



**POLISH AIR FORCE UNIVERSITY**

ISSN 2720-197X

# **AVIATION AND SECURITY ISSUES**



**No. 3(1/2023)**





POLISH AIR FORCE UNIVERSITY

ISSN 2720-197X

# AVIATION AND SECURITY ISSUES



No. 3(1/2023)

## RADA NAUKOWA

Przewodniczący Rady Naukowej: gen. bryg. pil. dr inż. Krzysztof CUR, Lotnicza Akademia Wojskowa, Polska

prof. dr hab. Bogdan GREUDA, Akademia Sztuki Wojennej, Polska

dr hab. Jan RAJCHEL, Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy, Polska

dr hab. Adam RADOMYSKI, Lotnicza Akademia Wojskowa, Polska

dr inż. Krzysztof OGONOWSKI, Lotnicza Akademia Wojskowa, Polska

assoc. prof. Ecaterina-Liliana MIRON, "Henri Coandă" Air Force Academy, Rumunia

assoc. prof. Robertas KERSYS, Kaunas University of Technology, Litwa

assoc. prof. Nevena ATANASOVA-KRASTEVA, Vasil Levski National Military University, Bułgaria

assoc. prof. Panagiotis KARAMPELAS, Hellenic Air Force Academy, Grecja

assoc. prof. Harald GELL, Theresan Military Academy, Austria

assoc. prof. Stefan DOMJANCIC, "Dr Franjo Tudman" Croatian Defence Academy, Chorwacja

assoc. prof. Eugeniusz CIEŚLAK, Baltic Defence College, Estonia

dr hab. Daniel KUCHAREK, Lotnicza Akademia Wojskowa, Polska

## ZESPÓŁ REDAKCYJNY

Redaktor naczelny

dr Daniel MICHALSKI

Zastępca redaktora naczelnego

dr hab. Dariusz BOGUSZ

Redaktorzy prowadzący

dr inż. Tomasz KULIK

dr hab. Krzysztof GONIEWICZ

Redaktor techniczny

Katarzyna BERNAT-GOLUCH

Redaktor językowy

Emilia RYCZKOWSKA (j. polski)

Redaktor graficzny

Monika GAŚCZYK-PIEKLIK

Sekretarz

Ewa OGONOWSKA

ISSN 2720-197X / eISSN 2956-3380

Elektroniczna wersja czasopisma dostępna na stronie: <https://journal.law.mil.pl>



Wydawca

Wydawnictwo Lotniczej Akademii Wojskowej

ul. Dywizjonu 303 nr 35, Dęblin, Polska

tel.: (+48) 261-517-719

e-mail: [wydawnictwo@law.mil.pl](mailto:wydawnictwo@law.mil.pl)

[www.wojsko-polskie.pl/law](http://www.wojsko-polskie.pl/law)

**Agnieszka CHMIELEWSKA**

**ANALIZA WYBRANEGO WYPADKU PARALOTNIOWEGO Z UWZGLĘDNIENIEM  
DRIVERÓW ISTOTNYCH I TOWARZYSZĄCYCH 1**

ANALYSIS OF A SELECTED PARAGLIDING ACCIDENT INCLUDING RELEVANT  
AND ACCOMPANYING DRIVERS

**Elżbieta POSŁUSZNA**

**HIERARCHIE KONTRA SIECI. RZECZ O WALCE SIECIOWEJ I NIESTEROWANYM  
OPORZE 13**

HIERARCHIES VERSUS NETWORKS. THE IMPORTANCE OF LEADERLESS RESISTANCE  
IN THE NETWAR

**Jerzy KUCK**

**HISTORIA I WSPÓŁCZESNOŚĆ LOTNICTWA TRANSPORTOWEGO  
W MAŁOPOLSCE 27**

HISTORY AND MODERNITY OF TRANSPORT AVIATION IN MAŁOPOLSKA

**Krzysztof GONIEWICZ**

**WYBRANE DZIAŁANIA NA RZECZ POPRAWY GOTOWOŚCI NA WYPADEK KATASTROF  
W RAMACH WDRAŻANIA PROGRAMU SENDAI W POLSCE 55**

SELECTED ACTIVITIES STRENGTHENING DISASTER PREPAREDNESS AS PART  
OF THE IMPLEMENTATION OF THE SENDAI FRAMEWORK

**Dariusz BOGUSZ**

**SYSTEM SZKOLENIA LOTNICZEGO GROB 120 67**

GROB 120 FLIGHT TRAINING SYSTEM

**Małgorzata WILCZYŃSKA**

**NIEPRAWIDŁOWOŚCI W PROCESIE UDZIELANIA ZAMÓWIEŃ PUBLICZNYCH  
WSPÓŁFINANSOWANYCH ŚRODKAMI Z BUDŻETU UNII EUROPEJSKIEJ 85**

IRREGULARITIES IN THE PROCESS OF AWARDING PUBLIC CONTRACTS CO-FINANCED  
BY RESOURCES FROM THE BUDGET OF THE EUROPEAN UNION

**Edyta SZCZEPANIUK**

**WYBRANE ASPEKTY CYBERBEZPIECZEŃSTWA W LOTNICTWIE CYWILNYM 109**

SELECTED ASPECTS OF CYBERSECURITY IN CIVIL AVIATION

**Zbigniew CIEKANOWSKI / Patryk OCHYRA / Andrzej MARJAŃSKI / Sławomir ŻURAWSKI**

**DZIAŁALNOŚĆ RATOWNICZYCH ORGANIZACJI POZARZĄDOWYCH W POLSCE  
NA PRZYKŁADZIE TATRZAŃSKIEGO OCHOTNICZEGO  
POGOTOWIA RATUNKOWEGO 129**

ACTIVITIES OF NON-GOVERNMENTAL RESCUE ORGANIZATIONS IN POLAND  
ON THE EXAMPLE OF TATRA MOUNTAINS VOLUNTEER RESCUE SERVICE

**Dariusz BOGUSZ**

**TRENAŻERY I SYMULATORY LOTNICZE – PROBLEMY DEFINICYJNE 151**

FLIGHT TRAINERS AND SIMULATORS – DEFINITIONAL PROBLEMS

**Anna ŚLESICKA / Błażej ŚLESICKI**

**THE CONCEPT OF DISRUPTING ANTI-RADIATION MISSILES IN A RADAR**

**DECOY SYSTEM 167**

KONCEPCJA ZAKŁÓCANIA POCISKÓW ARM W SYSTEMIE PUŁAPEK RADIOLOKACYJNYCH

**Marek KUSTRA/ Janusz PŁACZEK / Małgorzata ŻMIGRODZKA**

**PRÓBA WYZNACZENIA SKALI JAKOŚCI OBSŁUGI PASAŻERÓW**

**PRZEZ LINIE LOTNICZE 183**

AN ATTEMPT TO DETERMINE THE SCALE OF THE QUALITY OF PASSENGER SERVICE BY AIRLINES

**Paweł SZCZEPANIAK / Agnieszka GUGAŁA-SZCZERBICKA / Dariusz RODZIK**

**ROLA SYSTEMÓW BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH W ZADANIACH**

**MEDYCZNEGO ZABEZPIECZENIA POLA WALKI 193**

THE ROLE OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS IN THE TASKS OF MILITARY MEDICAL SUPPORT ON BATTLEFIELD

**Małgorzata KIRSCHENSTEIN / Krzysztof CUR**

**ANALIZA ZJAWISKA MGŁY W ASPEKTCIE WYKONYWANIA OPERACJI LOTNICZYCH**

**NA WYBRANYCH LOTNISKACH W POLSCE 213**

ANALYSIS OF THE PHENOMENON OF FOG IN THE ASPECT OF PERFORMANCE OF AIR OPERATIONS AT SELECTED AIRPORTS IN POLAND

**Stepan SAVCHUK / Janusz ĆWIKŁAK / Vladyslav KERKER**

**ACCURACY ASSESSMENT OF PRECISE POINT POSITIONING WITH**

**MULTI-CONSTELLATION GNSS DATA UNDER STRONG SOLAR BURST EFFECTS 239**

OCENA DOKŁADNOŚCI PRECYZYJNEGO POZYCJONOWANIA PUNKTÓW NA PODSTAWIE DANYCH MULTI-GNSS PRZY SILNYM WPŁYWIE ROZBŁYSKÓW SŁONECZNYCH

**Andrzej FELSKI / Tomasz KOWALIK**

**SOFTWARE DEFINED RADIO AND OPEN SOFTWARE AS A CRITICAL THREAT**

**FOR UNMANNED OBJECTS 255**

RADIO PROGRAMOWALNE I OTWARTE OPROGRAMOWANIE JAKO KRYTYCZNE ZAGROŻENIE DLA OBIEKTÓW BEZZAŁOGOWYCH

**Jarosław CYDEJKO**

**GALILEO HAS – FIRST PERFORMANCE TESTS DURING ITS INITIAL PHASE**

**OF OPERATION 265**

GALILEO HAS – PIERWSZE TESTY PARAMETRÓW OPERACYJNYCH SERWISU W JEGO POCZĄTKOWEJ FAZIE OPERACYJNEJ

**Artur GOŚ / Kamil KRASUSKI / Wojciech MAZUR**

**ACCURACY ANALYSIS OF AIRCRAFT POSITIONING USING NAVIGATIONAL DATA**

**FROM AVIA-W RADAR 287**

ANALIZA DOKŁADNOŚCI POZYCJONOWANIA STATKU POWIETRZNEGO NA PODSTAWIE DANYCH NAWIGACYJNYCH Z RADARU AVIA-W

**Adam RADOMYSKI / Anna MICHALSKA**

**DIAGNOZA DZIAŁAŃ OBRONNYCH IZRAELA PRZED TERRORYSTYCZNYMI ATAKAMI**

**RAKietowymi i MOŻDzierzowymi w latach 2001–2012 313**

DIAGNOSIS OF ISRAEL'S DEFENSIVE ACTIONS AGAINST TERRORIST

ROCKET AND MORTAR ATTACKS IN THE YEARS 2001–2012

**Wojciech DAWID / Krzysztof POKONIECZNY / Marek WYSZYŃSKI**

**THE APPLICATION OF THE METHODOLOGY TO DEFINE TERRAIN PASSABILITY**

**ON A DETAILED LEVEL IN VARIOUS CONFIGURATIONS 331**

WYKORZYSTANIE METODYKI WYZNACZANIA PRZEJEZDNOŚCI

TERENU NA POZIOMIE SZCZEGÓŁOWYM W RÓŻNYCH KONFIGURACJACH

**Anna MICHALSKA / Daniel MICHALSKI / Stepan SAVCHUK**

**RELIABILITY OF UNMANNED AERIAL VEHICLES: WINGLETS' ISSUE 353**

NIEZAWODNOŚĆ BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH: ZAGADNIENIE WINGLETÓW

**Marcin SZTOBRYN**

**DIAGNOZA UŻYCIA SAMOLOTÓW F-35 W SIŁACH POWIETRZNYCH RP.**

**ZARYS PROBLEMATYKI 369**

DIAGNOSIS OF THE USE OF THE F-35 IN THE POLISH AIR FORCE. OUTLINE OF THE ISSUES

**Krzysztof CUR / Paweł GOŁDA / Adam RURAK**

**APPLICATION OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS IN THE AIR FORCE 383**

ZASTOSOWANIE BEZZAŁOGOWYCH SYSTEMÓW POWIETRZNYCH W SIŁACH POWIETRZNYCH





**Agnieszka CHMIELEWSKA**

bezpieczne-latanie.pl

e-mail: agnieszka.chmielewska@bezpieczne-latanie.pl

ORCID: 0000-0002-0299-0023

DOI: 10.55676/asi.v3i1.19

## ANALIZA WYBRANEGO WYPADKU PARALOTNIOWEGO Z UWZGLĘDNIENIEM *DRIVERÓW* ISTOTNYCH I TOWARZYSZĄCYCH

ANALYSIS OF A SELECTED PARAGLIDING ACCIDENT INCLUDING RELEVANT  
AND ACCOMPANYING DRIVERS

### Streszczenie

Celem artykułu było przeprowadzenie analizy wybranego wypadku lotniczego i przedstawienie podstawowych pojęć: *driver* istotny i *driver* towarzyszący, które według autorki stanowią wprowadzenie do ustalania przyczyn stymulujących charakter oraz dynamikę przebiegu każdego wypadku lotniczego. Autorka zastosowała analizę piśmiennictwa oraz wtórną analizę dokumentów. Zwrócono uwagę, iż przed biegłymi sądownymi stoją zupełnie nowe wyzwania w zakresie metod badania wypadków. W głównej części artykułu autorka zwróciła uwagę na bardzo długi okres czasowy (ok. 10 lat) prowadzenia postępowania przez krajowe organy bezpieczeństwa w tym konkretnym wypadku paralotniowym. Podsumowując, wskazano na istotną rolę, jaką pełnią *drivery* istotne i towarzyszące w rekonstrukcji wypadku lotniczego i ich wpływ na zarządzanie bezpieczeństwem.

**Słowa kluczowe:** *driver* istotny, *driver* towarzyszący, ryzyko, paralotniarstwo

### Abstract

The aim of the article was to analyze a selected aviation accident and present the basic definitions: relevant and accompanying driver, which, according to the author, are an introduction to determining the causes stimulate the character and dynamics of the course of each air accident. The author used literature analysis and secondary analysis of documents. It was pointed out that forensic experts face completely new challenges in the field of accident investigation methods. In the main part of the article, the author drew attention to the very long period of time (i.e. about 10 years) of conducting proceedings by national security authorities in this particular paragliding accident. To sum up, the important role of relevant and accompanying drivers in the reconstruction of an aviation accident and their impact on safety management was pointed out.

**Keywords:** driver relevant, driver accompanying, risk, paragliding

## 1. WSTĘP

Zdawać by się mogło, że z początkiem XXI w. wszystkie statki powietrzne, które opuszczają fabrykę, będą niezawodne. Niestety, w powietrzu takie pojęcie nie funkcjonuje. Wypadki lotnicze zdarzają się i mimo ciągłego „postępu technicznego” nie można wykluczyć, że mogą zdarzyć się w każdej chwili<sup>1</sup>.

Obserwowany od kilkunastu lat wzrost wydawanych polskich świadectw kwalifikacji pilota paralotni, a także wzrost natężenia obecności paralotni w przestrzeni powietrznej pobudza nas do stałego monitorowania poziomu bezpieczeństwa całego środowiska paralotniowego<sup>2</sup>.

Pomimo dynamicznego rozwoju technologicznego<sup>3</sup> z każdym rokiem rośnie liczba wypadków<sup>4</sup> i poważnych incydentów<sup>5</sup>, w tym wypadków śmiertelnych, związanych z użytkowaniem paralotni<sup>6</sup>. Tendencja ta nie ulega znaczącej zmianie na lepsze, pomimo wielu podejmowanych działań, w szczególności powszechnego badania przyczyn i okoliczności wypadków lotniczych przez polskie organy bezpieczeństwa.

Badanie wypadków lotniczych z uwzględnieniem takich pojęć jak *drivery* istotne oraz towarzyszące, celem uporządkowania przyczyn tych zdarzeń pod względem dynamiki, nasilenia czy trwałości, może zminimalizować liczbę wypadków oraz koszty tych zdarzeń.

W literaturze anglojęzycznej nie znajdujemy opracowań, które bezpośrednio odnoszą się do kwestii analizowania wypadków, ze szczególnym uwzględnieniem *driverów* istotnych i towarzyszących, które pobudzają charakter realizowania się zdarzenia (niepożądanego).

<sup>1</sup> A. Chmielewska, *Zarządzanie ryzykiem specyficznym na przykładzie paralotniarstwa*, referat, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Ubezpieczenia wobec wyzwań XXI wieku”, Rydzyna, 17–19 maja 2010 r.

<sup>2</sup> A. Chmielewska, *Podsumowanie zdarzeń paralotniowych – 2018*, referat, Krajowa Konferencja Bezpieczeństwa Lotów w Zakresie Lotnictwa Ogólnego, ULC, Warszawa, 25 kwietnia 2019 r.

<sup>3</sup> A. Chmielewska, *An attempt to parameterize the risk of extreme sports*, referat, XIII International Conference on Financial Services Market in the Age of Digitization, Taras Shevchenko National University Faculty of Economics, Kiev, Ukraina, 5–6 grudnia 2019 r.

<sup>4</sup> „Wypadek lotniczy jako zdarzenie związane z eksploatacją statku powietrznego, które zaistniało od chwili, gdy jakkolwiek osoba weszła na jego pokład z zamiarem wykonania lotu, do chwili opuszczenia pokładu statku powietrznego przez pilota lub inne osoby, podczas którego jakkolwiek osoba doznała co najmniej poważnych urazów ciała albo doznała urazów śmiertelnych lub środek komunikacji został uszkodzony albo też nastąpiło zniszczenie jego konstrukcji, albo po prostu statek zaginął lub znajduje się w miejscu, do którego dostęp jest niemożliwy”. Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (Dz.U. z 2020 r., poz. 1970 ze zm.), art. 134, ust. 2.

Dla celów statystycznych obrażenia ciała, w rezultacie których w ciągu 30 dni od chwili zaistnienia wypadku nastąpiła śmierć, uznaje się za obrażenia ciała ze skutkiem śmiertelnym. Dz.U. z 2020 r., poz. 1970 ze zm., art. 134, ust. 3.

<sup>5</sup> Poważny incydent lotniczy to zdarzenie związane z eksploatacją statku powietrznego, którego okoliczności wskazują, że niemal doszło do wypadku lotniczego. I. Wrześniewska-Wal, *Wypadki i incydenty lotnicze*, „Wiadomości Turystyczne” 2003, nr 48, s. 19.

<sup>6</sup> R. Holly, A. Chmielewska, *Teoretyczne i praktyczne aspekty zarządzania ryzykiem sportów ekstremalnych (na przykładzie paralotniarstwa)*, [w:] *Studia ubezpieczeniowe. Zarządzanie ryzykiem i finansami*, red. J. Lisowski, UE, Poznań 2011, s. 36.

Celem pracy było przeprowadzenie analizy śmiertelnego wypadku lotniczego (paralotniowego) z 17 sierpnia 2013 r. na terenie Słowenii i przedstawienie podstawowych pojęć: *driver* istotny i *driver* towarzyszący, stanowiące wprowadzenie do ustalania przyczyn, które stymulują charakter oraz dynamikę przebiegu każdego wypadku lotniczego.

W celu odkrycia istotnych oraz towarzyszących *driverów* ryzyka wypadku paralotniowego z 17 sierpnia 2013 r. oraz sformułowania wniosków dokonano przeglądu literatury naukowej, w tym materiałów prasowych. Kwerendą objęto artykuły publikowane w latach 2009–2022. Głównym źródłem informacji dotyczącej zdarzeń w polskim lotnictwie cywilnym pozostaje Internet, w szczególności portal bezpieczne-latanie.pl<sup>7</sup>.

Kolejnym krokiem była wtórna analiza dokumentów, zawierająca głównie akta sądowe. Dokonano analizy wyroku Sądu Okręgowego we Wrocławiu, Wydziału IV Karnego Odwoławczego<sup>8</sup>. Analizie poddano przede wszystkim zeznania świadków, opinie biegłych sądowych – ważne źródło do rozpoznania najważniejszych *driverów* ryzyka badanego wypadku. Zastosowano jakościową strategię gromadzenia i analizy danych<sup>9</sup>.

## 2. KLASYFIKACJA PARALOTNIARSTWA

Przegląd polskich regulacji prawnych pod kątem wyjaśnienia definicji należy rozpocząć od ustawy zasadniczej. Art. 2 Ustawy z dnia 17 września 2020 r. Prawo lotnicze nazywa statkiem powietrznym – każde urządzenie, które jest zdolne do unoszenia się w atmosferze na skutek oddziaływania powietrza innego niż oddziaływanie powietrza odbitego od podłoża<sup>10</sup>. Rozważając sytuację opisaną w Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 7 sierpnia 2013 r. w sprawie klasyfikacji statków powietrznych, można uznać, iż paralotnia to urządzenie latające przeznaczone do celów rekreacyjnych lub/i sportowych<sup>11</sup>.

Według B. Dąbrowskiej paralotniarstwo stało się sposobem spędzania wolnego czasu przez wszystkich, dostępnym zarówno dla osób zdrowych, jak i niepełnosprawnych<sup>12</sup>.

