejno następuje rozpoznanie źródeł zagrożeń na podstawie wydzielenia z listy tych pytań, w których odpowiedź znalazła się w polu krytycznym.

Tabela 1

Fragmety listy kontrolnej pytań o występowanie źródeł zagrożeń w analizowanym locie wraz z udzielonymi odpowiedziami

Ozn.	Pytanie	TAK	NIE
1 grupa pytań – warunki środowiskowe			
E. 1.	Czy istnieje możliwość, że w pobliżu miejsca wykonywania lotów znajdują się wysokie obiekty infrastruktury punktowej?	X	
E. 2.	Czy istnieje możliwość, że operator nie zauważy elementów infrastruktury liniowej?	X	
E. 4.	Czy istnieje możliwość występowania nagłych silnych powiewów wiatru?	X	
E. 6.	Czy istnieje możliwość, że w bezpośrednim otoczeniu znajduje się lotnisko o dużym natężeniu ruchu?	X	
E. 10.	Czy istnieje możliwość, że lot jest wykonywany nocą?		X
E. 14.	Czy istnieje możliwość wystąpienia ujemnych temperatur?		X
...			
2 grupa pytań – dotyczące BSP			
H. 5.	Czy istnieje pewność, że kontroler jest naładowany?	X	
H. 9.	Czy istnieje możliwość, że występują ubytki na powierzchni śmigła?	X	
...			
3 grupa pytań – operator BSP			
LA. 2.	Czy istnieje możliwość, że operator BSP się źle czuje?	X	
LA. 5.	Czy istnieje możliwość, że operator nie zna struktury przestrzeni powietrznej?	X	
LA. 6.	Czy istnieje możliwość, że operator nie zapoznał się z instrukcją obsługi?	X	
LA. 14.	Czy istnieje możliwość, że operator nie skalibrował GPS?	X	

cd. tabeli 1

LA. 19.	Czy istnieje możliwość, że operator zignoruje ostrzeżenie o niskim poziomie naładowania baterii?	X	
LA. 22.	Czy istnieje pewność, że operator najpierw włączy nadajnik, a później BSP?		X
...			
4 grupa pytań – inne związane z człowiekiem			
LB. 3.	Czy istnieje możliwość, przejęcia kontrolera bez zgody właściciela?		X
...			
5 grupa pytań - procedury			
S. 1.	Czy istnieje możliwość, że lot odbywa się w CTR?	X	
S. 5.	Czy istnieje możliwość, że lot BSP odbywa się w strukturach przestrzeni powietrznej oznaczonych jako militarne?		X
S. 15.	Czy istnieje możliwość, że operator nie zapozna się z AIP?	X	

Najwięcej pytań o występowanie źródeł zagrożeń dotyczy operatora BSP – człowieka. Odpowiedzi pozytywne można uzyskać zarówno w pytaniach o stan psychofizyczny operatora, jak i o jego kwalifikacje i umiejętności. Po udzieleniu odpowiedzi na pytania z listy kontrolnej następuje rozpoznanie źródeł zagrożeń na podstawie listy kontrolnej i odpowiedzi na pytania (tab. 2). Źródło zagrożenia zostaje rozpoznane, kiedy odpowiedź na pytanie pokrywa się z szarym polem w tabeli.

Tabela 2

Rozpoznane źródła zagrożeń

Ozn.	Źródła zagrożeń rozpoznane na podstawie wybranych pytań kontrolnych
1 grupa źródeł zagrożeń – warunki środowiskowe	
E.1.	Występowanie wysokich obiektów infrastruktury punktowej w pobliżu miejsca wykonywania lotów
E. 2.	Niezauważenie przez operatora elementów infrastruktury liniowej
E. 4.	Wystąpienie nagłych, silnych powiewów wiatru
E. 6.	Bliska lokalizacja lotniska o dużym natężeniu ruchu
...	
2 grupa źródeł zagrożeń – dotyczące BSP	
H. 9.	Występowanie ubytków na powierzchniach śmigieł
...	
3 grupa źródeł zagrożeń – operator BSP	
LA. 2.	Złe samopoczucie operatora BSP
LA. 5.	Brak znajomości struktury przestrzeni powietrznej przez operatora
LA. 6.	Brak znajomości instrukcji obsługi BSP
LA. 14.	Brak kalibracji kompasu

cd. tabeli 2

LA. 19.	Nieświadoma zmiana trybu, w którym lata BSP
...	
4 grupa źródeł zarożeń – inne związane z człowiekiem	
LB. 3.	Przejęcie kontrolera bez zgody właściciela
...	
5 grupa źródeł zagrożeń - procedury	
S. 1.	Przeprowadzenie lotu w strefie CTR
S. 15.	Niezapoznanie się operatora z AIP