<sup>7</sup> Profesjonalny portal lotniczy odgrywa ważną rolę w procesie kontynuowania edukacji i krzewienia kultury bezpieczeństwa. Dla pilotów stanowi źródło integracji, informacji o wypadkach, częstotliwości występowania tych zdarzeń i ich przyczynach oraz pełni funkcję profilaktyczną, zapobiegającą podobnym wypadkom w przyszłości.

<sup>8</sup> Sygn. akt IV Ka 549/21.

<sup>9</sup> Analiza danych jakościowych (ang. *Qualitative Data Analysis* – QDA) jest procesem, zespołem procedur, dzięki którym przechodzimy od zgromadzonych danych jakościowych do wyjaśnienia, zrozumienia lub interpretacji zjawisk, które badamy. Jakościowa analiza danych często opiera się na filozofii interpretacyjnej. *The SAGE Handbook of Qualitative Data Analysis*, red. U. Flick, SAGE, Los Angeles 2013, s. 3–5.

<sup>10</sup> Dz.U. z 2020 r., poz. 1970 ze zm.

<sup>11</sup> Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 7 sierpnia 2013 r. w sprawie klasyfikacji statków powietrznych (Dz.U. z 2018 r., poz. 1568).

<sup>12</sup> B. Dąbrowska, *Paralotniarstwo - sport dla wszystkich*, „Wychowanie Fizyczne i Zdrowotne” 2008, nr 8, s. 44.

W. Lipoński wspomina o łączeniu dwóch dyscyplin: paralotniarstwa z nartami, tzw. żeglarstwo za paralołnią. Uważa on, iż ten rodzaj sportu/rekreacji może odbywać się na tradycyjnych nartach po śniegu, na nartach wodnych, również na łyżwach po zamrzniętych akwenach, na wrotkach albo lekkich trójrolkowych deskach-wózkach sterowanych stopami, po powierzchni na nawierzchniach asfaltowych czy betonowych<sup>13</sup>.

Zasadnicze znaczenie dla opisanía różnicy między paralołnią, motoparalołnią i paraplaniem ma jednak Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 marca 2013 r. w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków, które definiuje motoparalołnię jako: „paralołnię wyposażoną w napęd oraz podwozie, na której nie jest możliwy start pieszy”<sup>14</sup>.

Natomiast pkt 2 ppkt 4 Załącznika nr 2 do ww. rozporządzenia nazywa paraplaniem motoparalołnię o masie startowej większej niż 300 kg<sup>15</sup>. W tym miejscu stosownie do treści pkt 2 ppkt 6 Załącznika nr 5a należy podkreślić, że sprzętem paralołniowym jest: „napęd – mechaniczny zespół napędowy lotni lub paralołni”<sup>16</sup>. Z kolei Załącznik nr 7 do cytowanego rozporządzenia jednoznacznie nazywa paralołnię – jako paralołnię bez napędu, z napędem oraz motoparalołnię, którą możliwy jest start pieszy<sup>17</sup>.

Zatem możemy przyjąć, że paralołniarstwo to sport i forma rekreacji<sup>18</sup> polegająca na używaniu paralołni, a ze względu na kategorie tych statków powietrznych podzielić je można na paralołniarstwo swobodne i zmotoryzowane<sup>19</sup>. Jednak, wciąż popularnym urządzeniem latającym wykorzystywanym w paralołniarstwie pozostaje paralołnia bez silnika, przeznaczona do startu z nóg pilota<sup>20</sup>. W badanym przypadku niewątpliwie mamy do czynienia z wypadkiem lotniczym podczas użytkowania paralołni bez napędu<sup>21</sup>.

<sup>13</sup> W. Lipoński, *Encyklopedia sportów świata - ponad 3000 historycznych, regionalnych, narodowych i międzynarodowych dziedzin sportu*, Atena, Poznań 2006, s. 345; W. Lipoński, *Encyklopedia sportów świata*, t. 9, Atena, Warszawa 2008, s. 196.

<sup>14</sup> Obwieszczenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 marca 2013 r. w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków (Dz.U. z 2019 r., poz. 1497), pkt 2 ppkt 2, Załącznik nr 2 „Paralołnie”.

<sup>15</sup> Dz.U. z 2019 r., poz. 1497.

<sup>16</sup> Dz.U. z 2019 r., poz. 1497, Załącznik nr 5a „Warunki i wymagania dot. urządzeń latających i spadochronów ratowniczych w zakresie zdatności do lotu”.

<sup>17</sup> Dz.U. z 2019 r., poz. 1497, pkt 2 ppkt 3, Załącznik nr 7 „Wymagania dot. ubezpieczenia OC osób eksploatujących SP, o których mowa w rozporządzeniu § 2 oraz minimalne wysokości sum gwarancyjnych tego ubezpieczenia”.

<sup>18</sup> P. Dudek, Z. Włodarczyk, *Paralołniarstwo*, ARETE, Bydgoszcz 2006, s. 13, 143–150.

<sup>19</sup> A. Chmielewska, *Paralołniarstwo swobodne*, bezpieczne-latanie.pl/index.php/rodzaj-sportu/paralołniarstwo-swobodne [dostęp: 1.12.2022]; *Paralołniarstwo zmotoryzowane*, bezpieczne-latanie.pl/index.php/rodzaj-sportu/paralołniarstwo-zmotoryzowane [dostęp: 1.12.2022].

<sup>20</sup> A. Chmielewska, *Niedocenione zagrożenia podczas wykonywania wing-overów*, „Vario. Magazyn Paralołniowy” 2013, nr 4(9), s. 69.

<sup>21</sup> Sygn. akt IV Ka 549/21.

### 3. POJĘCIA DRIVER RYZYKA ORAZ ISTOTNY I TOWARZYSZĄCY

Aby wprowadzić pojęcie *driver* istotny i towarzyszący, należy uprzednio zdefiniować pojęcie *driver* ryzyka<sup>22</sup>.

Ponieważ ryzyko próbuje się definiować na bazie różnych nauk i teorii, to powoduje, że w literaturze można znaleźć wiele odmiennych definicji ryzyka. Ryzyko można badać w różnych kategoriach. Ryzyko jako kategoria pojęciowa opisuje relację zależności pomiędzy czymś (kimś) a czymś (kimś), która może skutkować nowym stanem rzeczy, jaki może być uznawany za pożądany albo niepożądany z punktu widzenia podmiotów, których dotyczy. Rozumowanie ryzyka można zatem przedstawić jako prawdopodobieństwo zrealizowania się zdarzenia ocenianego negatywnie, które może spowodować szkody/straty, tzn. naruszyć interesy podmiotu, którego zdarzenie to dotyczy. Dlatego ryzyko odnosi się do różnych zdarzeń oraz różnych ich skutków<sup>23</sup>.

W. Ronka-Chmielowiec podnosi, że głównymi czynnikami ryzyka wpływającymi na jego wielkość i natężenie są niebezpieczeństwa i hazard. Pojęcie hazardu określa jako zespół wszelkich warunków i okoliczności bezpośrednio wpływających na realizację danego niebezpieczeństwa<sup>24</sup>. Nie jest to wyczerpująca definicja, którą możemy się posługiwać w badanym przypadku, dlatego do dalszych rozważań nad ustaleniem przyczyn badanego wypadku należy przyjąć, że czynniki zewnętrzne lub/i wewnętrzne, stymulujące przebieg zdarzenia, w wyniku którego następuje niepożądane zdarzenie, nazywamy niebezpieczeństwami<sup>25</sup> lub ***driverami* ryzyka**.

Biorąc pod uwagę powyższą definicję, można podzielić *drivery* na:

- ***driver* istotne** rozumiane jako przyczyny, które są warunkiem zaistnienia danego zdarzenia;
- ***driver* towarzyszące** – przyczyny, które współwystępując z *driverem* istotnym, mogą spowodować zdarzenie i następnie stymulować charakter oraz dynamikę jego przebiegu już przy niewielkiej intensywności *drivera* istotnego<sup>26</sup>.

### 4. WYNIKI BADAŃ

Celem przejrzystego ustalenia przyczyn analizowanego wypadku paralotniowego należy rozpocząć od przeglądu informacji o tym wypadku na forum paralotniowym. Można tutaj znaleźć wpisy paralotniarzy głodnych wiedzy o okolicznościach niepożądanego zdarzenia:

(1) „Podobno na Stolu w Słowenii w ubiegłą sobotę zginął paralotniarz z Polski”<sup>27</sup>.

<sup>22</sup> A. Chmielewska, *Turbulencje jako drivery ryzyka uprawiania paralotniarstwa*, [w:] *Bezpieczeństwo w lotnictwie w wybranych aspektach funkcjonowania portu lotniczego*, red. T. Compa, J. Rajchel, K. Załęski, WSOSP, Dęblin 2013, s. 217.

<sup>23</sup> R. Holly, *Zarządzanie ryzykiem - czyli czym?*, [w:] *Rynek ubezpieczeń. Współczesne problemy*, red. W. Sułkowska, Difin, Warszawa 2013, s. 15–22.

<sup>24</sup> *Ubezpieczenia. Rynek i ryzyko*, red. W. Ronka-Chmielowiec, PWE, Warszawa 2002, s. 134.

<sup>25</sup> R. Holly, *Ubezpieczenie w organizacji ochrony zdrowia w Polsce*, KIU, Warszawa 2013, s. 120.

<sup>26</sup> Tamże, s. 129.

<sup>27</sup> *Stol, Słowenia - wypadek z 17.08*, [https://groups.google.com/g/pl.rec.paralotnie/c/tYXrV5WE\\_JY](https://groups.google.com/g/pl.rec.paralotnie/c/tYXrV5WE_JY) [dostęp: 1.12.2022].

- (2) „Czy ktoś coś słyszał, jak to się stało?”<sup>28</sup>.
- (3) „Czy wiadomo, czy to był kursant, czy po prostu skorzystał z transportu i opieki szkoły?”<sup>29</sup>.
- (4) „Czy ktoś wie, na którym etapie szkolenia był pilot, bo mam sprzeczne informacje”<sup>30</sup>.
- (5) „Ta osoba co zginęła to mój sąsiad z piętra z Gorzowa Wielkopolskiego, chłopak przed 40stką, dziewczyna w ciąży, masakra ogólna”<sup>31</sup>.

Mając powyższe na uwadze i fakt, iż wypadek miał miejsce w roku 2013, należało dokonać też analizy zmieniających się przepisów, by ustalić przebieg wypadku lotniczego. Z wtórnej analizy dokumentów sądowych jasno wynika, że w istocie od 2006 r. loty żaglowe i termiczne nie wchodziły już w skład szkoleń niezbędnych dla uzyskania świadectwa kwalifikacji pilota paralotni<sup>32</sup>.

W związku z powyższym, w chwili zaistnienia niepożądanego zdarzenia, tj. wypadku lotniczego 17 sierpnia 2013 r. na terenie Słowenii, w wyniku którego zginął polski paralotniarz, zgodnie z polskimi przepisami regulującymi kwestie szkoleń lotniczych do uzyskania świadectwa kwalifikacji pilota paralotni rzeczywiście nie było wymagane odbycie szkolenia w zakresie lotów żaglowych i termicznych<sup>33</sup>. Na podstawie zebranych dowodów sądowych, głównie zeznań świadków, oraz opinii biegłych nie można wykluczyć, że instruktor ofiary wypadku nie był uprawniony do przeprowadzenia szkolenia trzeciego etapu (czyli nauki lotów termicznych i żaglowych).

Ofiara omawianego zdarzenia nie posiadała świadectwa kwalifikacji, zatem nie była uprawniona do wykonywania samodzielnych lotów na paralotni. Również nie sposób przyjąć, by ten dramatyczny w skutkach lot stanowił lot rekreacyjny<sup>34</sup>, gdyż na podstawie zebranego postępowania sądowego ustalono zakres deniwelacji terenu i stwierdzono, że tragiczny w skutkach lot odbywał się w warunkach termicznych<sup>35</sup>. Dlatego ofiara wypadku mogła być jedynie uczestnikiem szkolenia.

Fakt ten potwierdza wtórna analiza dokumentów sądowych, w szczególności zeznania instruktora, który traktował ofiarę wypadku jak ucznia. Pozostali uczestnicy tego

<sup>28</sup> Tamże.

<sup>29</sup> Tamże.

<sup>30</sup> Tamże.

<sup>31</sup> Tamże.

<sup>32</sup> Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 września 2003 r. w sprawie licencjonowania personelu lotniczego (Dz.U. z 2003 r., nr 165, poz. 1603), Załącznik nr 3, rozdz. 2, pkt 2.2.5; Sygn. akt IV Ka 549/21.

<sup>33</sup> Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 września 2003 r. w sprawie licencjonowania personelu lotniczego utraciło moc z dniem 19 marca 2013 r., natomiast sprawy dotyczące m.in. przebiegu szkoleń do uzyskania świadectwa kwalifikacji regulowało Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 3 czerwca 2013 r. w sprawie świadectw kwalifikacji (Dz.U. z 2013 r., nr 664), które weszło w życie z dniem 8 czerwca 2013 r. i obowiązywało w chwili, kiedy doszło do omawianego wypadku lotniczego. W tym rozporządzeniu, w Załączniku nr 3 w punkcie 1.3.2.1, wskazano, iż szkolenie praktyczne do uzyskania świadectwa kwalifikacji pilota paralotni PP nie musi obejmować lotów termicznych i żaglowych.

<sup>34</sup> Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 marca 2013 r. w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia (Dz.U. z 2013 r., poz. 440), Załącznik nr 2, ppkt 5.7.3.

<sup>35</sup> Sygn. akt. IV Ka 549/21.

wyjazdu w swoich zeznaniach też wskazywali, że byli uczestnikami III etapu szkolenia termicznego i żaglowego.

Ze zgromadzonych dowodów wynika również, że instruktor nie był uprawniony do jego przeprowadzenia na terenie Słowenii według przepisów prawa tego kraju<sup>36</sup>.

Analiza wtórnej dokumentacji ujawniła, że biegli dysponowali danymi co do prognozy oraz informacjami na temat warunków pogodowych na dzień 17 sierpnia 2013 r. przygotowanymi przez ARSO (m.in. Agencję ds. Środowiska R. S.<sup>37</sup> zapisami GPS lotów pilotów parolotni, którzy 17 sierpnia 2013 r. latali w miejscu zdarzenia). Na podstawie tejże dokumentacji, ustalono, że zarejestrowane miejsce startowe oddalone jest od zarejestrowanego miejsca lądowania o ponad 8 kilometrów, co uniemożliwia wizualny kontakt między kandydatem na pilota a instruktorem. Zwrócono również uwagę, że w dniu wypadku o godzinie 13.00 była słoneczna pogoda o dużej różnicy w temperaturze, co spowodowało w miejscu niepożądanego zdarzenia „silne słupy termiczne, które były rozrywane z powodu konfiguracji terenu i z powodu lekkiego wiatru wschodniego (powietrze turbulentne)”<sup>38</sup>. Warto w tym miejscu podać różnicę między turbulencją termiczną a dynamiczną. Ta pierwsza powstaje na skutek różnicy w nagrzaniu się podłoża. Zaś druga związana jest z poziomym ruchem powietrza<sup>39</sup>.

Odnieść się tutaj należy do pierwszych minut nagrania przed startem ofiary wypadku (jakim dysponował sąd), bowiem instruktor jeszcze przed jego startem mówił, że robi się coraz bardziej turbulentnie, poinformował kursantów, aby latali z separacją od zbocza. Głos instruktora słyszalny był po raz drugi, już po wystąpieniu niepożądanego zdarzenia, że jest turbulentnie i by nie latać w pobliżu zbocza. Przypomnieć trzeba również, że do wypadku doszło w niecałe 7 minut od startu, od momentu „wirowania” ucznia do jego upadku minęło natomiast 8 sekund<sup>40</sup>.

Można wnioskować, że uczeń-pilot darzył zaufaniem swojego nauczyciela<sup>41</sup>. Wleciał on w fazę silniejszych porywów wiatru, na skutek tego doszło do zamknięcia skrzydła parolotni i tracąc w rotacji wysokość, uderzył on bezpośrednio w zbocze. Poniósł śmierć na miejscu. Z analizy dokumentów wynika, że do latania w takich okolicznościach nie był i nie mógł być przeszkolony, ponieważ uczył się latania w spokojnych

---

<sup>36</sup> 1 maja 2011 r. rozpoczęła działalność Agencja Lotnictwa Cywilnego Republiki Słowenii, i tak np. zagraniczni instruktorzy mają obowiązek uzyskać zgodę i wytyczne agencji lotnictwa, aby mogli udzielać nauki lotu na terenie Republiki Słowenii. Agencja Lotnictwa natomiast może uwzględnić albo odrzucić wnioski o pozwolenie na szkolenie prowadzone przez zagranicznego instruktora. W tym konkretnym badanym wypadku instruktor ofiary zdarzenia nie uzyskał zezwolenia od Agencji Lotnictwa Cywilnego tego kraju, a tym samym też wytycznych co do sposobu prowadzenia takiego szkolenia. Sygn. akt IV Ka 549/21.

<sup>37</sup> Słoweńska Agencja Ochrony Środowiska wykonuje zadania eksperckie, analityczne, regulacyjne, a także administracyjne związane ze środowiskiem na poziomie krajowym. Jej misją jest monitorowanie, analiza oraz prognozowanie zjawisk i procesów przyrodniczych w środowisku i ograniczanie naturalnych zagrożeń dla ludzi i mienia. *Slovenian Environment Agency*, <https://www.arso.gov.si/en/> [dostęp: 7.01.2023].

<sup>38</sup> Sygn. akt IV Ka 549/21.

<sup>39</sup> A. Chmielewska, *Turbulencje jako drivery...*, dz. cyt., s. 225.

<sup>40</sup> Sygn. akt IV Ka 549/21.

<sup>41</sup> A. Chmielewska, *Zmora turbulencji*, „Vario. Magazyn Paralotniowy” 2015, nr 2(15), s. 73.

warunkach. Jego instruktor nie przerwał kursu, mimo że warunki turbulentne były widoczne na podstawie lotów innych pilotów w tym miejscu<sup>42</sup>.

Jak słusznie Sąd podkreślił, nawet w przypadku lotów samodzielnych przez szkolenych posiadających świadectwo kwalifikacji pilota nadzór instruktorski nad tymi lotami powinien być stosowany odpowiednio w zależności od rodzaju szkolenia oraz praktyki szkolonego w celu zapewnienia bezpieczeństwa szkolonemu<sup>43</sup>.

*Driverem* istotnym<sup>44</sup> są tutaj prawdopodobnie turbulencje oraz wadliwe przepisy szkolenia kandydata na instruktora paralotniowego, stąd możemy upatrywać niekompetencji<sup>45</sup> instruktora podczas dramatycznego w skutkach lotu ucznia-pilota.

Analiza dokumentacji wykazała też, że trudno wyprowadzić wniosek o braku bezstronności biegłych, którzy prowadzą własną działalność paralotniową.

Jak słusznie Sąd zauważył, biegła odnosząc się do swojej opinii pisemnej, odnośnie słabej termiki, podała, że w tym zakresie „posiłkowała się zeznaniami doświadczonego lokalnego pilota”<sup>46</sup>. Należy zaznaczyć też, że przyczyny owego wypadku ustalone przez dwóch biegłych z Polski były w większości zgodne<sup>47</sup>.

Tabela 1. Próba rekonstrukcji wypadku<sup>48</sup> z 17 sierpnia 2013 r. (z uwzględnieniem prawdopodobnych *driverów* ryzyka)

<i>Drivery</i> istotne –>	<i>Drivery</i> towarzyszące –>	Zdarzenie –>	Skutki –>
– wady w polskich przepisach szkolenia kandydata na instruktora paralotniowego; – turbulencje	– brak kompetencji instruktora; – zaufanie ucznia pilota do instruktora; – prowadzenie szkolenia na terenie Słowenii przez instruktora bez stosownych uprawnień; – podjęcie decyzji przez instruktora o wykonaniu przez ucznia samodzielnego lotu szkoleniowego w miejscu i warunkach atmosferycznych niedostosowanych do rzeczywistego poziomu praktycznych umiejętności latania kursanta; – niesprawowanie należytego nadzoru instruktorskiego nad wykonującym lot kursantem, w szczególności: nieobserwowanie ucznia i nieudzielenie wskazówek dotyczących wyjścia z sytuacji utraty stabilności paralotni, a w końcowej fazie lotu niewydanie polecenia użycia ratowniczego systemu hamującego	zdarzenie niepożądane (wypadek)	– śmierć ucznia pilota; – utrata reputacji ośrodka szkoleniowego; – straty finansowe

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Sygn. akt IV Ka 549/21.