Po rozpoznaniu i sformułowaniu źródeł zagrożeń następuje ich grupowanie mające na celu określenie potencjalnych zagrożeń (tab. 3). Zagrozenia te są wynikiem współlistnienia źródeł zagrożeń w obszarze analiz [4, 5]. W analizie ryzyka zidentyfikowano 18 zagrożeń, dla których następnie przeprowadzone zostanie szacowanie ryzyka wybraną metodą.

Tabela 3

Zagrożenia

Nr źródła	Zagrożenie
E. 1; E.3; E.4; S. 13; S. 17; H. 9; LA. 7; LB. 5;	Możliwość zderzenia BSP z obiektem infrastruktury punktowej
E. 2; E.3; S. 13; E. 7; H. 9; LA. 16; LA. 19; LB. 5;	Możliwość zderzenia BSP z obiektem infrastruktury liniowej
E. 5; E. 6;	Możliwość zderzenia BSP z załogowym statkiem powietrznym
E. 3; H. 1; H. 2; E. 9; LA. 19; LB. 5;	Możliwość zderzenia BSP z ziemią
E. 4; S. 16; LA. 6; LA. 8; LA. 9;	Możliwość zderzenia BSP z człowiekiem
LB. 4;	Możliwość lotu wykonywanego przez osobę nieupoważnioną
H. 6;	Możliwość oderwania się elementów SP w powietrzu
E. 5; LA. 1;	Możliwość wystąpienia kolizji w powietrzu
E. 8;	Możliwość przeciążenia narządu wzroku operatora BSP
LA. 2; LA. 10;	Możliwość wystąpienia chwilowej niedyspozycji operatora BSP
LA. 2; LA. 10;	Możliwość zasłabnięcia operatora wywołanego jego złym stanem
H. 8; LA. 6;	Możliwość wystąpienia pożaru BSP.
LA. 18; LB. 1; LB. 3; LA. 4;	Możliwość uszkodzenia cudzego mienia wskutek błędu operatora
LA. 21; S. 12; LB. 6; LA. 3; LA. 6, S. 11;	Możliwość uszkodzenia BSP podczas startu

cd. tabeli 3

S. 4; S. 14; S. 15; L _A . 5; L _A . 14, L _A . 13; L _B . 3;	Możliwość naruszenia przestrzeni zarezerwowanej lub wydzielonej
S. 1; S. 14; S. 15; L _A . 5; L _A . 14, L _A . 13; L _B . 3;	Możliwość naruszenia przestrzeni kontrolowanej
S. 16; L _B . 1;	Możliwość doznania uszczerbku na zdrowiu przez osoby znajdujące się na ziemi
S. 7. L _A . 6;	Możliwość uszkodzenia BSP podczas lądowania

3.3. Szacowanie ryzyka

Metoda, którą wybrano do szacowania ryzyka, to MICE-RISK. Metoda ta należy do jakościowych i określa ryzyko prawdopodobieństwa skutków zdarzenia. Do szacowania ryzyka wykorzystuje się następującą zależność [4]:

$$R = 3 \cdot K_1 + 2 \cdot K_2 + 2 \cdot K_3$$

gdzie:

K_1 – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia wypadkowego,

K_2 – poziom wielkości strat wyrażony w złotychkach,

K_3 – poziom wielkości strat wyrażony w liczbie ofiar.

Wartości poszczególnych parametrów określa się na podstawie przypisanych skal (tabele 4–6).