<sup>42</sup> Sygn. akt IV Ka 549/21.

<sup>43</sup> Tamże.

<sup>44</sup> R. Holly, *Ubezpieczenia w organizacji...*, dz. cyt., s. 129.

<sup>45</sup> *Kompetencje* to wszystkie związane z pracą cechy osobowości nauczyciela, wiedza, umiejętności, zdobyte doświadczenia oraz wartości, na których bazyje dana osoba, aby dobrze wykonać powierzoną pracę.

<sup>46</sup> Sygn. akt IV Ka 549/21.

<sup>47</sup> Tamże.

<sup>48</sup> Mechanizm realizowania się ryzyka.



## 5. PODSUMOWANIE – WNIOSKI

Wyniki z badania omawianego wypadku pokazują, że zrealizowanie się ryzyka w warunkach turbulentnych nie jest winą tylko turbulencji, ale przede wszystkim niewłaściwego działania człowieka. Turbulencja staje się istotnym niebezpieczeństwem dla ucznia-pilota, kiedy jeszcze przed startem pojawiają się *drivery* towarzyszące, a ich intensywność jest na tyle wystarczająca, by ryzyko się zrealizowało i nastąpiło niepożądane zdarzenie.

Pojawienie się *driverów* towarzyszących może stymulować dynamikę oraz charakter przebiegu zdarzenia już przy niewielkiej intensywności *drivera* (przyczyny wypadku) istotnego. Doskonałym przykładem jest tutaj omawiany wypadek z 17 sierpnia 2013 r. Szkolący może stracić umiejętność rozeznania, jak w danej sytuacji się zachować, tzn. w sytuacji krytycznej, w stanie zagrożenia podczas lotu. Nadzór instruktora, opiekuna, jest niezbędny, by swoją kompetencją nauczycielską (merytoryczną, dydaktyczną, fachową, psychologiczną) pomógł mu z niej wyjść. Ofiara omawianego wypadku w takiej sytuacji się znalazła. Jak już wcześniej wspomniano, do śmiertelnego wypadku doszło w niecałe siedem minut od startu, od momentu „wirowania” ucznia do jego upadku minęło natomiast osiem sekund, a szkolący w dniu zdarzenia nie miał opanowanych manewrów ratunkowych dotyczących przypadków, gdy skrzydło parolotni zamyka się jednostronnie lub całościowo<sup>49</sup>. Prawdopodobnie dlatego nie mógł samodzielnie wykonać akcji obronnej. Instruktor kursanta natomiast nie udzielił mu żadnej komendy, instruktażu, które pozwoliłyby mu zapanować nad emocjami i wyjść z tej niebezpiecznej sytuacji.

Z powyższego wynika, że bezpośrednie przygotowanie ucznia-pilota do kolejnego etapu szkolenia, które powinno polegać na wyposażeniu szkolonego w zespół wiadomości i umiejętności niezbędnych do sprawnego przebiegu szkolenia w powietrzu w warunkach termicznych, nie miało miejsca. Każde nowe ćwiczenie w szkoleniu powietrznym i nowe zadanie na wyższych etapach szkolenia bez bezpośredniego przygotowania ucznia-pilota przez jego instruktora należy traktować jako niekompetencję nauczyciela, prawdopodobnie wynikającą z niewłaściwych przepisów szkolenia instruktorskiego<sup>50</sup>.

Analiza każdego wypadku lotniczego służyć winna rekonstrukcji badanego wypadku, szczególnie śmiertelnego bądź ciężkiego, celem odkrycia prawdopodobnych/ej przyczyn/y *driverów* ryzyka, a następnie uwzględnienie wyników i wniosków z badanego wypadku w programach związanych z wdrażaniem procedur bezpieczeństwa lotniczego.

Zatem kierunkiem zmierzającym do poprawy bezpieczeństwa jest poznanie nie tylko *drivera* istotnego, ale przede wszystkim przyczyn towarzyszących. Zastosowanie terminologii – *driverów*, w szczególności *driverów* towarzyszących podczas próby

<sup>49</sup> Sygn. akt IV Ka 549/21.

<sup>50</sup> A. Chmielewska, *Kto ponosi odpowiedzialność za braki w szkoleniu parolotniarzy*, „Vario. Magazyn Paralotniowy” 2017, nr 3(24), s. 74–77.

rekonstrukcji każdego wypadku lotniczego powinno być uznane za jeden z rodzajów ustalania charakteru i dynamiki przebiegu wypadku, które wywołują niepożądane skutki, np. śmierć ucznia-pilota, utratę reputacji ośrodka szkoleniowego, straty finansowe.

## BIBLIOGRAFIA

### Artykuły i monografie

Chmielewska A., *Kto ponosi odpowiedzialność za braki w szkoleniu paralotniarzy*, „Vario. Magazyn Paralotniowy” 2017, nr 3(24).

Chmielewska A., *Niedocenione zagrożenia podczas wykonywania wing-overów*, „Vario. Magazyn Paralotniowy” 2013, nr 4(9).

Chmielewska A., *Turbulencje jako drivery ryzyka uprawiania paralotniarstwa*, [w:] *Bezpieczeństwo w lotnictwie w wybranych aspektach funkcjonowania portu lotniczego*, red. T. Compa, J. Rajchel, K. Załęski, WSOSP, Dęblin 2013.

Chmielewska A., *Zmora turbulencji*, „Vario. Magazyn Paralotniowy” 2015, nr 2(15).

Dąbrowska B., *Paralotniarstwo - sport dla wszystkich*, „Wychowanie Fizyczne i Zdrowotne” 2008, nr 8.

Dudek P., Włodarczyk Z., *Paralotniarstwo*, ARETE, Bydgoszcz 2006.

Holly R., Chmielewska A., *Teoretyczne i praktyczne aspekty zarządzania ryzykiem sportów ekstremalnych (na przykładzie paralotniarstwa)*, [w:] *Studia ubezpieczeniowe. Zarządzanie ryzykiem i finansami*, red. J. Lisowski, UE, Poznań 2011.

Holly R., *Ubezpieczenie w organizacji ochrony zdrowia w Polsce*, KIU, Warszawa 2013.

Holly R., *Zarządzanie ryzykiem - czyli czym?*, [w:] *Rynek ubezpieczeń. Współczesne problemy*, red. W. Sułkowska, Difin, Warszawa 2013.

Lipoński W., *Encyklopedia sportów świata - ponad 3000 historycznych, regionalnych, narodowych i międzynarodowych dziedzin sportu*, Atena, Poznań 2006.

Lipoński W., *Encyklopedia sportów świata*, t. 9, Atena, Warszawa 2008.

Michalski D., *Możliwości unifikacji szkolenia młodszej kadry dowódczej szczebla taktycznego wojsk obrony przeciwlotniczej*, „Obronność. Zeszyty Naukowe” 2018, nr 4(28).

*The SAGE Handbook of Qualitative Data Analysis*, red. U. Flick, SAGE, Los Angeles 2013.

*Ubezpieczenia. Rynek i ryzyko*, red. W. Ronka-Chmielowiec, PWE, Warszawa 2002.

Wrześniewska-Wal I., *Wypadki i incydenty lotnicze*, „Wiadomości Turystyczne” 2003, nr 48.

### Akty i dokumenty prawne

Obwieszczenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki

Morskiej z dnia 26 marca 2013 r. w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków (Dz.U. z 2019 r., poz. 1497).

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 września 2003 r. w sprawie licencjonowania personelu lotniczego (Dz.U. z 2003 r., nr 165, poz. 1603).

Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 3 czerwca 2013 r. w sprawie świadectw kwalifikacji (Dz.U. z 2013 r., poz. 664).

Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 7 sierpnia 2013 r. w sprawie klasyfikacji statków powietrznych (Dz.U. z 2018 r., poz. 1568).

Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 marca 2013 r. w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków (Dz.U. z 2013 r., poz. 440).

Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (Dz.U. z 2020 r., poz. 1970 ze zm.).

Wyrok Sądu Okręgowego we Wrocławiu, Wydział IV Karnego Odwoławczego (Sygn. akt IV Ka 549/21).

#### Źródła internetowe

Chmielewska A., *Paralotniarstwo swobodne*, [bezpieczne-latanie.pl/index.php/rodzaj-sportu/paralotniarstwo-swobodne](https://bezpieczne-latanie.pl/index.php/rodzaj-sportu/paralotniarstwo-swobodne) [dostęp: 1.12.2022].

Chmielewska A., *Paralotniarstwo zmotoryzowane*, [bezpieczne-latanie.pl/index.php/rodzaj-sportu/paralotniarstwo-zmotoryzowane](https://bezpieczne-latanie.pl/index.php/rodzaj-sportu/paralotniarstwo-zmotoryzowane) [dostęp: 1.12.2022].

Slovenian Environment Agency, <https://www.arso.gov.si/en/> [dostęp: 7.01.2023].

Stol, *Słowenia - wypadek z 17.08*, [https://groups.google.com/g/pl.rec.paralotnie/c/tYXrV5WE\\_JY](https://groups.google.com/g/pl.rec.paralotnie/c/tYXrV5WE_JY) [dostęp: 1.12.2022].



**Elżbieta POSŁUSZNA**Lotnicza Akademia Wojskowa  
e-mail: e.posluszna@law.mil.pl  
ORCID: 0000-0001-8652-5729

DOI: 10.55676/asi.v3i1.20

## HIERARCHIE KONTRA SIECI. RZECZ O WALCE SIECIOWEJ I NIESTEROWANYM OPORZE

### HIERARCHIES VERSUS NETWORKS. THE IMPORTANCE OF LEADERLESS RESISTANCE IN THE NETWAR

#### Streszczenie

Artykuł jest polemiką z twierdzeniem, że walka sieciowa, z uwagi na wykorzystywanie niemilitarnych środków (m.in. informacji i narzędzi cybernetycznych) oraz zaangażowanie niescentralizowanych, społecznie rekrutowanych i rekrutujących się jednostek i grup, jest konfliktem o stosunkowo niedużej intensywności, a w związku z tym nie stanowi znaczącego zagrożenia dla bezpieczeństwa państw i społeczeństw. Takie twierdzenie, zdaniem autorki, jest co najmniej ryzykowne. Nie uwzględnia ono bowiem ani silnej społecznej mobilizacji, biorącej się z możliwości pozyskiwania „dla sprawy” szerokiego, globalnego audytorium, ani też wzrastającego znaczenia nowych form organizacyjnych – nowych sieciowych modeli, bardziej bezpiecznych (jeśli brać pod uwagę odporność na inwigilację) i efektywnych (uwzględniając zdolność zadawania wysokich strat przy udziale minimum zaangażowanych środków) niż dotychczasowe, biorące udział w walce hierarchiczne struktury.

**Słowa kluczowe:** walka sieciowa, opór bez przywództwa (opór niesterowany), rojenie, terroryzm

#### Abstract

The article is a polemic with the statement that netwar, due to the use of non-military means (including information and cybernetic tools) and the involvement of non-centralized, socially recruited and recruiting themselves individuals and groups, is a conflict of relatively low intensity, and therefore does not pose a significant threat to the security of states and societies. Such statement, according to the author, is at least risky. It does not take into account either the strong social mobilization resulting from the possibility of attracting a broad, global audience "or the issue", or the growing importance of new organizational forms – new network models, more secure (if we take into account resistance to surveillance) and effective (if take into account the ability to inflict high losses with the participation of a minimum of involved resources) than the existing hierarchical structures taking part in the fight.

**Keywords:** netwar, leaderless resistance, swarming, terrorism

## 1. WPROWADZENIE

Pod koniec lat sześćdziesiątych XX w. dwoje amerykańskich naukowców Virginia H. Hine oraz Luther P. Gerlach przeprowadziło badania nad strukturą organizacyjną kilku nowych ruchów społecznych<sup>1</sup>. Badania te pokazały, że ich struktura nie jest ani biurokratyczna, ani też amorficzna, lecz segmentacyjna (w jej skład wchodzi wiele różnorodnych grup, które pojawiają się i znikają, dzielą się i łączą, powiększają i różnicują), policentryczna (w jej ramach istnieje wielu często tymczasowych i rywalizujących ze sobą liderów oraz ośrodków wpływów) oraz sieciowa (tworzy luźno zintegrowane sieci z różnorodnymi powiązaniem na bazie zachodzącego na siebie członkostwa, wspólnej aktywności, lektur, wspólnych ideałów i przeciwników). Zdaniem wspomnianych badaczy policentryczne, segmentowe i sieciowe formy organizacyjne (w skrócie określane jako SPIN – *segmentary, polycentric, integrated networked*), ze względu m.in. na ich zdolność do wyzwania osobistego zaangażowania uczestników oraz adaptacji do zmieniających się warunków zewnętrznych, w o wiele większym stopniu są w stanie sprostać różnym zagrożeniom (tak zewnętrznym, jak i wewnętrznym) niż struktury dawne, zwykle mocno zhierarchizowane i scentralizowane. Dlatego w przyszłości rola tych ostatnich będzie powoli maleć, a pierwszych zwiększać się. Prognozy te okazały się szczególnie trafne. Ich trafność objawiła się szczególnie wtedy, gdy wśród technologii komunikacyjnych znaczącą rolę zaczął odgrywać Internet.

Wpływ Internetu, a także innych technologii komunikacyjnych sięga znacznie głębiej, niż się to zwykle przypuszcza. Jego najbardziej widowym, jak się wydaje, znakiem jest odchodzenie od tradycyjnych hierarchicznych i centralnie zarządzanych struktur organizacyjnych ku „strukturom luźniejszym”, możliwie jak najbardziej zdecentralizowanym, często wręcz horyzontalnym – bez wyraźnego kierownictwa czy ośrodków kontroli. Zdaniem wielu badaczy nie jest to jedynie zjawisko nietrwałe, lecz stała tendencja wpisana w przyszłość terroryzmu. Takiego zdania są m.in. analitycy Rand Corporation – John Arquilla, David Ronfeldt i Michele Zanini. Według nich: „Terroryści odchodzą od hierarchicznych modeli ku sieciowym modelom ery informacyjnej. W grupach – przywództwo »wybitnej postaci« ustąpi miejsca horyzontalnym, zdecentralizowanym modelom. Więcej wysiłku wkładać się będzie w tworzenie układu grup ponadnarodowo powiązanych w sieć niż grup autonomicznych”<sup>2</sup>.

## 2. WALKA SIECIOWA

Ale rewolucja informacyjna umożliwia coś jeszcze, a mianowicie prowadzenie działań wojennych nowego typu – działań opartych w dużej części na wykorzystaniu społecznego zaangażowania oraz niescentralizowanej formie organizacji i przepływu

<sup>1</sup> L.P. Gerlach, V.H. Hine, *People, Power, Change: Movements of Social Transformation*, Bobbs-Merrill, Indianapolis 1970.

<sup>2</sup> J. Arquilla, D. Ronfeldt, M. Zanini, *Networks, Netwar, and Information-Age Terrorism*, [w:] I.O. Lesser, B. Hoffman, J. Arquilla, D. Ronfeldt, M. Zanini, B.M. Jenkins, *Countering the New Terrorism*, RAND Corporation, Santa Monica 1999, s. 41.

informacji. Ten nowy typ działań wojennych, jak również odpowiadająca im nowa forma konfliktu, określane są w literaturze przedmiotu jako „walka sieciowa”.

Termin »wojna sieciowa« odnosi się do wyłaniającej się formy konfliktu (i przestępczości) na poziomie społecznym, w której wykorzystywane są środki mniej intensywne niż wojenne oraz sieciowe formy organizacyjne, doktrynalne, strategiczne i komunikacyjne. Strony uczestniczące w konfliktach o takiej formie składają się zazwyczaj z rozproszonych, często małych grup, którym odpowiada komunikacja, koordynacja i działanie w sposób sieciowy, często bez określonego zcentralizowanego przywództwa oraz ośrodków dowodzenia. Podejmowanie decyzji może być rozmyślnie zdecentralizowane i rozproszone. [...] Podmioty objęte spektrum konfliktów społecznych i przestępczości ewoluują w stronę wojny sieciowej. Dotyczy to znanych podmiotów, które modyfikują swoje struktury i strategię w celu wykorzystania korzyści płynących z rozwoju modeli sieciowych, jak np. międzynarodowe grupy terrorystyczne, czarno-rynkowi handlarze broni masowego rażenia, narkotyków i inne syndykaty przestępcze, ruchy fundamentalistyczne i nacjonalistyczne, złodzieje własności intelektualnej oraz przemysłnicy uciekinierów i emigrantów. Niektóre wielkomięskie gangi, wiejskie organizacje milicyjne, walczące grupy jednej sprawy [...] także rozwijają swój potencjał sieciowy. Ale to nie wszystko. W spektrum wojny sieciowej być może coraz częściej znajdować się będzie nowa generacja rewolucjonistów i aktywistów wyznających postindustrialne ideologie ery informacyjnej, które właśnie dziś nabierają kształtu. W niektórych przypadkach, tożsamości i uczucia lojalności mogą przesunąć się z poziomu narodowego na ponadnarodowy poziom »globalnego społeczeństwa obywatelskiego«. W wojnie sieciowej wziąć udział mogą też nowego typu podmioty, np. członkowie anarchistycznych i nihilistycznych sprzysiężeń wykwalifikowanych informatycznie cybersabotażystów<sup>3</sup>.

Uważa się dość powszechnie, że walka sieciowa, z uwagi na wykorzystywanie niemilitarnych środków (m.in. informacji i narzędzi cybernetycznych) oraz zaangażowanie niescentralizowanych, społecznie rekrutowanych (czy może lepiej rekrutujących się) jednostek i grup, jest konfliktem o stosunkowo niedużej intensywności. Taka ocena wydaje się co najmniej ryzykowna. Nie uwzględnia ona bowiem ani silnej społecznej mobilizacji, biorącej się z możliwości pozyskiwania „dla sprawy” (dzięki nowym mediom) szerokiego, globalnego wręcz audytorium, ani też wzrastającego znaczenia nowych form organizacyjnych – nowych sieciowych modeli, bardziej bezpiecznych (jeśli brać pod uwagę odporność na inwigilację) i efektywnych (jeśli brać pod uwagę zdolność zadawania wysokich strat przy udziale minimum zaangażowanych środków) niż dotychczasowe hierarchiczne struktury.

### 3. MODELE SIECIOWE

„Sieciowe modele” (sieciowe struktury organizacyjne) mogą przyjmować wiele różnych kształtów<sup>4</sup>. Mogą być na przykład powiązane łańcuchowo (*chain network*, *line network*). W takim przypadku komunikacja między poszczególnymi ogniwami

<sup>3</sup> Koncepcję walki sieciowej (zwanej także „wojną sieciową”) opracowali analitycy RAND Corporation, m.in. John Arquilla, David Ronfeldt i Michele Zanini w pracach pt.: *The Advent of Netwar, Countering the New Terrorism* oraz *Networks and Netwars: The Future of Terror, Crime, and Militancy*, red. J. Arquilla, D. Ronfeldt, RAND Corporation, Santa Monica 2001, s. 5–6.

<sup>4</sup> Patrz: J. Arquilla, D. Ronfeldt, *The Advent of Netwar (Revisited)*, [w:] *Networks and Netwars: The Future of Terror, Crime, and Militancy*, red. J. Arquilla, D. Ronfeldt, RAND Corporation, Santa Monica 2001.

(wymiana dóbr i informacji) przebiegać będzie wzdłuż linii ogniw połączonych jedynie ośrodkami sąsiadującymi. Ten typ sieciowej struktury najczęściej spotkać można w gangach przemytniczych. Innym typem powiązań jest sieć węzłowa (*star network, hub network, wheel network*). Tu komunikacja pomiędzy ośrodkami i koordynacja działań uzależniona jest od ośrodka centralnego, od swoistego węzła pośredniczącego, który pełni funkcję przekaźnika informacji i dóbr. Nie jest to jednak komunikacja zorganizowana hierarchicznie. Bywa i tak, że poszczególne ośrodki nic nie wiedzą o swym wzajemnym istnieniu. Ten typ najczęściej spotkać można zarówno w kartelach czy francyzach, jak i u ugrupowań terrorystycznych. Kolejnym rodzajem powiązań jest sieć wszechkanałowa (*all-channel network, full-matrix network*). W sieci wszechkanałowej wszystkie ośrodki powiązane są ze sobą – każdy z każdym. Nie ma tu jakichkolwiek wyróżnionych węzłów, a komunikacja pomiędzy wybranymi punktami sieci dokonywać się może niezależnie od wszelkich pozostałych powiązań. Najczęściej ten typ powiązań można odnaleźć wśród wojowniczych ugrupowań (w szczególności wśród tzw. „ugrupowań jednej sprawy”<sup>5</sup>), które są w wysokim stopniu zdecentralizowane i z informatyzowane.