Tabela 4

Schemat kwantyfikacji poziomów K_1 – prawdopod. wystąpienia zdarzenia [4]

Poziom K_1	Charakterystyka	Szansa wystąpienia
10	bardzo prawdopodobne	80 %
6	prawdopodobne	40 %
3	mało prawdopodobne, ale możliwe	5 %
1	sporadycznie możliwe	1 %
0,1	teoretycznie możliwe	10^{-2} %

Tabela 5

Schemat kwantyfikacji poziomów K_2 – wyrażony w złotychkach [4]

Poziom K_2	Charakterystyka	Straty materialne
20	poważny wypadek	> 3 mln zł
10	wypadek	0,3-3 mln zł
5	poważny incydent	30-300 tys. zł
1	incydent	3-30 tys. zł
0,1	zdarzenie lotnicze	< 3 tys. zł

Tabela 6

Schemat kwantyfikacji poziomów K_3 – wyrażony w liczbie ofiar [4]

Poziom K_3	Charakterystyka	Straty materialne
20	poważny wypadek	więcej niż jedna ofiara śmiertelna
10	wypadek	jedna ofiara śmiertelna
5	poważny incydent	ciężkie uszkodzenia ciała
1	incydent	udzielenie pierwszej pomocy
0,1	zdarzenie lotnicze	brak strat w ludziach

Po określeniu poszczególnych parametrów oraz wskaźnika ryzyka R, wartościowanie ryzyka odbywa się według przyjętej w metodzie pięciostopniowej skali (tab. 8) [4].

Tabela 7

Schemat kwantyfikacji poziomów ryzyka R i jego kategorii [4]

Wartość (R)	Charakterystyka	Kategoria ryzyka
$R \leq 10$	pomijalne	akceptowalne
$10 < R \leq 25$	małe	
$25 < R \leq 60$	istotne	tolerowane
$60 < R \leq 85$	duże	nieakceptowalne
$R > 85$	bardzo duże	

Bazując na opisanej metodzie przeprowadzono szacowanie ryzyka (tab. 8).

Tabela 8

Szacowanie ryzyka

Nr zagrożenia	K_1	K_2	K_3	Wartość wskaźnika ryzyka	Poziom ryzyka	Kategoria ryzyka
1	3	0,1	0,1	9,4	pomijalne	akceptowalne
2	6	0,1	1	18,4	małe	akceptowalne
3	0,1	10	1	22,3	małe	akceptowalne
4	6	0,1	1	20,2	małe	akceptowalne
5	3	1	10	31	istotne	tolerowane
6	6	0,1	0,1	18,4	małe	akceptowalne
7	1	0,1	0,1	3,4	pomijalne	akceptowalne
8	6	5	5	38	istotne	tolerowane
9	0,1	0,1	0,1	0,7	małe	akceptowalne
10	0,1	0,1	0,1	0,7	małe	akceptowalne
11	0,1	0,1	0,1	0,7	małe	akceptowalne
12	1	0,1	0,1	3,4	pomijalne	akceptowalne
13	3	1	0,1	11,2	małe	akceptowalne
14	3	0,1	0,1	9,4	pomijalne	akceptowalne
15	6	1	0,1	20,2	małe	akceptowalne
16	6	5	0,1	28,2	istotne	tolerowane
17	0,1	0,1	1	2,5	pomijalne	akceptowalne
18	3	0,1	0,1	9,4	pomijalne	akceptowalne

Wśród zdefiniowanych zagrożeń trzy osiągnęły poziom ryzyka określany jako istotny, osiem jako pomijalny oraz siedem jako mały. Po kategoryzacji ryzyka uzyskano wyniki: trzy zagrożenia mieszczą się w kategorii „tolerowane” – należy podejmować działania zapobiegawcze, które prowadzić będą do usunięcia źródeł zagrożeń lub do redukcji ryzyka, natomiast 15 zagrożeń mieści się w kategorii „akceptowalne” – nie ma konieczności podejmowania działań zmniejszających ryzyko, ale należy nadal kontrolować jego poziom. Żadne z rozpoznanych zagrożeń nie osiągnęło poziomu nieakceptowalnego. W przypadku takiego poziomu nie należy dopuszczać do funkcjonowania analizowanego systemu. Oszacowane wartości ryzyka są niewielkie ze względu na wielkości strat wyrażone w złotych, które w przypadku bezzałogowych statków powietrznych nie będą wysokie [4].