Te trzy modele powiązań sieciowych występują również w rozmaitych układach hybrydycznych, łączących w jednej strukturze organizacyjnej dwie lub trzy formy powiązań sieciowych (bądź też nawet sieciowych i hierarchicznych zarazem). Złożone struktury organizacyjne mogą być zróżnicowane na poszczególnych poziomach funkcjonowania – na poziomie najwyższym, dla przykładu, funkcjonować mogą zgodnie z którąś z sieciowych form organizacji, hierarchizując jednocześnie organizację poszczególnych ośrodków sieci, bądź na odwrót. Hierarchiczne struktury organizacyjne mogą też posługiwać się sieciowymi formami organizacji któregoś ze swoich elementów, mogą to robić stale lub doraźnie, w celu np. wykonania jakiegoś zadania, którego nie mógłby sprawnie wykonać organ ustrukturalizowany hierarchicznie, bądź też na odwrót. Możliwości jest wiele<sup>6</sup>.

Spośród wszystkich tych prostych czy hybrydycznych form organizacyjnych zdecydowanie najbezpieczniejszą jest sieć wszechkanałowa. Sieci łańcuchowe łatwo jest spariżować, przynajmniej czasowo, uderzeniem w którekolwiek z ogniw, sieci węzłowe można zdestruować uderzeniem w ośrodek centralny. Sieć wszechkanałowa, nawet jeśli zostanie w którymś miejscu zaatakowana, nadal może funkcjonować, zapewne też szybko ulegnie regeneracji.

Mogłoby się wydawać, że strukturalizowanie w sieć wszechkanałową stanowić będzie dla ugrupowań ekstremistycznych najwyższą (i najbezpieczniejszą) formę decentralizacji. Tak jednak nie jest. Współcześnie obserwować możemy rozwój nowej formy aktywizmu, który stanowi najpełniejsze, jak się wydaje, ucieleśnienie koncepcji „decentralizowanego modelu”. Istotą tej nowej formy jest zarzucenie wszelkiej formalnej

<sup>5</sup> Tym mianem określa się zwykle radykalne ugrupowania prozwierzęce (np. Animal Liberation Front), prośrodowiskowe (np. Earth First!) oraz antyaborcyjne (np. Armia Boga).

<sup>6</sup> Patrz: A.-L. Barabási, E. Bonabeau, *Scale Free Networks and How They Impact Everything*, „Scale Free Networks” may 2003, <http://www.scribd.com/doc/6152736/Scale-Free-Networks-and-How-they-impact-everything-by-AlbertLaszlo-Barabasi-and-Eric-Bonabeau> [dostęp: 16.12.2009].



czy nieformalnej struktury oraz skrajny indywidualizm w realizowaniu określonych celów. Inaczej mówiąc, powiązania, które zawsze spajały poszczególne ogniwa sieci, przestają już na dobrą sprawę się liczyć. Liczy się jedynie wspólna ideologia oraz zgodne z nią czyny i działania. Nie ma już powiązań pomiędzy ogniwami. Istnieją jedynie źródła emisji idei (źródła te mogą mieć charakter efemeryczny) oraz ci, którzy skłonni są wprowadzać te idee w życie.

W istocie w drugiej połowie lat osiemdziesiątych XX w. wiele organizacji zaczęło powoli odchodzić od centralistycznych i hierarchicznych struktur ku strukturom luźniejszym, bardziej elastycznym i mniej podatnym na dekonstrukcję, choć zarazem bardziej zagrożonym rozpadem. Główną przyczyną takiego stanu rzeczy była duża skuteczność organów ścigania, które po okresie zastoju i nieporadności przypadającym na lata siedemdziesiąte, nauczyły się w sposób sprawny zbierać informacje, infiltrować i likwidować ugrupowania ekstremistyczne i terrorystyczne. Jednak „poluznienie” struktur nie stanowiło skutecznego zabezpieczenia przed infiltracją. Tymi, którzy jako pierwsi nie tylko zdali sobie z tego sprawę, ale i skłonni byli zaproponować pewne rozwiązanie, byli założyciel International Service of Information pułkownik Ulius Louis Amoss oraz radykalny działacz amerykańskiej prawicy Louis Beam. Obydwaj zastąpili jako twórcy strategii określanej jako „opór bez przywództwa” (*leaderless resistance*). Strategia ta zakłada rezygnację z wszelkich hierarchicznych struktur organizacyjnych, które winny zostać zastąpione luźną konfiguracją niewielkich, autonomicznych komórek, jednostek bądź małych grup, którymi nie kieruje żaden ośrodek decyzyjny, wyspecjalizowany w zarządzaniu zhierarchizowanymi strukturami organizacyjnymi. Według Beama, który nakreślił swoją koncepcję oporu bez przywództwa w 1983 r., w eseju „Leaderless Resistance”, koncepcja ta (inaczej oporu niesterowanego) oznacza całkowite odejście od teorii organizacji<sup>7</sup>.

#### 4. OPÓR BEZ PRZYWÓDZTWA

Analizując różnice między klasycznymi organizacjami typu piramidalnego a ugrupowaniami „zorganizowanymi” na wzór „oporu bez przywództwa”, rzeczywiście nie sposób nie zauważyć, że te pierwsze w o wiele większym stopniu narażone są na rozmaite formy inwigilacji ze strony policji. W strukturze piramidalnej bowiem skuteczny agent, jeśli przeniknie na określony szczebel hierarchicznej piramidy, bez trudu może zlikwidować wszystkie szczeble znajdujące się poniżej jego własnego poziomu zacementowania, jak również zagrozić szczeblom znajdującym się powyżej. Niebezpieczeństwo infiltracji jest o wiele mniejsze w przypadku „organizacji”, w których pojedyncze indywidualia lub niewielkie grupy nie tylko nie posiadają organizacyjnego centrum, lecz również działają bez jakiegokolwiek strukturalnego powiązania między sobą. W organizacjach tego typu podstawowym elementem jednoczącym staje się ideologia, z której członkowie ruchu czerpać będą wiedzę na temat właściwych (tj. skutecznych i moralnie słusznych) metod walki. Ideologia ta musi mieć oczywiście swoje źródło witalne. Tym źródłem jest oczywiście Internet.

<sup>7</sup> L.R. Beam, *Leaderless Resistance*, „The Seditonist” 1992, nr 12, s. 2–3.

Nie sposób przecenić wpływu, jaki wywiera Internet na sposób funkcjonowania rozmaitych grup o charakterze ekstremistycznym, a nawet terrorystycznym. Aktywność takich ugrupowań w sieci internetowej rozpoczęła się, co prawda, w stosunkowo nieodległej przeszłości, szybko jednak zyskała na intensywności<sup>8</sup>. Przykładem takiej aktywności może być internetowa kampania propagandowa IRA, w ramach której podawane są informacje na temat skutecznych sposobów sporządzania koktajlu Mołotowa, podrabiania dokumentów, działania kontrwywiadu oraz stosowania fałszywej tożsamości, czy też inicjatywa środowisk rasistowskich i neonazistowskich Redwatch, polegająca na zbieraniu i zamieszczaniu w Internecie nazwisk, telefonów i adresów osób uznawanych za wrogów białej rasy (działacze organizacji lewicowych, homoseksualnych, feministycznych czy antyfaszystowskich), wreszcie rozmaite periodyki (np. periodyk Al-Kaidy „Mu’skar al-Battar”, opublikowany *online* pod koniec 2003 r., czy radykalny animalistyczny „Bite Back Magazine”), sprawozdania, instrukcje (przykładem może być tu kurs „How to prepare RDX-explosives” umieszczony w 2004 r. na sprzyjającej Al-Kaidzie arabskiej stronie <http://al3dad.jeeran.com>, czy zamieszczony przez niezależnego nowozelandzkiego naukowca detaliczny projekt wykonania pocisku typu Cruise za 5000 dolarów!<sup>9</sup>), filmy video i podręczniki (np. *Anarchist’s Cookbook*, *Terrorist’s Handbook*, *Big Book on Explosion*, *Encyclopedia of Preparation for Jihad* – zawierający m.in. instrukcje dotyczące broni biologicznej) publikowane przez rozmaitej maści radykałów (również aktywistów środowiskowych i animalistycznych)<sup>10</sup>. Ilość tego rodzaju „publikacji” stale się zwiększa i coraz częściej mają one charakter praktyczno-instruktażowy. I wreszcie, to właśnie dzięki Internetowi indywiduala mające wspólne zadania i cele mogą tworzyć podgrupy, spotykać się w wybranym miejscu, modyfikować taktykę, przeprowadzać operacje – a potem z łatwością wygaszać relacje i ponownie się rozpraszać<sup>11</sup>.

## 5. ROJENIE

Internet jednak może być wykorzystany także do celów ofensywnych, pozwala bowiem poszczególnym węzłom sieci na swobodną i bezpieczną komunikację, która w warunkach niehierarchicznej, rozproszonej struktury jest gwarantem skutecznego działania. Tak zorganizowane ugrupowania mają do dyspozycji niezwykle skuteczną taktykę działania, w literaturze strategicznej określaną jako *swarming* (rojenie się).

Taktyka *swarmingu* nie jest niczym nowym. Przykłady jej stosowania z łatwością można odnaleźć w historii<sup>12</sup>. Jednak dopiero XXI w., w związku z szybkim rozwojem nowych

<sup>8</sup> Na temat aktywności ruchu ekologicznego w sieci internetowej patrz: J. Pickerill, *Cyberprotest. Environmental Activism Online*, Manchester University Press, Manchester–New York 2003.

<sup>9</sup> Patrz: B. Lia, *Globalisation and the Future of Terrorism. Patterns and Predictions*, Routledge, London–New York 2005, s. 180.

<sup>10</sup> B. Hoffman, *Oblicza terroryzmu*, Bertelsmann Media, Warszawa 2001, s. 189–195.

<sup>11</sup> Por. M. Zanini, S.J.A. Edwards, *The Networking of Terror in the Information Age*, [w:] *Networks and Netwars: The Future of Terror, Crime, and Militancy*, red. J. Arquilla, D. Ronfeldt, RAND Corporation, Santa Monica 2001, s. 35–36. Por. F. Cohen, *Terrorism and Cyberspace*, „Network Security” 2002, nr 5, s. 18–19.

<sup>12</sup> Patrz: J. Arquilla, D. Ronfeldt, *Swarming and the Future...*, dz. cyt.

technologii komunikacyjnych, pozwalających na wykorzystanie inicjatywy małych bojowych jednostek, może stać się ona ważnym elementem strategii, zarówno dla sił centralnie zorganizowanych, jak i dowolnych, nieafiliowanych grup czy ruchów społecznych<sup>13</sup>. *Swarming* można najogólniej zdefiniować jako „pozornie amorficzny”, lecz w gruncie rzeczy „ustrukturyzowany i w pewien sposób »skoordynowany« sposób pulsującego uderzania z wielu stron na konkretny punkt lub punkty”<sup>14</sup>. Atak *swarmingowy* składa się zwykle z wielu, czasowo odseparowanych od siebie pulsów (uderzeń). W każdym z takich pulsów wyróżnić można cztery fazy: ulokowanie (*locate*), skupienie się (*converge*), atak (*attack*) i rozproszenie (*disperse*)<sup>15</sup>. Pulsowanie jest tym, co zasadniczo odróżnia *swarming* od *guerrilli*. Obie taktyki opierają się na małych, mobilnych i trudnych do zlokalizowania jednostkach, które działają na zasadzie „uderz i uciekaj” (*hit and run*). W przypadku ataku *swarmingowego* dochodzi tu do wielu powtarzających się w krótkim czasie ataków, dokonywanych równocześnie z różnych kierunków przez kilka, a nawet więcej jednostek. W kwestii *guerrilli* ataków takich jest niewiele (zwykle jest to jeden rajd bądź zasadzka) i są przeprowadzane przez jedną lub dwie jednostki.

Decydujące znaczenie w ataku *swarmingowym* ma szybkość i koordynacja działania. Jak zauważa Sean Edwards:

Sieci *swarmingowe* muszą być w stanie zejść się szybko i skrycie nad celem, następnie rozproszyć się i być w stanie połączyć się do nowego »pulsu«. Jest istotne, by jednostki tworzące rój (*swarm*) skupiały się i atakowały symultanicznie. Każda pojedyncza jednostka roju jest sama w sobie bezbronna, jednakże, gdy jest połączona w konkretnym zadaniu z inną bratnią jednostką, jej siła ulega zwielokrotnieniu, ponieważ potencjał całości *swarmingowej* jest wyższy niż suma jej części. Jednostki czy niezbyt dobrze zmontowane grupy takich jednostek są bezradne wobec przeważających sił wroga, z jego większą siłą ognia i masą<sup>16</sup>.

Zalety ataków *swarmingowych* trudno przecenić. Jak twierdzą Arquilla i Ronfeld:

Siły roju są trudne do zlokalizowania, dlatego styl bitwy będzie odznaczał się amorficznością, przynajmniej w oczach wroga. Niewielki rozmiar i rozproszona lokalizacja manewrujących jednostek daje obraz symultanicznej ukradkowości i wszechobecności – »ukrytej wszechobecności«. Tak więc siła roju będzie w dużej mierze niewidzialna i niezauważona, ale będzie w stanie stężyć i uderzyć zdecydowanie, gdzie w przestrzeni bitwy – bez żadnych ograniczeń narzucanych zwykle przez linię frontu<sup>17</sup>.

„Amorficzność i nieuchwytność” to atuty pozwalające na sprawne otoczenie celu (*encirclement*) i w miarę bezpieczne dokonanie symultanicznego (*simultaneity*) ataku z wielu kierunków, szybkie wycofanie zaangażowanych jednostek, w celu

<sup>13</sup> Jako jeden z pierwszych taktykę *swarmingu* opisał marksistowski rewolucjonista i pisarz Carlos Marighella. Patrz: C. Marighella, *Minimanual of the Urban Guerilla*, Paladin Press, Boulder 1975, s. 22, <http://www.latinamericanstudies.org/marighella.htm>; [http://www.investigatingtheterror.com/documents/files/Mini-Manual%20of%20the%20Urban%20Guerrilla%20-%20Carlos%20Marighella%20\(1969\).pdf](http://www.investigatingtheterror.com/documents/files/Mini-Manual%20of%20the%20Urban%20Guerrilla%20-%20Carlos%20Marighella%20(1969).pdf) [dostęp: 18.02.2011].

<sup>14</sup> J. Arquilla, D. Ronfeld, *Networks and Netwar*, <http://radio-weblogs.com/0107127/stories/2002/09/10/networksAndNetwar.html> [dostęp: 19.02.2011].

<sup>15</sup> Patrz: S.J.A. Edwards, *Swarming on the Battlefield: Past, Present, and Future*, Rand Corporation, 2000, s. 68, [http://www.rand.org/pubs/monograph\\_reports/MR1100.html](http://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1100.html) [dostęp: 16.02.2011].

<sup>16</sup> Tamże, s. 68–69.

<sup>17</sup> Patrz: J. Arquilla, D. Ronfeld, *Swarming and the Future...*, dz. cyt., s. 46.

przysposobienia ich do ponownego ataku. Należy zauważyć, że podstawowym celem *swarmingu* jest nie tyle fizyczne zniszczenie wroga (w warunkach jego militarnej przewagi byłoby to zresztą niemożliwe), co zakłócenie jego wewnętrznej spójności, szczególnie gdy ta opiera się na szeroko pojętym morale. Ciągły atak z wielu stron, nawet gdy jest przeprowadzany przy niewielkiej „sile ognia”, czyni skoordynowaną obronę niezwykle trudną, odcina wroga od zapasów i dróg komunikacji, przede wszystkim jednak wywołuje u atakowanej strony stres, zwątpienie we własne siły oraz przekonanie, że „sprawy nie idą dobrze”.

Historycznie rzecz ujmując, taktyka *swarmingu* występowała zwykle w dwóch postaciach, jako *cloud swarms* (*massed swarming*) lub *vapor swarms* (*dispersed swarming*). *Cloud swarms* ma miejsce wówczas, gdy jednostki *swarmingowe* przybywają na miejsce bitwy jako zwarta masa, a następnie rozpadają się na pojedyncze części, by dokonać zbieżnego ataku z wielu stron na wrogi cel. Z *vapor swarms* mamy zaś do czynienia wówczas, gdy jednostki są od samego początku rozproszone po całym obszarze operacji, następnie zaś zbiegają się w polu bitwy i atakują, nie formując przy tym jednolitej masy<sup>18</sup>. Do XX w. dominującą formą *swarmingu* był *cloud swarming*, który nie wymagał od atakujących jednostek „bycia w nieustannym ze sobą kontakcie”. Wynalazek łączności radiowej spowodował, że *swarming* w wykonaniu geograficznie rozproszonych jednostek stał się nie tylko możliwy, ale i niezwykle skuteczny. Patrząc na *vapor swarms* z perspektywy teorii organizacji, należy zauważyć, że jednostki *swarmingowe* zwykle przyjmowały postać sieci (np. oddziały w Somalii i Czeczenii) lub też były hybrydą sieci i hierarchii (np. U-booty w Bitwie o Atlantyk). Spośród sieciowych form organizacyjnych najbardziej popularną była zwykle sieć węzłowa (*hub network*) – w której jednostki lub grupy tychże tworzyły oddział zawiadywany przez lidera, który sam powiązany był w sposób mniej lub bardziej luźny z innymi liderami (węzłami). Liderzy wraz z podległymi im grupami tworzyli z kolei sieć multiwęzłową, która na poziomie taktycznym zwykle nie posiadała jednego wyróżnionego lidera. Jak słusznie zauważa Edwards, taka sieć, by osiągnąć operacyjną koherencję, musi spowodować, by „wszystkie węzły podzielały wspólne zasady i cele”<sup>19</sup>.

Opisywany tu sposób działania jednostek *swarmingowych* wspomniani wyżej badacze odnosili przede wszystkim do sił funkcjonujących w zhierarchizowanym systemie rozkazów, choć niekoniecznie w sytuacyjnej od nich zależności (w warunkach ataku jednostki takie mogą posiadać nawet wysoki stopień autonomii). Jednak rozwój nowych technologii komunikacyjnych (w tym Internetu) oraz nowych sieciowych form organizacji pozwolił na wykorzystanie *swarmingu* przez siły, które nie tylko nie podlegają wytycznym „z góry”, ale nawet nie są w jakiegokolwiek formalnej od siebie zależności. Zaadaptowanie tej taktyki przez rozmaite ugrupowania ekstremistyczne i terrorystyczne nie jest niczym dziwnym. Bez wątplenia można taką adaptację postrzegać nawet jako naturalną reakcję wynikającą z samego charakteru obranej przez nie formy organizacyjnej – sieć wszechkanałowa lub opór bez przywództwa.

<sup>18</sup> Por. S.J.A. Edwards, *Swarming and the Future of Warfare*, RAND Corporation, Santa Monica 2005, s. xvii.

<sup>19</sup> Tamże, s. 93.

Sam mechanizm ataku swarmingowego w wykonaniu tych ugrupowań jest w zasadzie prosty. Informacje o celach (zawierające nazwę tych celów, lokalizację oraz sposób, w jaki powinno się owe cele „nękać”) podawane są na najważniejszych portalach pełniących rolę „ideologicznego źródła” danego ruchu. Informacje te są następnie powielane na innych, „bratnich” portalach, silniej lub słabiej powiązanych ze „źródłem”. Przepływ informacji dokonuje się tu głównie za sprawą sieci wielowęzłowej (portale internetowe) i wszechkanałowej (bezpośrednie kontakty uczestników ruchu). Po rozpowszechnieniu informacji o „celach i metodach” rozpoczyna się właściwy proces „nękania” (pulsowania), trwający wiele dni, tygodni, a nawet miesięcy (aż do osiągnięcia pożądanego rezultatu). W przypadku ugrupowań ekoekstremistycznych niewirtualny (dokonujący się w „realu”) swarmingowy atak polega głównie na rozmaitych uderzeniach sabotażowych lub akcjach typu *sit-in*, które są dokonywane przez sieciowo skomunikowane, autonomiczne grupy lub jednostki i obliczone na sparaliżowanie aktywności przeciwnika poprzez wygenerowanie strat, czyniących jego działalność w znacznym stopniu nieopłacalną.

Wprowadzenie ataków swarmingowych do cyberprzestrzeni nastąpiło najprawdopodobniej na początku lat dziewięćdziesiątych XX w. za sprawą dwóch ugrupowań Critical Art Ensemble (Zespół Sztuki Krytycznej) oraz Electronic Disturbance Theater (Teatr Zakłóceń Elektronicznych). To ostatnie ugrupowanie udostępniło w 1998 r. 20 000 internautom, protestującym przeciw konfliktowi w Chiapas, program FloodNet w jego instalacji SWARM (rój), umożliwiając im przez dwa dni blokowanie stron www urzędu prezydenta Meksyku, amerykańskiego ministerstwa obrony oraz giełdy papierów wartościowych we Frankfurcie. W tym samym roku (16.09.1998 r.) Internetowa Dywizja Animal Liberation Front (Internet Division of the Animal Liberation Front) zapowiedziała zmasowaną kampanię, polegającą m.in. na atakach *denial of service*, atakach z użyciem wirusów, hakowaniu stron internetowych i niszczeniu danych, przeciwko tym, którzy przy użyciu Internetu prowadzą wykorzystujący zwierzęta biznes. Zapowiedź nie była częścią pogroźką. Niedługo po niej nastąpiła seria ataków skierowanych na firmy i instytucje badawcze, którym ALF przypisywała „antyanimalistyczne nastawienie”. Dobrym przykładem może tu być zainicjowana przez ALF w latach 1998–1999 internetowa kampania, polegająca na rzucaniu na serwer szwedzkiego instytutu badawczego Smittskyddinstitute (oskarżanego o prowadzenie eksperymentów na małpach) „bomb e-mailowych”, co doprowadziło do całkowitego zawieszenia pracy serwera i w efekcie do sparaliżowania prac jednostki, czy ogólnościatowa akcja grupy Animal Liberation-Tactical Internet Response Network, która zorganizowała za pośrednictwem Internetu w lutym 2001 r. internetowe *sit-in*<sup>20</sup> z użyciem programu FloodNet wobec największego akcjonariusza Huntingdon Life Sciences – Stephen Inc. of Little Rock z Arkansas, czym doprowadziła do zapchania i zamknięcia jego systemu<sup>21</sup>. We wszystkich tych zdarzeniach (a także w wielu innych)

<sup>20</sup> Istotą internetowego *sit-in* jest zablokowanie dostępu do danej strony internetowej innym użytkownikom sieci.

<sup>21</sup> Patrz: G. Martin, *Understanding Terrorism. Challenges, Perspectives, and Issues*, Thousand Oaks, London–New Delhi 2003, s. 393, patrz także: <http://www.freerepublic.com/focus/fr/675422/posts> [dostęp: 14.03.2011].

uczestniczyły jednostki i grupy z całego świata (choć głównie z Europy, Kanady i USA). Wydaje się mało prawdopodobne, by mogły znać się bezpośrednio, czy chociażby być ze sobą w bezpośrednim wirtualnym kontakcie.

Bez wątplenia *swarming* w wykonaniu współczesnych ugrupowań ekoekstremistycznych różni się znacznie od *swarmingu* tradycyjnego, opisywanego przez teoretyków wojskowości. Różnic jest co najmniej kilka, choć najważniejsze niewątpliwie dotyczą: własności atakowanego celu, charakteru powiązań jednostek uczestniczących w *swarmingu* oraz sposobu koordynowania przez nie działań. I tak na przykład w klasycznej postaci tej taktyki cel był zwykle celem aktywnym (militarnym) – świadomym zagrożenia, uczestniczącym w walce i co najważniejsze – mogącym wystąpić z bezpośrednią reakcją na atak. Cel ataku nowych *swarmingowych* jednostek, rekrutujących się spośród ekologicznych radykałów, ma charakter cywilny – z tego też względu nie tylko nie jest w stanie przeprowadzić „na własną rękę” ataku (czy kontrataku), ale nawet zapewnić sobie we własnym zakresie obrony. Z uwagi na nieograniczoną praktycznie ilość możliwych celów ataki *swarmingowe* nowego typu są w nieporównanie wyższym stopniu bezpieczniejsze dla strony atakującej od tych znanych z przeszłości, w których obydwie strony miały charakter wybitnie militarny i nastawione były na wzajemne zniszczenie. Poziom bezpieczeństwa jeszcze wzrasta, gdy ataki odbywają się za pośrednictwem sieci internetowej i przy użyciu botnetu.

W klasycznym *swarmingu* grupy przeprowadzające atak były powiązane zarówno formalnie, jak i taktycznie. Stosunkowo nieliczne, zorganizowane wokół zastanej struktury rozkazów, wykonywały z góry narzucone zadania i na bieżąco koordynowały przebieg akcji między sobą, jak również, mimo dość znacznej autonomii, porozumiewały się (przynajmniej okresowo) z „centrum”. Współczesne jednostki *swarmingowe*, zorganizowane bądź to w sieć wszechkanałową, bądź też według modelu oporu bez przywództwa, rezygnują zarówno z nadrzędnej struktury rozkazów, jak i z wymogu koordynacji. Dzięki takiej rezygnacji jednostki te zyskują nieosiągalną w zasadzie dla uczestników klasycznego *swarmingu* własność, a mianowicie masowość. Własność ta sprawia, że dla przeciwnika jednostki *swarmingowe* są przynajmniej przed rozpoczęciem akcji niewidoczne (jednostką taką może być każdy). Ich mobilizacja zależy jedynie od siły ideologicznego impulsu, którego źródłem, jak napisałam wcześniej, jest internetowa sieć wielowęzłowa, niezwykle trudna do skontrolowania (portale pojawiają się i znikają).

## 6. WALKĄ Z WALKĄ SIECIOWĄ

Niezwykle trudno wyobrazić sobie skuteczne przeciwdziałanie wyłaniającej się na naszych oczach nowej formy *swarmingu* (opierającej się na bezbronności atakowanego celu i niezhierarchizowanej organizacyjnie strukturze atakujących), czy, ujmując rzecz nieco szerzej, nowej formy terrorystycznej aktywności. Trudno przede wszystkim wyobrazić sobie, by walkę z zdecentralizowanymi, autonomicznymi, sieciowo zorganizowanymi i wysoce z informatyzowanymi jednostkami terrorystycznymi (grupami lub samotnymi wilkami) można było prowadzić za pomocą tradycyjnych metod

przeciwdziałania, które opierają się w znacznej mierze na organizacyjnej inwigilacji czy wywiadzie agenturalnym (środkach służących rozpoznaniu grupy, rozpracowaniu jej struktur, poznaniu zamiarów) oraz na policyjnych bądź militarnych działaniach operacyjnych (zmierających do zniszczenia grupy, bądź przynajmniej udaremnienia jej planów). Skoro stare metody nie do końca się już sprawdzają, poszukiwać trzeba metod nowych, bardziej dostosowanych do zmian, jakie w ostatnich czasach nastąpiły.

Opracowanie zestawu tych metod jest oczywiście zadaniem specjalistów. W tym miejscu chciałabym jednak krótko nakreślić kierunki pożądanych przeobrażeń, które winny uwzględniać istotę zmian w sposobie prowadzenia walki oraz w strukturach organizacyjnych przeciwnika. Trzeba wziąć pod uwagę zwłaszcza dwie kwestie:

1. Po stronie przeciwnika zaangażowane są w walkę siły niehierarchiczne, sieciowe, często zorganizowane na wzór oporu bez przywództwa, z którymi trudno sobie poradzić za pomocą klasycznych, hierarchicznych struktur.
2. Siły te zespolone są za sprawą walczących idei w wielowęzłową sieć internetową, od istnienia której w gruncie rzeczy zależą.

Pierwsza z wymienionych kwestii skłania do rozważenia możliwości odejścia od postrzegania walki z terroryzmem jedynie poprzez pryzmat roli, jaką odgrywać w niej mogą siły zorganizowane hierarchicznie. Wiele wskazuje na to, że walka z nowym, sieciowym terroryzmem może być przegrana, jeśli oprzemy się w niej jedynie na hierarchii i odgórnym zarządzaniu. W takim przypadku bowiem nie będziemy w stanie ogarnąć całego spektrum zdarzeń, ani też wystarczająco plastycznie na nie reagować. Problem ten zauważyli już pod koniec lat dziewięćdziesiątych XX w. John Arquilla i David Ronfeld, którzy w tekście poświęconym walce sieciowej, napisali, iż „strukturom hierarchicznym będzie bardzo trudno walczyć z sieciami”<sup>22</sup>. W podobnym tonie wypowiada się Toby Blyth, stwierdzając, że „użycie hierarchicznej siły przeciwko quasi-terrorystycznym sieciom może nie być szczególnie efektywne”<sup>23</sup>. Wiele wskazuje na to, iż rządzący, którzy chcą się obronić przed walką sieciową, muszą przejść organizacyjny model i strategię swoich przeciwników. Jest to w praktyce zadanie trudne do przeprowadzenia. Trudno sobie bowiem wyobrazić, by siły z natury swej hierarchiczne mogły się przekształcić w swoje zaprzeczenie. Jednak być może „zaadaptowanie struktur przeciwnika” nie musi się odbywać na drodze transformacji hierarchii w sieć. Może wystarczy tu w zupełności struktura hybrydowa, a więc złożenie sieci i hierarchii. Symptomów takiego, spontanicznego jak na razie, złożenia doszukiwać się można chociażby w cyberataku na Estonię z udziałem rosyjskich hakerów (w tym tych związanych z prokremlowską młodzieżówką „Nasi”), we współpracy między cywilnymi ochotnikami a siłami zbrojnymi w Estonii po ataku cybernetycznym na infrastrukturę tego kraju, w działaniach serbskich hakerów podczas wojny w Kosowie, czy w niektórych przykładach kooperacji pomiędzy organizacjami typu „*watchdog*” a rządem Stanów Zjednoczonych.

<sup>22</sup> J. Arquilla, D. Ronfeld, *The Advent of Netwar: Analytic Background*, „Studies in Conflict & Terrorism” 1999, nr 22, s. 199–200.

<sup>23</sup> T. Blyth, *Terrorism as Technology: a Discussion of the Theoretical Underpinnings*, [w:] *Technology and Terrorism*, red. D. Clarke, Transaction Publishers, New Brunswick–London 2004, s. 45.

## 7. PODSUMOWANIE

Kluczowe znaczenie wielowęzłowej sieci internetowej dla funkcjonowania tajnych sieciowych struktur, przy jednoczesnej niemożności ich destrukcji, każe myśleć o niej jako o potencjalnym celu antyterrorystycznych działań. W grę wchodzi tu zarówno jej monitoring, jak i samo zwalczanie źródeł walczących idei. Taki monitoring opierać się może albo na bezpośrednim badaniu stron i portali internetowych przez odpowiednio wyszkolonych specjalistów, albo na systemach analizy danych teleinformatycznych w Internecie, takich jak: *carnivore*, *keyboarding logging systems* czy *echelon*. Mimo licznych kontrowersji związanych z funkcjonowaniem tych systemów są one źródłem konkretnej wiedzy zarówno na temat aktywności grup ekstremistycznych, jak i krążących w Internecie idei. Zwalczanie źródeł walczących idei jest sprawą o wiele trudniejszą. Samo ich zamykanie na dzień dzisiejszy nie wydaje się być dobrym rozwiązaniem – z uwagi chociażby na łatwość, z jaką mogą się odradzać (choć okresowo takie działanie na pewno ograniczyłoby przepływ idei i środków). Same państwa mają też, z racji specyfiki cyberprzestrzeni oraz problemów prawnych, ograniczoną możliwość dokonywania cenzury internetowych treści czy likwidacji „niepokornych stron”. Dlatego czynić to usiłują za nie, często z naruszeniem prawa, rozmaite podmioty pozapaństwowe<sup>24</sup>. Ich aktywność ma jednak, póki co, bardzo ograniczony charakter. W tej sytuacji pewnym rozwiązaniem pozostaje, jak się wydaje, oddziaływanie pośrednie – za pośrednictwem konkurencyjnych źródeł wywierania ideologicznego wpływu, jak również szeregu działań o charakterze prewencyjnym, zmierzających do niwelowania efektów szeroko rozumianego wykluczenia, które współcześnie generowane są w przeważającej mierze przez procesy globalizacji.

## BIBLIOGRAFIA

### Artykuły i monografie

Arquilla J., Ronfeldt D., *The Advent of Netwar (Revisited)*, [w:] *Networks and Netwars: The Future of Terror, Crime, and Militancy*, red. J. Arquilla, D. Ronfeldt, RAND Corporation, Santa Monica 2001.

Arquilla J., Ronfeldt D., *The Advent of Netwar*, RAND Corporation, Santa Monica 1996.

Arquilla J., Ronfeldt D., *The Advent of Netwar: Analytic Background*, „Studies in Conflict & Terrorism” 1999, nr 22.

Arquilla J., Ronfeldt D., Zanini M., *Networks, Netwar, and Information-Age Terrorism*, [w:] I.O. Lesser, B. Hoffman, J. Arquilla, D. Ronfeldt, M. Zanini, B.M. Jenkins, *Countering the New Terrorism*, RAND Corporation, Santa Monica 1999.

Beam L.R., *Leaderless Resistance*, „The Seditonist” 1992, nr 12.

<sup>24</sup> W roku 1997 operator internetowy Institute for Global Communications, w wyniku długotrwałych ataków na jego konta mailowe, został zmuszony do likwidacji strony wspierającej baskijską ETA.



Blyth T., *Terrorism as Technology: a Discussion of the Theoretical Underpinnings*, [w:] *Technology and Terrorism*, red. D. Clarke, Transaction Publishers, New Brunswick–London 2004.

Cohen F., *Terrorism and Cyberspace*, „Network Security” 2002, nr 5.

Edwards S.J.A., *Swarming and the Future of Warfare*, RAND Corporation, Santa Monica 2005.

Gerlach L.P., Hine V.H., *People, Power, Change: Movements of Social Transformation*, Bobbs-Merrill, Indianapolis 1970.

Hoffman B., *Oblicza terroryzmu*, Bertelsmann Media, Warszawa 2001.

Lia B., *Globalisation and the Future of Terrorism. Patterns and Predictions*, Routledge, London–New York 2005.

Martin G., *Understanding Terrorism. Challenges, Perspectives, and Issues*, Thousand Oaks, London–New Delhi 2003.

Pickerill J., *Cyberprotest. Environmental Activism Online*, Manchester University Press, Manchester–New York 2003.

Zanini M., Edwards S.J.A., *The Networking of Terror in the Information Age*, [w:] *Networks and Netwars: The Future of Terror, Crime, and Militancy*, red. J. Arquilla, D. Ronfeldt, RAND Corporation, Santa Monica 2001.

#### Źródła internetowe

---

Arquilla J., Ronfeldt D., *Networks and Netwar*, <http://radio-weblogs.com/0107127/stories/2002/09/10/networksAndNetwar.html> [dostęp: 19.02.2011].

Arquilla J., Ronfeldt D., *Swarming and the Future of Conflict*, RAND National Defense Research Institute, Santa Monica 2000, <http://www.analytictech.com/mb021/swarming%20DB311.pdf> [dostęp: 18.02.2011].

Barabási A.L., Bonabeau E., *Scale Free Networks*, „Scale Free Networks” may 2003, <http://www.scribd.com/doc/6152736/Scale-Free-Networks-and-How-they-impact-everything-by-AlbertLaszlo-Barabasi-and-Eric-Bonabeau> [dostęp: 16.12.2009].

Edwards S.J.A., *Swarming on the Battlefield: Past, Present, and Future*, Rand Corporation, 2000, [http://www.rand.org/pubs/monograph\\_reports/MR1100.html](http://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1100.html) [dostęp: 16.02.2011].

Marighella C., *Minimanual of the Urban Guerilla*, Paladin Press, Boulder 1975, <http://www.latinamericanstudies.org/marighella.htm>; [http://www.investigatingtheterror.com/documents/files/Mini-Manual%20of%20the%20Urban%20Guerrilla%20-%20Carlos%20Marighella%20\(1969\).pdf](http://www.investigatingtheterror.com/documents/files/Mini-Manual%20of%20the%20Urban%20Guerrilla%20-%20Carlos%20Marighella%20(1969).pdf) [dostęp: 18.02.2011].



**Jerzy KUCK**

 Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Jarosławiu  
 e-mail: jerzy.kuck@pwste.edu.pl  
 ORCID: 0000-0001-9836-7457

DOI: 10.55676/asi.v3i1.15

## HISTORIA I WSPÓŁCZESNOŚĆ LOTNICTWA TRANSPORTOWEGO W MAŁOPOLSCE

HISTORY AND MODERNITY OF TRANSPORT AVIATION IN MAŁOPOLSKA

### Streszczenie

Celem opracowania była analiza powstania i rozwoju oraz funkcjonowania lotnictwa w Małopolsce, ze szczególnym uwzględnieniem lotnictwa transportowego od momentu jego powstania do czasów obecnych. Dokonując analizy i charakterystyki tego lotnictwa, z jednoczesnym przedstawieniem zadań, pokazano jego specyfikę oraz miejsce i wpływ na funkcjonowanie sił zbrojnych oraz gospodarki narodowej. Zaprezentowane zostały również sylwetki samolotów, ich charakterystyka, zadania i możliwości. W podsumowaniu zastosowano jedną z metod badawczych – syntezę, która pozwoliła na przedstawienie wniosków generalizujących – podsumowujących działalność lotnictwa, w tym szczególnie lotnictwa transportowego stacjonującego na terenie Małopolski.

**Słowa kluczowe:** lotnictwo transportowe, desantowanie, „Akcja Serce”, pomoc humanitarna

### Abstract

The aim of the study is to analyze the origin, development and functioning of aviation in Małopolska, with particular emphasis on transport aviation from its inception to the present. By analyzing and characterizing this aviation, its specificity, place and impact on the functioning of the armed forces and the national economy were shown by simultaneous presentation of tasks. The silhouettes of aircraft and their characteristics as well as tasks and their capabilities were also presented. In the summary, one of the research methods was used – a synthesis, that allowed to present generalizing conclusions summarizing the activities of aviation, especially transport aviation stationed in Małopolska.

**Keywords:** transport aviation, landing, “Heart Action”, humanitarian aid

## 1. WSTĘP

Marzenia człowieka o lataniu od wieków rozpałały wyobraźnię wielu wizjonerów na całym świecie. Konstruktorzy podejmowali pierwsze kroki mające na celu budowę statków powietrznych, a pasjonaci „szaleńcy” wznosili się w przestworza, chcąc latać jak ptaki. W literaturze znajdujemy wzmianki, że już w 1250 r. angielski mnich, badacz i filozof Roger Bacon był przekonany, że można latać za pomocą urządzeń lżejszych od powietrza. Znany jest również mit o Dedalu i Ikarze, którzy na skrzydłach z ptasich piór umocowanych przy pomocy wosku podjęli próbę wzniesienia się w przestworza.

Za największego geniusza, który projektował maszyny latające, uważany jest żyjący w XV w. Leonardo da Vinci – włoski renesansowy malarz, architekt, filozof, muzyk, pisarz, odkrywca, matematyk, mechanik, anatom, wynalazca i geolog. Prowadził badania i realizował projekty urządzeń do latania napędzanych machającymi skrzydłami. Dążył do poznania anatomii ptaków i tajemnicy ich utrzymywania się w powietrzu. W XVII w. kolejni wizjonerzy próbowali wykonać praktyczny lot na skrzydłach – jednak bez powodzenia.

Pierwsze loty za pomocą urządzeń (balonów) lżejszych od powietrza przeprowadzili w 1783 r. bracia Etienne i Joseph Montgolfier ze zbudowaną własnoręcznie kulą o średnicy 11 metrów. Do balonów z czasem dołączyły sterowce wypełnione gorącym powietrzem, a następnie łatwopalnym wodorem.