4. Podsumowanie i wnioski

Rekreacyjne loty bezzałogowymi statkami powietrznymi często odbywają się w przestrzeni powietrznej nad obszarem miejskim. Z tego powodu generowanych jest wiele zagrożeń związanych ze środowiskiem, strukturą przestrzeni powietrznej, ograniczeniami prawnymi, gęstością zaludnienia, a także osobą operatora oraz eksploatowanym bezzałogowym statkiem powietrznym. Ze względu na brak egzekwowania istniejących przepisów oraz łatwość dostępu do BSP obszar ten jest szczególnie narażony na występowanie zagrożeń. W badanym obszarze analiz opracowano listę 72 pytań o źródła zagrożenia, z czego rozpoznano 45 źródeł zagrożeń. Na ich podstawie zidentyfikowano 18 zagrożeń. W dalszych pracach należy opracować model postępowania wobec ryzyka. Należy określić sposoby reagowania na zagrożenia, prowadzące do zmniejszenia poziomu ryzyka. Opracowane sposoby należy zgłaszać do odpowiednich organów państwowych, np. do Urzędu Lotnictwa Cywilnego w celu ich jak najszerszego propagowania. Ze względu na rosnące zainteresowanie niekomercyjnym wykorzystaniem BSP zarówno w lotach VLOS, jak i BVLOS, celowe staje się rozszerzenie analiz na inne cele i obszary operacji bezzałogowych. Kierując się ideaми i dobrymi praktykami lotnictwa załogowego, należy doprowadzić do ujednoczenia unormowań prawnych dotyczących zarządzania bezpieczeństwem w lotach bezzałogowych.

5. Literatura

1. Chruzik K., Fellner A.: Zarządzanie ryzykiem w transporcie. *Logistyka*, 4, 2015, 73117320.
2. Cieślak E.: Bezpieczeństwo w lotnictwie. Bezpieczeństwo i niezawodność w lotnictwie, Toruń 2009.
3. Fellner A., Osowski M.: Uwzględnienie czynnika ludzkiego w analizie bezpieczeństwa procesu zarządzania zasobami ludzkimi. *Problemy kryminalistyki*, 290(4), 2015.
4. Galant M.: Ograniczanie ryzyka zagrożeń w lotnictwie ogólnym przez zastosowanie systemu monitorującego stan psychofizyczny pilota. Rozprawa doktorska, Poznań 2017.
5. Gill A.: Koncepcja systemu bezpieczeństwa dla wybranych zagrożeń w komunikacji tramwajowej, *Technika Transportu Szynowego*, nr 10/2013.
6. Grochowski M.: Wnioski z badań zdarzeń lotniczych prowadzonych przez Komisję Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego. Bezpieczeństwo i niezawodność w lotnictwie, Toruń 2009.
7. International Civil Aviation Organization: Podręcznik Zarządzania Bezpieczeństwem, Wyd. Urząd Lotnictwa Cywilnego, Warszawa 2009.
8. International Civil Aviation Organization: Safety Management Manual, Doc. 9859 ICAO, Wyd. Urząd Lotnictwa Cywilnego, Warszawa 2013.
9. Kadziński A.: Studium wybranych aspektów niezawodności systemów oraz obiektów pojazdów szynowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2013.
10. Klich E.: Bezpieczeństwo lotów, Radom 2011.
11. Koradecka D.: Bezpieczeństwo i ergonomia pracy. Tom 2, Wydawnictwo CIOP, Warszawa 1999.
12. Krystek R. (red.): Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu. Tom III. Koncepcja zintegrowanego systemu bezpieczeństwa transportu w Polsce. Politechnika Gdańska, WKŁ, Warszawa 2010.
13. Makarowski R., Smolicz T.: Czynniki ludzkie w wypadkach lotniczych. Wyd. Adriana Aviation sp. z o.o., Kosowizna 2012.
14. Merkiś J., Galant M., Karpiński D.: Szacowanie i ocena ryzyka podczas lotu szybowca w kręgu nadlotniskowym. *Logistyka*, nr 4, 2014.
15. Merkiś J., Galant M.: Ocena ryzyka zagrożeń na trasie Ławica-Kobylnica-Bednary. *Journal of KONBiN* 2(22) 2012.
16. Polska Agencja Żeglugi Powietrznej: AIP Polska, Warszawa 2017.
17. Romanowska-Słomka I., Słomka A.: Zarządzanie ryzykiem zawodowym. Wydawnictwo Tarbonus, Tarnobrzeg 2005.
18. Tkacz M.: Drony – aspekt prawny i konsekwencje prawne z punktu widzenia policji. Materiały konferencyjne, Konferencja Bezpieczeństwa w Lotnictwie Cywilnym, Warszawa 2018.
19. Urząd Lotnictwa Cywilnego: Krajowy Plan Bezpieczeństwa 2017-2020, Warszawa, 2017.
20. www.pansa.pl