Na początku XX w. swoje początki miało lotnictwo. Dzięki badaniom młody uczoney Stefan Drzewiecki stał się w dziejach nie tylko polskiego lotnictwa, ale także na miarę światową, twórcą teorii lotu mechanicznego. Tym samym położył naukowe podwaliny, z których korzystało wielu przyszłych pionierów, konstruktorów lotnictwa.

17 grudnia 1903 r. w Kitty Hawk w Północnej Karolinie (USA) samolot kierowany przez Orville’a Wrighta wzniósł się w powietrze i wykonał pierwszy kilkusekundowy lot. I od tego wszystko się zaczęło.

Na lata 1909–1911 przypadają początki organizacji lotnictwa wojskowego na świecie. Gdy Louis Blériot 25 lipca 1909 r. samolotem własnej konstrukcji jako pierwszy przeleciał nad kanałem La Manche, sztaby generalne i ministerstwa wojny we Francji, Włoszech, Wielkiej Brytanii, Niemczech i Rosji postanowiły wykorzystać lotnictwo jako nowy rodzaj groźnej broni.

Polacy uczestniczyli w budowie i wykorzystaniu lotnictwa w okresie, gdy Polska była jeszcze pod zaborami. Po odzyskaniu niepodległości nastąpiło przejęcie od zaborców lotnisk i samolotów na nich stacjonujących. Znaczny rozwój polskiego lotnictwa rozpoczął się jednocześnie z kształtującą się państwowością, z reguły wyprzedzając możliwości organizacyjne, finansowe i szkoleniowe państwa. Tutaj trwa spór między Krakowem a Poznaniem, gdzie jako pierwsze odrodziło się polskie lotnictwo wojskowe.

Osobiście stawiam na Kraków i skłaniam się do przyjęcia argumentacji, że rację mają ci, którzy przyjmują za potwierdzenie fakt, jaki miał miejsce w nocy z 31 października na 1 listopada 1918 r. To właśnie wtedy ukazał się rozkaz podpisany przez brygadiera Bolesława Roję, nakazujący oficerom narodowości polskiej obejmować dowodzenie

w swoich jednostkach. Na podstawie tego rozkazu kapitan Roman Florer objął dowodzenie i tym samym Rakowice w Krakowie stały się pierwszym polskim lotniskiem wojskowym. Datę 31 października 1918 r. przyjmuje się za datę powstania polskiego lotnictwa wojskowego.

Obecnie, kiedy od tej daty mija 100 lat rozwoju i funkcjonowania lotnictwa polskiego, podejmowane są próby jego analizy i oceny. Lotnictwo zapisało się w pamięci wielu Polaków zarówno w kraju, jak i poza jego granicami. O walorach polskiego lotnictwa szczególnie podczas drugiej wojny światowej napisano wiele książek. Utrwalone dzieje powstania i funkcjonowania lotnictwa w Małopolsce w różnych okresach możemy także znaleźć, czytając poźółtkę kartki książek, kronik i archiwalnej dokumentacji, która pozostaje niemyym świadkiem minionych wydarzeń. Wydarzeń radosnych, szczęśliwych, ale i często smutnych, niejednokrotnie tragicznych.

W opracowaniu wykorzystano analizy i oceny działalności lotnictwa w Małopolsce z uwzględnieniem sześciu okresów jego funkcjonowania, które obejmują 100 lat. Zasadniczym celem opracowania była analiza powstania i rozwoju oraz funkcjonowania lotnictwa w Małopolsce, ze szczególnym uwzględnieniem lotnictwa transportowego od momentu jego powstania do czasów współczesnych. Celem pomocniczym było ustalenie, jakie kolejne zmiany organizacyjne i etatowe (sprzęt i wyposażenie) przechodziło lotnictwo transportowe i w jaki sposób realizowało potrzeby zabezpieczenia wojsk i gospodarki narodowej. Drugim celem pomocniczym była popularyzacja osiągnięć specyficznej roli lotnictwa, czyli transportu.

W materiale zaproponowano następującą hipotezę badawczą: Lotnictwo w okresie 100 lat na terenie Małopolski przechodziło różnorodne zmiany (przeobrażenia), realizowało trudne i ważne zadania. W szczególności lotnictwo transportowe od chwili powstania zabezpieczało szkolenie wojsk powietrznodesantowych i specjalnych, podejmowało działania mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa w czasie transportu ładunków i pasażerów. Świadczyło usługi na rzecz gospodarki narodowej, pomocy humanitarnej, transplantologii. Jednostki lotnicze stacjonujące w Małopolsce kultywują tradycje bohaterskich pilotów, uczestników bitew pierwszej i drugiej wojny światowej.

W opracowaniu zastosowano następujące metody badawcze: analizę, poprzez którą zebrano i uporządkowano materiały opisowe i graficzne z dostępnych pozycji książkowych, dokumentów normatywnych, rozkazodawczych, instrukcji, publikacji oraz kronik jednostek lotnictwa transportowego stacjonujących w Małopolsce, wysłuchanie opinii: żołnierzy zawodowych, ekspertów, rezerwistów, pracowników wojska (resortu obrony narodowej), związanych z lotnictwem transportowym. W materiale wykorzystano także syntezę, która w postaci wniosków generalizujących została wykorzystana w zakończeniu opracowania.

## 2. POWSTANIE I FUNKCJONOWANIE LOTNICTWA W WALCE O NIEPODLEGŁOŚĆ

W Małopolsce obchodzimy 100 lat aktywnej, profesjonalnej, lotniczej działalności, w tym 70 lat lotnictwa transportowego. Zarówno działalność lotnictwa wojskowego, jak i cywilnego w obszarze i na rzecz środowiska Krakowa oraz całej Małopolski ciągle się rozwija, przynosi oczekiwane efekty na wielu płaszczyznach, m.in. w działalności gospodarczej, obronności oraz bezpieczeństwie.

Za początki lotniska w Krakowie można przyjąć okres, kiedy to po raz pierwszy na błoniach rakowickich zaprezentował się samolot wojska austriackiego „Etrich o Taube”. Lotnictwo wojskowe zaczęło się rozwijać w Krakowie od 1912 r., powstało pole wzlotów i drewniane hangary. Gdy w 1914 r. rozpoczęła się pierwsza wojna światowa, na terenie lotniska w Rakowicach bazowały jeszcze jednostki lotnicze Austro-Węgier. W listopadzie 1916 r. powołano do życia Polskie Towarzystwo Żeglugi Napowietrznej z założeniem, aby przy jego pomocy mogło powstać przyszłe lotnictwo wojskowe. W grudniu 1917 r. ze składu armii rosyjskiej nastąpiło wydzielenie Polaków w celu utworzenia II Korpusu Polskiego. Uzyskano także pozwolenie na formowanie eskadry lotniczej i spolonizowanie 14 Rosyjskiego Oddziału Lotniczego. Na wieść o samorzutnie tworzącej się jednostce lotniczej – Polskiego Oddziału Awiacyjnego z Odessy i frontu rumuńskiego przybył personel latający, gromadzono sprzęt i zapasy.

Analizując ten okres, należy wspomnieć zamiar sformowania lotnictwa na Syberii oraz Eskadrę Lotniczą 4 Dywizji Strzelców generała Żeligowskiego. Eskadra ta przechodziła różne koleje losu. Po nawiązaniu łączności z armią generała Iwaszkiewicza pod Lwowem udała się z dywizją pod Stanisławów, by wziąć udział w walkach z Ukraińcami. Eskadra ta, realizując działania bojowe, uniknęła rozbrojenia i stała się jedyną polską formacją na Wschodzie, która przybyła do Polski z licznym i doborowym personelem<sup>1</sup>.

We Francji już na początku pierwszej wojny światowej powstawały polskie oddziały wojskowe. Formacje ochotnicze były początkowo wcielane do pułków francuskich. Lotnictwo Armii Polskiej we Francji w 1919 r. liczyło: 88 pilotów i uczniów-pilotów, 3 obserwatorów, 2 oficerów technicznych oraz 100 mechaników i uczniów-mechaników. Władze francuskie oddały do dyspozycji generała Hallera 7 kompletnych eskadr samolotów zapasowych<sup>2</sup>.

Lotnictwo polskie rozwijało się jednocześnie z kształtującą się państwowością polską, z reguły wyprzedzając możliwości organizacyjne, finansowe i szkoleniowe państwa. W tym okresie polskie formacje powstawały na terenach zagranicznych. Polacy, którzy tam służyli, po odzyskaniu przez nasz kraj niepodległości w 1918 r., stanowili trzon powstałego w tym czasie lotnictwa polskiego. Sprzęt, który używano w budujących się dopiero polskich formacjach lotniczych, pochodził z arsenału państw, w których

<sup>1</sup> *Ku Czci Poległych Lotników. Księga Pamiątkowa*, praca zbiorowa pod redakcją majora dypl. pilota Mariana Romejki, Wydawnictwo Komitetu Budowy Pomnika Poległych Lotników, nakład Lucjana Złotnickiego, Warszawa 1933, s. 55.

<sup>2</sup> Tamże, s. 51–55.

formacja ta powstawała. Były to zdobycze z terenów wyzwolonych, m.in. na lotniskach w: Krakowie, Warszawie, Lwowie i Poznaniu-Ławicy oraz z zakupów realizowanych poza granicami kraju.

Jeszcze przed zakończeniem wojny, tj. 31 października 1918 r. wojsko austriackie oddało władzę w ręce Polskiej Komisji Likwidacyjnej. Polacy objęli dowodzenie na lotnisku w Rakowicach, rozbroili austriackich lotników i zorganizowali posterunki obronne. Tym samym Rakowice stały się pierwszym polskim lotniskiem wojskowym, choć na froncie zachodnim trwały jeszcze walki i nie istniało formalnie państwo polskie<sup>3</sup>. Polacy przejęli od Austriaków to lotnisko wraz ze sprzętem lotniczym (ok. 50 samolotów, głównie szkolnych) z zapasami paliwa, smarów i częściami zamiennymi oraz dobrze wyposażone warsztaty. Na Rakowicach w Krakowie z rozkazu kapitana Florera utworzono pierwszą eskadrę na ziemiach polskich.

W 1919 r. do Polski przybyła armia generała Józefa Hallera. Dysponowała ona świetnie wyposażonymi eskadrami, szkołą pilotów i parkiem lotniczym. Zadaniem oficerów francuskich była pomoc w szkoleniu polskich lotników. Eskadry nie zostały użyte do działań wojennych.

W sierpniu 1921 r. w Rakowicach pod Krakowem z rozbrojonych oddziałów austriackich powstał 2 Pułk Lotniczy, który na trwałe wpisał się w historię miasta. W jego skład wszedł jeden dywizjon wywiadowczy w sile dwóch eskadr. W latach 1919–1920 lotnisko w Rakowicach stanowiło znaczący ośrodek szkoleniowy, zaspakajający potrzeby remontu lotniczego. W lipcu 1922 r. w skład 2 Pułku Lotniczego weszła także 8 Eskadra Lotnicza sformowana w Warszawie. Eskadra ta wcześniej brała udział w działaniach wojennych na froncie wschodnim. W skład pułku wszedł także II Ruchomy Park Lotniczy powstały w listopadzie 1918 r. z zakładów austriackiej 10 Kompanii Lotniczej oraz Dywizjon Zapasowy 2 Pułku Lotniczego. Początkowo na wyposażeniu pułku były samoloty wywiadowcze S. V. A., a następnie A. 303-3, A. 300-2, a od roku 1925 – A. 300-4. Używane samoloty produkcji włoskiej z powodu wad konstrukcyjnych były przyczyną licznych katastrof lotniczych. Ostatecznie krakowski pułk otrzymał samoloty Potez XV, co pozwoliło złożyć przełożonym meldunek o zakończeniu jego formowania w dniu 27 maja 1925 r.<sup>4</sup>



Rys. 1. Samolot liniowy Potez XV produkowany w Polsce na licencji francuskiej

Źródło: fot. W. Sankowski.

<sup>3</sup> J. Kuck, *Lotnictwo transportowe. XX-lecie Krakowskiego Oddziału Stowarzyszenia Seniorów Lotnictwa Wojskowego RP*, wyd. 2, Amagraf, Krosno 2015, s. 17–18.

<sup>4</sup> *Ku Czci Poległych Lotników...*, dz. cyt., s. 248.

W okresie 1929–1930 eskadry liniowe przeobrażają się na nowy typ samolotów – Breguet XIX i mogą stacjonować w nowo zbudowanym żelazno-betonowym hangarze. Zły stan techniczny odziedziczonego sprzętu (zwłaszcza samolotów i silników) i braki w wyszkoleniu załóg powodowały liczne wypadki lotnicze, często kończące się śmiercią lotników. Wypadki te najliczniej występowały w latach 1918–1933. Dopiero po wyposażeniu polskiego lotnictwa w sprzęt krajowej produkcji w okresie 1933–1939 ilość zdarzeń spowodowanych np. urwaniem skrzydła czy wadami technicznymi samolotów i silników znacznie się zmniejszyła. W tym też okresie każdy wypadek lotniczy był ewidencjonowany i szczegółowo badany przez komisję złożoną ze specjalistów lotniczych. Wyniki dochodzeń przedstawiano w protokołach. Przyczyny wypadków klasyfikowano według kryteriów:

- spowodowane przez załogę;
- kontrolę techniczną;
- obsługę stanu;
- czynnik rozkazodawczy;
- silnik i osprzęt;
- płatowiec i jego osprzęt;
- warunki atmosferyczne i inne;
- niewyjaśnione<sup>5</sup>.

### 3. PRZYGOTOWANIE LOTNICTWA W OKRESIE MIĘDZYWOJENNYM ORAZ JEGO FUNKCJONOWANIE W CZASIE KAMPANII WRZEŚNIOWEJ W MAŁOPOLSCE I POZA GRANICAMI POLSKI

W latach 1936–1937 w 1, 2, 3 i 4 Pułku Lotniczym utworzono dywizjony myśliwskie. W roku 1938 w związku z kryzysem polsko-litewskim 21 i 22 Eskadra Liniowa (Bombowa) z lotniska Rakowice-Czyżyny odleciały na lotnisko w Lidzie. Tutaj wykonane zostały wspólne loty z polskimi „Karasiami”, przelatując wzdłuż granicy polsko-litewskiej. Kolejnym zadaniem, jakie wyznaczono 2 Pułkowi Lotniczemu, było działanie podczas zajmowania Zaolzia<sup>6</sup>. Polskie lotnictwo wojskowe w 1939 r. było zorganizowane w sześciu pułkach, które bazowały na lotniskach przy większych miastach: 1 Pułk Lotniczy na lotnisku Okęcie w Warszawie, 2 Pułk Lotniczy w Rakowicach koło Krakowa, 3 Pułk Lotniczy w Ławicy koło Poznania, 4 Pułk Lotniczy w Toruniu, 5 Pułk Lotniczy w Lidzie i Wilnie oraz 6 Pułk Lotniczy w Skniłowie we Lwowie.

Przed wybuchem drugiej wojny światowej w 2 Pułku Lotniczym szczególną uwagę skupiono na prowadzeniu zajęć z rozpoznania samolotów, szczególnie niemieckich oraz zintensyfikowano naukę języka niemieckiego<sup>7</sup>. W lecie 1939 r. realizowano przedsięwzięcia związane z pełną gotowością bojową. Ustawiono także dwie zasadzki w pobliżu granicy niemieckiej na odcinku zachodnim. Zasadzki realizował dywizjon

<sup>5</sup> A. Popiel, *Pamięci poległych lotników 1933–1939*, WKiŁ, Warszawa 1987, s. 5–6.

<sup>6</sup> Tamże, s. 89.

<sup>7</sup> Tamże, s. 92.



myśliwski składający się z 121, 122 i 123 eskadry. Samoloty zostały rozmieszczone na lotniskach koło Wielunia i w Aleksandrowicach koło Bielska-Białej. Przed wybuchem drugiej wojny światowej 121 i 122 eskadra z lotniska Rakowice-Czyżyny zostały przebazowane nocą z 30 na 31 sierpnia na lotnisko polowe w Balicach.

Rankiem 1 września 1939 r. niemieckie lotnictwo zaatakowało Polskę, jednostki Luftflotte dowodzone przez generała lotnictwa Aleksandra Löhra z 4 Floty Powietrznej zaatakowały krakowskie lotnisko, na którym nie było już polskich samolotów. Podczas startu do lotu bojowego nad Balicami pojawiła się niespodziewanie grupa nieprzyjaciela wracająca z Krakowa. Dowódca Dywizjonu Myśliwskiego, kapitan pilot Mieczysław Medwecki, tuż po starcie został zestrzelony przez Ju-87 pilotowanego przez sierżanta Franka Neuberta z I/StG 2 „Immelmann”. Był to pierwszy poległy w czasie drugiej wojny światowej pilot polski. Podchorąży Władysław Gnyś, startujący w kluczu kapitana Medweckiego, wymanewrował atakujących go Niemców i kontynuował lot. W rejonie Olkusza napotkał wracającą z Krakowa eskadrę Dornierów Do-17E z KG 77. Zestrzelił dwa bombowce wroga, które rozbiły się w rejonie wsi Żurada. Były to pierwsze zwycięstwa powietrzne odniesione przez polskiego pilota podczas drugiej wojny światowej. Po południu pierwszego dnia wojny dywizjon przebazowano na lotnisko polowe Igołomia (25 km na wschód od Krakowa). 6 września 1939 r. wojska niemieckie zajęły lotnisko Rakowice-Czyżyny i przystąpiły przy pomocy polskich jeńców do naprawy pasa startowego. Już w dniu następnym lotnisko było gotowe do przyjęcia niemieckich samolotów, które zostały wykorzystane do wojny przeciwko Polsce. Wkrótce lotnisko to stało się kluczową (strategiczną) bazą lotniczą Luftwaffe. W 1941 r. Niemcy dokonali technicznej modernizacji lotniska, przygotowując go do zbliżającego się ataku na Związek Sowiecki. W latach 1942–1944 na lotnisku stacjonowały różne niemieckie pułki.

Gdy w Polsce pierwszego września 1939 r. wybuchła wojna, piloci poszczególnych dywizjonów lotniczych prowadzili rozpoznanie lotnicze i starali się zapewnić skuteczną osłonę własnych wojsk. Ulegli jednak przeważającym siłom Luftwaffe. Po zakończeniu bohaterskiej, ale nierównej walki w kraju polscy lotnicy przez Słowację, Węgry i Rumunię przedostawali się na Zachód, aby tam dalej kontynuować służbę. W pierwszym okresie głównie udawali się do Francji, gdzie w oparciu o umowę polsko-francuską rozpoczęto organizację czterech dywizjonów myśliwskich. Jednym z nich był 2 Dywizjon Myśliwski Krakowsko-Poznański, w którym na dowódcę wyznaczono majora pilota Mieczysława Mümlera, byłego dowódcę poznańskiego dywizjonu myśliwskiego z lotnictwa Armii „Poznań”.



Rys. 2. Spitfire z 308 Dywizjonu

Źródło: <https://rozrywka.dziennik.pl/jegostrona/militaria/galeria/463195,spitfire-w-barwach-dywizjonu-308-u-boku-orlikow.html> [dostęp: 10.05.2022].

Po klęsce Francji polskich lotników ewakuowano głównie drogą morską do Wielkiej Brytanii, gdzie od maja 1940 r. powołano Polskie Siły Powietrzne. W ich skład wszedł 308 Dywizjon Myśliwski „Krakowski” (formowany we wrześniu). Dywizjon ten kontynuował tradycje krakowskiego Dywizjonu Myśliwskiego 2 Pułku Lotniczego w Krakowie, który w Wojnie Obronnej Polski w 1939 r. walczył w składzie Armii „Kraków”. Personel dywizjonu pochodził głównie z 2 Pułku Lotniczego.

Polacy w czasie drugiej wojny światowej z hitlerowskim okupantem walczyli na wszystkich frontach. Także na terenie ZSRR, z inicjatywy Związku Patriotów Polskich, Wojsko Polskie napotykało na różne ograniczenia. Dotyczyły one głównie sfery materiałowo-technicznej oraz kadrowej. Te ograniczenia uwidoczniły się szczególnie w czasie tworzenia załóżków lotnictwa polskiego<sup>8</sup>. W kwietniu 1944 r. sformowano 2 Pułk Nocnych Bombowców oraz 103 Samodzielną Eskadrę Łącznikową. Decyzją dowództwa Armii Polskiej w ZSRR 2 Pułk Nocnych Bombowców na początku kwietnia 1944 r. otrzymał nazwę „Kraków”.



Rys. 3. Samolot Po-2 Pułku Nocnych Bombowców „Kraków” w czasie drugiej wojny światowej

Źródło: T. Królikowski, *Polski samolot i barwa*, MON, Warszawa 1981.

W 1944 i 1945 r. ruszyła na ziemi polskie ofensywa Armii Czerwonej. Niemcy wycofując się z lotniska, dokonali poważnych zniszczeń. Wyszadzili zabudowania lotniska tak, że nie powróciło ono już nigdy do dawnej świetności. Po wycofaniu z krakowskiego

<sup>8</sup> Cz. Grzelak, H. Stańczyk, S. Zwoliński, *Bez możliwości wyboru. Wojsko Polskie na Froncie Wschodnim*, Rytm, Warszawa 1993, s. 89–96.

lotniska niemieckiej Luftwaffe 18 stycznia 1945 r. do końca września tegoż roku lotnisko znajdowało się pod kontrolą Armii Czerwonej, będąc przyfrontową bazą dla jej samolotów walczących na południowym odcinku frontu (wzdłuż tzw. Czarnej Orawy)<sup>9</sup>.

#### 4. POWSTANIE, ROZWÓJ ORAZ FUNKCJONOWANIE LOTNICTWA TRANSPORTOWEGO W MAŁOPOLSCE

Po drugiej wojnie światowej Balice były bazą Sekcji Lotniczej Wydziałów Politechnicznych AGH oraz Aeroklubu Krakowskiego. Sekcja zakończyła działalność w 1949 r., a na lotnisku pozostał tylko aeroklub, który w 1952 r. został przeniesiony na lotnisko w Pobiedniku Wielkim. Lotnisko Balice po rozbudowie zostało zajęte przez jednostki lotnictwa wojskowego, przeniesione z lotniska Rakowice-Czyżyny. Rozkazem org. nr 019 utworzono 2 Pułk Lotnictwa Myśliwskiego. Na miejsce stacjonowania pułku wyznaczono lotnisko Rakowice-Czyżyny. Pułk wszedł w skład 1 Brandenburskiej Dywizji Lotnictwa Myśliwskiego, a po jej rozwiązaniu w październiku 1946 r. stał się samodzielnym pułkiem myśliwskim podporządkowanym bezpośrednio Dowództwu Lotnictwa Wojska Polskiego.

W październiku 1947 r. na krakowskim lotnisku stacjonowało 35 samolotów: 28 samolotów typu Jak-9, 3 typu Jak-9W, 3 typu UT-2, 1 typu Po-2<sup>10</sup>. W grudniu 1948 r. 2 Pułk Lotnictwa Myśliwskiego liczył 88 oficerów, 34 podoficerów i 270 szeregowców<sup>11</sup>. 26 lipca 1955 r. na mocy rozkazu Dowództwa Wojsk Lotniczych i dowódcy 7 Dywizji Lotnictwa Myśliwskiego zapadła decyzja o przebazowaniu 2 Pułku Lotnictwa Myśliwskiego OPL z lotniska Rakowice-Czyżyny na lotnisko Balice. Z początkiem 1955 r. 2 Pułk Lotnictwa Myśliwskiego został wyposażony w samoloty MiG-15 i MiG-15bis. W lipcu 1957 r. nastąpiły kolejne zmiany podporządkowania i 2 Pułk Lotnictwa Myśliwskiego został włączony w skład 1 Korpusu Obrony Przeciwlotniczej Kraju. W tym okresie charakter zadań i warunki ich wykonania podyktowały potrzebę posiadania w składzie sił powietrznych następujących rodzajów lotnictwa: bombowego, myśliwsko-bombowego, szturmowego, myśliwskiego, rozpoznawczego, transportowego, pomocniczego i sanitarnego.

Niemal wszystkie rodzaje lotnictwa po pierwszej wojnie światowej zaczęły rozwijać się bardzo szybko. W przypadku lotnictwa transportowego jako środka komunikacji szczególnie burzliwy postęp nastąpił po drugiej wojnie światowej, gdy zastąpiło ono duże morskie pasażerskie statki. Konstrukcja samolotu transportowego jest pochodną przeznaczenia i możliwości dostępnych rozwiązań mikroelektroniki i inżynierii materiałowej. Rozmieszczenie i liczba silników wynika z:

- uzyskania jak najmniejszej asymetrii ciągu w przypadku wyłączenia jednego z silników;
- łatwego dostępu w czasie obsługi i wymiany;

<sup>9</sup> K. Wielgus, *Rakowice Czyżyny - lotnisko Krakowa. Od „Ogrodu dla Lotników” do lotniczego parku Kulturowego*, seria „Acta Aeronautica”, Muzeum Lotnictwa Polskiego, Kraków 2002, s. 30.

<sup>10</sup> CAW, 507.3/A.57, Sprawozdanie z wyszkolenia bojowego 2 plm za miesiąc październik 1947 roku.

<sup>11</sup> WAW, 1482.70.2583, Rozkaz 2 plm nr 031 z 1 XII 1948 przedstawiający stan personelu pułku na dzień 1 XII 1948.

- zabezpieczenia wlotu przed możliwością zasysania zanieczyszczeń z ziemi oraz zminimalizowania prawdopodobieństwa uszkodzeń kadłuba odłamkami silnika w przypadku jego uszkodzenia.

W samolotach transportowych przeznaczonych dla wojska, które służą do przewozu pojazdów bojowych, desantów spadochronowych, zastosowane są różne rozwiązania konstrukcyjne, np. wzmocnione podłogi, składane siedzenia dla żołnierzy czy specjalne palety i kontenery pozwalające przewozić ładunki.

Rodowód 13 Pułku Lotnictwa Transportowego wywodzi się z byłego 713 Pułku Lotnictwa Transportowego 6 Armii Lotniczej radzieckich sił powietrznych. Zasadniczym zadaniem 13 Pułku Lotnictwa Transportowego w okresie drugiej wojny światowej było dostarczanie na linię frontu amunicji, broni, ładunków wybuchowych, materiałów szkoleniowo-propagandowych, artykułów medycznych oraz transport ludzi, głównie rannych. W grudniu 1944 r. jednostka posiadała pełne uzupełnienie etatowe w ludziach i sprzęcie bojowym. Według ówczesnego etatu bojowego pułk liczył 33 pilotów, 11 nawigatorów, 32 samoloty typu Po-2 przystosowane do transportu.



Fot. 1. Samolot Po-2 LNB w Muzeum Lotnictwa Polskiego w Krakowie

Źródło: <https://www.polot.net/content/samoloty/css-13/histor20.jpg> [dostęp: 10.05.2022].

Rozformowanie 13 Samodzielnego Pułku Lotnictwa Transportowego w 1945 r. uzasadniane było brakiem zapotrzebowania na tak dużą jednostkę lotniczą przeznaczoną do wykonywania zadań transportowych. Dopiero w 1963 r. powołano jednostkę transportową i dyslokowano ją na terenie Krakowa. Był to 55 Pułk Lotnictwa Transportowego, który został powołany Zarządzeniem Szefa Sztabu Generalnego Wojska Polskiego nr 03/org. z dnia 04.01.1963 r. Następnie wydany został rozkaz szczegółowy nr 040 z dnia 29.04.1963 r. Dowódcy Lotnictwa Operacyjnego. Na dowódcę pułku został wyznaczony pułkownik pilot Aleksander Milart.



Rys. 4. Samolot An-2 w polskiej armii

Źródło: T. Królikowski, *Polski samolot i barwa*, MON, Warszawa 1981.

W skład 55 Pułku Lotnictwa Transportowego weszła w pełnym składzie bojowym eskadra 36 Specjalnego Samodzielnego Pułku Lotniczego Warszawa. Trzy dni później 7 czerwca 1963 r. przybyła załoga wraz z samolotem Li-2<sup>12</sup> z Oficerskiej Szkoły Lotniczej z Dębłina.



Fot. 2. Samolot transportowy Li-2 konstrukcji radzieckiej z okresu II wojny światowej

Źródło: [https://www.google.pl/?gws\\_rd=ssl#q=li-2](https://www.google.pl/?gws_rd=ssl#q=li-2) [dostęp: 10.05.2022].

System organizacji dwueskadrowej istniał do końca 1969 r., kiedy to powróciła z przeszkolenia w ZSRR grupa personelu latającego i technicznego na samoloty An-12. Od stycznia 1970 r. powstała trzecia eskadra lotnicza mająca na stanie etatowym właśnie te samoloty.

<sup>12</sup> Li-2 (ros. Ли-2) – samolot transportowy konstrukcji radzieckiej z okresu przed drugą wojną światową. Po zakupie licencji na produkcję samolotu komunikacyjnego Douglas DC-3 w biurze konstrukcyjnym Borysa Lisunowa dokonano adaptacji projektu. Pod koniec 1939 r. uruchomiono jego produkcję w Wytwórni Lotniczej nr 84 w Chimkach pod Moskwą. Na początku 1941 r. zmieniono oznaczenie maszyny na Li-2. Ogółem wyprodukowano do 1947 r. ok. 3000 sztuk samolotu w różnych odmianach, najwięcej – w wersji transportowej Li-2G (Li-2T). Załoga – 3 osoby, prędkość maksymalna – 300 km/h, ciężar – 7750 kg, zasięg – 2500 km, długość – 20 m, prędkość przelotowa – 245 km/h, rozpiętość skrzydeł – 29 m.

Po powstaniu 55 Pułku Lotnictwa Transportowego do jego podstawowych zadań należało:

- desantowanie skoczków spadochronowych 6 Pomorskiej Dywizji Powietrznodesantowej z samolotów An-2 i Li-2;
- loty na fotografowanie – samoloty Li-2;
- loty dyspozycyjne i przewóz ładunków na korzyść jednostek lotniczych i innych rodzajów wojsk;
- przewozy towarów poza granice kraju jako loty czarterowe;
- zabezpieczanie „manewru lotniskowego” pułków lotniczych i związków taktycznych.

W 1964 r. do wykonywania zadań do jednostki wojskowej przybyli: kapitan pilot Henryk Hała i kapitan Wacław Korzeń, który objął stanowisko technika klucza samolotów Ił-14<sup>13</sup> oraz kapitan Józef Blejzyk na stanowisko technika samolotu Ił-14.



Fot. 3. Ił-14 – radziecki samolot pasażersko-transportowy

Źródło: <https://www.google.pl/search?q=i%C5%82+14&biw=1261&bih=509&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&sqi=2&ved=OCiABEIkEahUKewiyi6-B5LzIAhVMiS w KHTueBYg&dpr=1#imgrc=82-z8XmOq-8-T3M%3A> [dostęp: 10.05.2022].

17 marca 1966 r. do ZSRR wyjechała grupa żołnierzy krakowskiej jednostki w celu przeszkolenia się na nowy typ samolotu An-12B. Po zakończeniu instruktażu i otrzymaniu na wyposażenie tego typu samolotu krakowscy piloci zostali przeszkoleni w powietrzu pod okiem instruktorów. We wrześniu 1967 r. zmieniona została struktura organizacyjna 55 Pułku Lotnictwa Transportowego. Jednostka wojskowa przeszła

<sup>13</sup> Ił-14 (ros. Ил-14) – radziecki samolot pasażersko-transportowy z 1950 r. zaprojektowany w biurze konstrukcyjnym Iljuszyna. Początkowo produkowano 18-miejscową wersję Ił-14P, a w roku 1956 powstała wersja Ił-14M z przedłużonym o 1 metr kadłubem i większą ilością miejsc pasażerskich. Produkowano także wersje transportowe (Ił-14G i Ił-14T) oraz desantową Ił-14D. Ogółem w latach 1954–1960 zbudowano 1112 sztuk. Samolot jest wolnonośnym dolnopłatem konstrukcji metalowej, krytym blachą. Podwozie samolotu z kołem przednim, chowane w locie. Usterzenie klasyczne, 2 silniki tłokowe w układzie podwójnej gwiazdy ASz-82 o mocy 1900 KM. Śmigła czteropłatowe. Rozpiętość skrzydeł – 31,7 m, długość – 21,3 m, wysokość – 7,8 m, masa startowa – 12 850 kg, prędkość maksymalna – 430 km/h, prędkość przelotowa – 300 km/h, zasięg – 1000 km.

na nowy etat Nr 6/491<sup>14</sup>. W jej składzie służyło: 226 oficerów, 227 podoficerów zawodowych oraz 467 żołnierzy służby zasadniczej. Rozkazem Ministra Obrony Narodowej Nr 025 z dnia 30 IX 1967 r. 55 Pułk Lotnictwa Transportowego otrzymał swą pierwotną nazwę z 1944 r. – 13 Pułk Lotnictwa Transportowego (13 PLTr). Był to powrót do tradycji wojennych 713 Pułku. Minister Obrony Narodowej ustanowił doroczne święto jednostki na 23 sierpnia.



Fot. 4. Samolot Antonow An-12B na lotnisku w Balicach

Źródło: Kronika 13 PLTr.

W celu zwiększenia możliwości przewozowych pułku konieczny stał się zakup nowych samolotów transportowych. Pod uwagę brano cztery typy samolotów: An-12, An-22, An-24 i An-26. Ostatecznie wybrano samoloty typu An-26<sup>15</sup>, między innymi z uwagi na duży zasięg oraz przystosowanie do wykonywania lotów desantowych. Samoloty te dysponują tylną rampą ułatwiającą załadunek i rozładunek sprzętu oraz wykonywanie desantu.

<sup>14</sup> Zgodnie z nową strukturą organizacyjną 13 Pułk Lotnictwa Transportowego składał się z trzech eskadr. W skład pierwszej eskadry pod dowództwem mjr. pil. Tadeusza Gila weszły 2 samoloty An-12. W skład drugiej eskadry pod dowództwem mjr. pil. Floriana Domala włączono 4 samoloty Il-14 i 6 samolotów Li-2. Natomiast w skład trzeciej eskadry pod dowództwem kpt. pil. Edwarda Haryszyna weszło 18 samolotów An-2. Druga eskadra poza wykonywaniem lotów transportowych miała również wykonywać loty aerofotogrametryczne.

<sup>15</sup> Samolot An-26 (górnopłat) o konstrukcji całkowicie metalowej półskorupowej z klasycznym usterzeniem. Może zabrać 30 skoczków spadochronowych lub 24 nosze, lub do 5500 kg ładunku. W tylnej części kadłuba drzwi ładunkowe otwierane w locie do zrzutów desantowych. Podwozie chowane w locie. W wariantcie z silnikiem odrzutowym (umieszczony w prawej gondoli silnika) służy jako pomocniczy do startu, w szczególności w klimacie gorącym i na lotniskach położonych wysoko. Służy także do wytwarzania dodatkowego ciągu w przypadku awarii silnika głównego. Prototyp An-26 wykonał pierwszy lot w 1969 r. Został wyprodukowany w liczbie około tysiąca sztuk. W roku 1981 do produkcji weszła wersja ulepszona An-26B. Wersja rozwojowa fotogrametryczna An-30 powstała w 1974 r. Wersja An-32 z silnikami o znacznie większej mocy – w 1977 r. W 1972 r. dla 13 PLTr, stacjonującego w 8 Bazy Lotniczej w Krakowie, zakupiono 12 samolotów An-26: załoga – 5 osób (dwóch pilotów, radiooperator, inżynier pokładowy, nawigator), napęd – 2 turbośmigłowe silniki AI-24T oraz pomocniczy (wersja) silnik odrzutowy RU-19A, rozpiętość – 29,20 m, długość – 23,80 m, wysokość – 8,60 m, powierzchnia nośna – 75,00 m<sup>2</sup>, prędkość maksymalna – 540 km/h, prędkość przelotowa – 435 km/h, prędkość minimalna – 165 km/h, pułap – 7700 m, zasięg – 1100 km z maks. ładunkiem, z ładunkiem 2 ton – 2550 km.



Rys. 5. Samolot An-26

Źródło: Kronika 13 PLTr.

## 5. STRUKTURA, ZADANIA I FUNKCJONOWANIE LOTNICTWA TRANSPORTOWEGO W MAŁOPOLSCE W LATACH 1972–2000

Rok 1972 dla 13 PLTr był bardzo ważny. Po zakończeniu przeszkolenia teoretycznego odbywało się szkolenie w powietrzu na samolotach An-26. Do końca 1972 r. eskadra została całkowicie wyposażona w samoloty An-26. Piloci i nawigatorzy systematycznie podnosili swoje kwalifikacje. Większość załóg szybko osiągnęła możliwość lądowania w następujących warunkach: podstawa chmur 60 metrów przy widzialności 800 metrów i tylko przy wykorzystaniu systemu ILS. Takie opanowanie rzemiosła pozwoliło na loty na daleką Syberię – Nowosybirsk, do Afryki – Kair oraz do wszystkich krajów Europy.

Nieodłączną rolę lotniczego działania było szkolenie poligonowe: wykonywano zarówno loty szkolne, jak również loty desantowe na korzyść 6 Pomorskiej Dywizji Powietrznodesantowej. Loty desantowe wykonywano zarówno w dzień, jak i w nocy. Przeciętnie w ciągu dnia desantowano około 600 skoczków. Na polecenie dowództwa opracowano kilka wariantów lotów z pocztą po kraju. Wybrano chyba najtrudniejszy, który polegał na tym, że od poniedziałku do piątku co noc sześć samolotów latało do Warszawy z: Krakowa, Wrocławia, Poznania, Szczecina, Gdańska i Rzeszowa. Transportowały pocztę, a przy okazji kosmetyki, prasę, duże sumy pieniędzy, waluty obce, kurczęta z Budapesztu. To były loty wynikające z porozumienia między Dowództwem a PLL LOT „Cargo”.

Stan wojenny rozpoczął się dla 13 PLTr alarmem ogłoszonym 12 grudnia 1981 r. około godziny 20.00. Rozpoczęto ściąganie do pracy w sobotę kadry pułku, równocześnie wezwano kadrę 6 Pomorskiej Dywizji Powietrznodesantowej, którą to samoloty An-26 w dniach 12–13 grudnia 1981 r. transportowały do Warszawy.

W 1982 r. w 13 PLTr szkolona była grupa 43 libijskich pilotów i nawigatorów, którzy byli przeszkalani na samoloty transportowe Ił-14. Szkolenie to rozpoczęło się w maju 1982 r. Za szkolenie lotnicze odpowiadała 3 eskadra lotnicza.



W 1985 r. 13 PLTr otrzymał imię podpułkownika pilota Stanisława Jakuba Skarżyńskiego<sup>16</sup>, który został patronem jednostki na mocy rozkazu ministra obrony.

W 1987 r. nastąpiła reorganizacja pułku i z trzech eskadr lotniczych utworzono dwie eskadry lotnicze:

- pierwsza eskadra – samoloty An-26 i An-12B;
- druga eskadra – samoloty An-2 i Ił-14.

W 1987 r. odbyła się III Pielgrzymka Ojca Świętego Jana Pawła II do Ojczyzny. Papież przebywał w Polsce w dniach 8–14 czerwca na zaproszenie Rządu i Episkopatu Polski Rzeczypospolitej Ludowej. Żołnierze 13 PLTr brali udział w przygotowywaniu i zabezpieczeniu tego wydarzenia. W roku 1987 w pułku rozpoczęły się loty w ramach tzw. „akcji lotów na ratunek”. Loty te były realizowane dla Kliniki Kardiochirurgii Śląskiej Akademii Medycznej w Zabrze, gdzie doktor Zbigniew Religa rozpoczynał pierwsze operacje przeszczepu (transplantacji) serca. Samoloty 13 PLTr były coraz częściej „podrywane” w powietrze w celu przewiezienia dawcy serca. Były to loty o różnych porach doby i na różne lotniska. Z zasady samolot startował z Krakowa i leciał do Katowic, gdzie zabierał samochód-sanitarkę i wraz z drugim zespołem lekarskim leciał tam, gdzie był dawca serca. Wraz z nim powracał do Katowic i oczekiwał na operację. Następnie odwoził dawcę do punktu, skąd był zabrany i powracał do Krakowa.



Fot. 5. Doktor Zbigniew Religa z zespołem transplantacyjnym Kliniki Kardiochirurgii Śląskiej Akademii Medycznej w Zabrze w samolocie 13 Pułku Lotnictwa Transportowego

Źródło: Kronika13 PLTr.

<sup>16</sup> Podpułkownik pilot Stanisław Jakub Skarżyński – żarliwy patriota, wspaniały lotnik, bohaterski oficer Wojska Polskiego. Ukoronowaniem lotniczych osiągnięć Skarżyńskiego był samotny przelot nad Atlantykiem. Przedsięwzięcie było niesłychanie śmiałe, ale też ryzykowne i niebezpieczne. Kapitan pilot Skarżyński zdecydował się dokonać przelotu na małym, jednomiejscowym samolocie sportowo-turystycznym, który nie posiadał koniecznych przyrządów pokładowych i urządzeń ratowniczych. Był to RWD-5 bis, seryjna odmiana samolotu dalekiej turystyki RWD-5. Silnik DH Gipsy „Major” o mocy 130 KM rozwijał prędkość maksymalną 210 km/godz. Start do rajdu nastąpił 27 kwietnia 1933 r. z Warszawy, przez Poznań, Lipsk, Frankfurt nad Menem, Lyon. Skarżyński doleciał do Saint Louis w Senegalu. W nocy 7 maja 1933 r. po zatankowaniu 700 litrów benzyny na lotnisku Saint Louis w Senegalu samolot sportowy RWD-5bis o numerze rejestracyjnym SP-AJU wystartował do lotu nad południowym Atlantykiem. Bez łodzi ratunkowej, spadochronu i radia, za to w odświętnej marynarce – w 1933 r. kapitan Stanisław Skarżyński jako pierwszy Polak przeleciał nad Atlantykiem. W polskim samolocie RWD-5bis ważącym niespełna 450 kilogramów RWD-5bis (najmniejszym samolotem, jaki do tej pory pokonał Atlantyck) pokonał 3852 kilometry z Saint Louis w Afryce Zachodniej do Maceió w Brazylii. Po 18 godzinach samotnego lotu pilot osiągnął Przylądek Saint Roque na wybrzeżu Brazylii i wylądował w Maceió, witany owacyjnie przez grupę polonii brazylijskiej.

W 1988 r. Armenię nawiedziło silne trzęsienie ziemi. W gruzach legły setki osiedli ludzkich. Znaczna część budynków zapadła się pod ziemię. Tysiące ludzi zginęło pod gruzami (około 40–45 tysięcy), kilkanaście tysięcy przed nadchodzącą zimą pozostało bez dachu nad głową, bez środków do życia, wielu w stanie bardzo ciężkim było uwięzionych pod gruzami domów. Pomoc kierowana była z całego świata. Brakowało przede wszystkim lekarstw, środków opatrunkowych i szpitali. W międzynarodowej akcji pomocy dla ofiar kataklizmu uczestniczyła również Polska. Na terenie całego kraju zorganizowane zostały liczne zbiórki pieniędzy i darów. Jedną z takich zbiórek zorganizowali żołnierze 13 PLTr.



Fot. 6. Polska pomoc humanitarna dla ofiar kataklizmu w Armenii

Źródło: Kronika 13 PLTr.

W styczniu 1991 r. żołnierze 13 PLTr wzięli udział w zabezpieczeniu Rajdu Paryż–Dakar. 22 grudnia 1991 r. na trasie Anneville–Ambourville we Francji został przeprowadzony wielki rajd – maraton samochodowy. W zawodach, które zastąpiły słynny rajd „Paryż–Dakar”, startowało 143 samochody osobowe i 141 ciężarówek. Główny organizator imprezy Thierry Sabi no Organisation podpisał umowę na wynajęcie do obsługi rajdu trzech polskich samolotów wojskowych An-26 wraz z załogami. Samoloty An-26 dotarły do Paryża 25 grudnia 1991 r., skąd wyruszyły do Afryki. Krakowskie samoloty obsługując rajd Paryż–Kapsztad, służyły organizatorom jako powietrzny szpital, baza dla dziennikarzy oraz ich środek łączności ze światem. Łączna długość rajdu wynosiła 12 427 kilometrów. Dzięki wykorzystaniu samolotów do wykonywania lotów czarterowych Wojska Lotnicze i Obrony Powietrznej ponosiły tylko część kosztów związanych z utrzymaniem tych samolotów.

W 1993 r. ze służby w pułku wycofane zostały ostatnie egzemplarze samolotów typu Ił-14. W tamtym czasie były to najstarsze samoloty znajdujące się na wyposażeniu Wojska Polskiego. Po zdemontowaniu na lotnisku w Balicach skrzydeł jeden Ił-14 przekazany został do Muzeum Lotnictwa w Krakowie.

Śmigłowce i samoloty Bryza w 13 PLTr zabezpieczały pielgrzymki Papieża Jana Pawła II do ojczyzny, partnerstwo dla pokoju oraz 80. rocznicę powstania lotnictwa polskiego. Śmigłowce te przybyły do Krakowa z 47 Szkolnego Pułku Śmigłowców, stacjonującego w Nowym Mieście nad Pilicą.



Fot. 7. Śmigłowiec Mi-2 w 13 PLTr

Źródło: Kronika 13 PLTr.

W czerwcu 1999 r. odbyła się kolejna pielgrzymka Jana Pawła II do ojczyzny. W mszy świętej koncelebrowanej przez Papieża z 13 PLTr pod kierownictwem majora Józefa Jagosa uczestniczyło 25 osób. Wiele osób z pułku wzięło również udział w mszy świętej w Krakowie oraz w uroczystościach pożegnania Papieża na lotnisku 17 czerwca 1999 r.

W 1999 r. Polska przystąpiła do Sojuszu Północnoatlantyckiego. 13 PLTr był jedną z pierwszych polskich jednostek wojskowych realizujących zadania zlecone przez NATO. Na mocy rozkazu Dowódcy Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej żołnierze 13 PLTr brali udział w operacjach pod kryptonimami „Allied Harbour” i „Eagle Eye”. Celem operacji „Allier Harbour” było niesienie pomocy uchodźcom z Kosowa, po rozpadzie Jugosławii. W tym celu przez Dowództwo NATO został utworzony most powietrzny.



Rys. 6. Symbole przystąpienia Polski do NATO

Źródło: Kronika 13 PLTr.

Na podstawie „Planu zamierzeń organizacyjnych i dyslokacyjnych Sił Zbrojnych RP na lata 2000–2001” 29 listopada 2000 r. dowódca 3 Korpusu Obrony Powietrznej (rozkaz nr PF-84 z dnia 29.11.2000 r.) polecił do 31 grudnia 2000 r. rozformować 13 Pułk Lotnictwa Transportowego oraz sformować 8 Bazę Lotniczą i 13 Eskadrę Lotnictwa Transportowego.

## 6. PRZEFORMOWANIE 13 PUŁKU LOTNICTWA TRANSPORTOWEGO NA 13 ESKADRĘ LOTNICTWA TRANSPORTOWEGO I 8 BAZĘ LOTNICZĄ

Decyzja o rozformowaniu 13 PLTr była konsekwencją realizowanego programu modernizacji Wojska Polskiego. Zgodnie z jego założeniami struktury polskiej armii miały być kompatybilne ze strukturami armii państw Sojuszu Północnoatlantyckiego. Zmiana struktur organizacyjnych w Wojskach Lotniczych i Obrony Powietrznej obejmowała między innymi utworzenie eskadr lotniczych i baz lotniczych w miejsce istniejących dotychczas pułków lotniczych. Rozwiązanie 13 PLTr było zatem elementem wprowadzanych zmian organizacyjnych w polskim lotnictwie wojskowym. 15 sierpnia miała miejsce historyczna chwila w życiu 13 Eskadry Lotnictwa Transportowego (13 eltr). O godzinie 15.25 wylądował pierwszy z zamówionych w Hiszpanii samolotów CASA C-295M (nr 011). Nowy, niebieski nabytek zakołował na płytę postojową, gdzie zajął honorowe miejsce.



Fot. 8. Samolot CASA C-295 nr 011. Pierwszy samolot tej serii w Krakowie

Źródło: Kronika 13 eltr.

Na nowych samolotach CASA załogi w 2004 r. poleciały z pomocą humanitarną do miejscowości Bam i Kerman w Iranie (po trzęsieniu ziemi) i do Sudanu (klęska głodu). W 2005 r. załogi eskadry transportowały ekipy ratownicze PSP oraz ładunki leków, odzieży, koców, namiotów i żywności do Bagram w Afganistanie, do Bacau w Rumunii (po klęsce powodzi), do Islamabadu w Pakistanie (po trzęsieniu ziemi).



Fot. 9. Pomoc humanitarna dla Afganistanu w 2005 r.

Źródło: Kronika 13 eltr.

Funkcjonowanie krakowskiej jednostki nie odbyło się bez kłopotów i wypadków. Do najtragiczniejszych należy zaliczyć katastrofę lotniczą wojskowego samolotu CASA C-295 M nr 019, która wydarzyła się 23 stycznia 2008 r., o godzinie 19:07, podczas podchodzenia do lądowania na lotnisku wojskowym 12 Bazy Lotniczej w Mirosławcu. Samolot przewoził oficerów Sił Powietrznych uczestniczących w 50 Konferencji Bezpieczeństwa Lotów Lotnictwa Sił Zbrojnych RP na trasie Warszawa–Okęcie–Powiź–Poznań–Krzesiny–Mirosławiec–Świdwin–Kraków–Balice. W wyniku uderzenia samolotu w ziemię, w następstwie odniesionych rozległych obrażeń wielonarządowych, śmierć na miejscu poniosły wszystkie osoby znajdujące się na pokładzie samolotu: czterech członków załogi i 16 pasażerów.



Fot. 10. Samolot An-26 w towarzystwie samolotów transportowych Bryzy i CASY  
Źródło: Kronika 8 BLTr.

Perspektywy doposażenia Sił Powietrznych na lata 2009–2018 wynikały ze zgłoszonych potrzeb związanych ze zobowiązaniami sojuszniczymi Polski oraz koniecznością zabezpieczenia transportu lotniczego, w tym na rzecz przebywających za granicą kontyngentów wojskowych. Na podstawie Rozkazu Dowódcy 3 Skrzydła Lotnictwa Transportowego z dnia 21 grudnia 2009 r. zostały powołane do działania: Komponent Lotniczy oraz Grupa Obsługi, które podlegały Dowódcy 8 Bazy Lotniczej. Na dowódcę Komponentu został wyznaczony podpułkownik pilot Krzysztof Cur. Do zadań utworzonego Komponentu należała: realizacja zadań (dowóz zaopatrzenia i rotacje) na rzecz Polskich Kontyngentów Wojskowych, przewóz (ewakuacja) rannych i porażonych, realizacja szkolenia lotniczego personelu latającego. Do zadań Grupy należała natomiast: naziemna obsługa statków powietrznych, usuwanie niesprawności statków powietrznych i agregatów sprzętu techniki lotniczej, realizacja szkolenia specjalistycznego personelu technicznego, utrzymanie wysokiego poziomu sprzętu techniki lotniczej i naziemnej obsługi statków powietrznych, realizacja zabezpieczenia technicznego operacji lotniczych. W założeniach nowa struktura miała pozwolić na sprawne przekształcenie 8 Bazy Lotniczej na nową jednostkę wojskową, tj. 8 Bazę Lotnictwa Transportowego, której zadania i obowiązki zostały rozszerzone.

## 7. NOWE STRUKTURY LOTNICTWA TRANSPORTOWEGO NA LOTNISKU W BALICACH, W TYM 8 BAZY LOTNICTWA TRANSPORTOWEGO W OKRESIE OD 2011 R. DO CZASÓW OBECNYCH

8 Baza Lotnictwa Transportowego (8 BLTr) przeznaczona jest do zabezpieczenia i realizacji zadań transportu lotniczego na korzyść jednostek wojskowych RSZ RP oraz dla Polskich Kontyngentów Wojskowych, zabezpieczenia logistycznego Regionalnego Ośrodka Dowodzenia i Naprowadzania, 3 Grupy Poszukiwawczo-Ratowniczej oraz sojusznicznych sił wzmocnienia w ramach wsparcia państwa gospodarza (HNS) w okresie pokoju, kryzysu i wojny. Zgodnie z planem przydziałów gospodarczych 8 BLTr zabezpiecza około 30 jednostek i instytucji wojskowych. Baza posiada na wyposażeniu 16 samolotów C-295M CASA i 8 samolotów M-28 B/PT *glass cockpit*. Zakupione w Hiszpanii samoloty CASA C-295M to najnowocześniejsze polskie samoloty transportowe. W 8 BLTr udowodniły wielokrotnie swoją przydatność podczas misji wykonywanych w rejonach niebezpiecznych poza granicami kraju. Dzięki nowoczesnym systemom nawigacyjno-pilotażowym maszyny są w stanie latać niemal w każdych warunkach pogodowych, w dzień i w nocy, praktycznie w dowolnym rejonie świata. Do głównych zadań 8 BLTr należy:

- szkolenie lotnicze;
- zabezpieczenie logistyczne lotów i bieżącej działalności pododdziałów bazy i jednostek wojskowych przydzielonych na zaopatrzenie gospodarcze;
- zabezpieczenie bieżących potrzeb remontowych i obsług technicznego sprzętu bojowego;
- współudział w realizacji zadań z zakresu ratownictwa lotniczego;
- realizacja zadań ochrony i obrony kompleksu lotniskowo-koszarowego Kraków-Balice;
- przyjęcie i zabezpieczenie logistyczne sił i środków państw sojusznicznych;
- zabezpieczenie wizyt delegacji zagranicznych.



Fot. 11. Defilada lotnicza z okazji Święta Wojska Polskiego

Źródło: Kronika 8 BLTr.

Zgodnie z programami wyższych przełożonych 8 kwietnia 2016 r. w 8 BLTr odbyły się ćwiczenia „Santana-16”. Ich tematem było planowanie współdziałania i zabezpieczenia zadań transportu lotniczego na korzyść jednostek poszczególnych RSZ.



Fot. 12. Dowódca płk pil. Krzysztof Cur z pilotami 8 BLTr  
Źródło: Kronika 8 BLTr.

---



Fot. 13. Dowódca płk pil. Krzysztof Cur z pilotami, personelem technicznym i zabezpieczenia lotów 8 BLTr  
Źródło: Kronika 8 BLTr.

---



Fot. 14. Dowódca płk pil. Krzysztof Cur wśród personelu żeńskiego 8 BLTr

Źródło: Kronika 8 BLTr.

Zmiany w funkcjonowaniu 8 BLTr są zauważalne niemal na każdym kroku. Takim przykładem może być znaczny wzrost liczby kobiet wykonujących zadania jeszcze do niedawna wyłącznie zarezerwowane dla mężczyzn. Kobiety w mundurach w 8 BLTr pracują na różnych stanowiskach: personelu lotniczego, służby inżynieryjno-lotniczej, służby finansowej, logistyki, wojskowej służbie zdrowia i administracji. Sympatyczne i urodziwe kobiety w mundurach cechuje: profesjonalizm, duża wiedza i solidne wykonywanie obowiązków na zajmowanych stanowiskach.

Tradycyjnie 8 BLTr otrzymała kolejne zadanie, które wiązało się z zabezpieczeniem pielgrzymki Papieża Franciszka do Polski. Kilkumiesięczne przygotowania i profesjonalna praca stanu etatowego 8 BLTr przyniosły zamierzony efekt – Papież wylądował na lotnisku w Balicach i udał się na Światowe Dni Młodzieży.



Fot. 15. Delegacja żołnierzy 8 BLTr na spotkaniu z Ojcem Świętym

Źródło: Kronika 8 BLTr, fot. T. Warczak.

Tylko z 8 BLTr 250 żołnierzy i pracowników oraz około 300 żołnierzy z innych jednostek zabezpieczało ŚDM na terenie Balic. Delegacja żołnierzy z bazy spotkała się z Ojcem Świętym.



Nie tylko uroczystościami żył personel 8 BLTr. W celu poprawy bezpieczeństwa oraz kwalifikacji personelu latającego został zakupiony i zamontowany symulator samolotu CASA. Od 8 września 2017 r. Wojsko Polskie jest trzecim na świecie właścicielem symulatora lotów samolotu CASA C-295M. To właśnie 8 BLTr przyjęła symulator samolotu CASA C-295M – *Full Flight Simulator* (FFS) wyprodukowany przez kanadyjską firmę CAE i przekazany przez Airbus Defence and Space.



Fot. 16. Symulator samolotu CASA C-295M

Źródło: fot. J. Kuck.

Oficjalnego podpisania protokołu przekazania dokonali dowódca bazy wz. płk Grzegorz Kot oraz menadżer projektu Airbusa S&D Javier Lobillo Viel. Dostawa dla 8 BLTr symulatora jest następstwem umowy podpisanej przez MON.

7 maja 2018 r. w 100. rocznicę lotnictwa wojskowego oraz 85. rocznicę przelotu samolotem polskiej konstrukcji RWD-5 bis przez Ocean Atlantycki płk. pil. Skarżyńskiego żołnierze i pracownicy 8 BLTr ufundowali pamiątkową tablicę.



Fot. 17. Tablica pamiątkowa wmurowana w Kościele Garnizonowym pw. Św. Agnieszki

Źródło: fot. J. Kuck.



Fot. 18. Spotkanie syna patrona z dowódcą 8 BLTr płk. pil. Pawłem Bigosem – 85. rocznica wyczynu patrona 8 BLTr płk. pil. Skarżyńskiego

Źródło: fot. J. Kuck.

## 8. ZAKOŃCZENIE

W opracowaniu przedstawiono najważniejsze przedsięwzięcia realizowane przez lotnictwo wojskowe w Małopolsce, które ze względów bezpieczeństwa można było zaprezentować. Na początku dokonano analizy zawitych i niejednokrotnie trudnych losów działalności lotnictwa od momentu odzyskania przez Polskę niepodległości. Następnie przedstawiono kolejne obszary, co pozwoliło przenieść się w tamte czasy, pokazać wysiłek lotników krakowskich w pierwszej i drugiej wojnie światowej oraz okresie powojennym. Analiza zadań i działalności lotnictwa funkcjonującego na małopolskiej ziemi z rozbiciem na poszczególne lata i przedsięwzięcia objęła okres 100 lat. W jej wyniku podjęto próbę ustalenia korzyści, jakie uzyskano dla sił zbrojnych, gospodarki narodowej oraz społeczeństwa. Ponadto, ustalono, jaki wpływ na bezpieczeństwo wewnętrzne i narodowe miało lotnictwo transportowe Małopolski.

Potwierdziła się hipoteza robocza, która zakładała, że lotnictwo w okresie 100 lat na terenie Małopolski zmieniało się, realizując różnorodne zadania. W szczególności lotnictwo transportowe zapewniało zabezpieczenie szkolenia wojsk powietrznodesantowych i specjalnych, w tym stacjonujących na terenie Małopolski, odpowiadało za bezpieczeństwo w czasie lotów ładunków i pasażerów. Było związane z wieloma obszarami funkcjonowania gospodarki narodowej, pomocy humanitarnej, transplamtologii. To z krakowskiego lotniska małopolscy piloci, współpracując z personelem medycznym Kliniki Chirurgii Naczyniowej Uniwersytetu Jagiellońskiego, brali czynny udział w „Akcji Serce”, ratując życie wielu potrzebującym. Kadra i pracownicy wojska z Balic zabezpieczali liczne wizyty delegacji państwowych, w tym pielgrzymki papieskie. Dysponowali zdolnościami do realizacji zadań w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowych i współuczestniczyli w zwalczaniu klęsk żywiołowych. To właśnie w jednostkach stacjonujących na terenie Rakowic i Balic kultywowano tradycje bohater-skich pilotów, uczestników bitew pierwszej i drugiej wojny światowej.

Zastosowane metody badawcze (analiza) pozwoliły na zebranie i uporządkowanie materiałów opisowych i graficznych z dostępnych pozycji książkowych, publikacji oraz kronik jednostek lotnictwa wojskowego stacjonujących na lotnisku w Rakowicach-Czyżynach i Balicach.

Użycie metody badawczej, czyli syntezy, pozwoliło na wypracowanie wniosków generalizujących, tj.:

- polscy naukowcy i pasjonaci lotnictwa wnieśli znaczący wkład w rozwój światowego lotnictwa;
- cechą charakterystyczną rozwoju polskiego lotnictwa, w którym udział wzięli konstruktorzy, menadżerowie oraz dowódcy, było to, że kształtowało się jednocześnie z rozwojem naszej państwowości;
- polski przemysł lotniczy, polski inżynier i robotnik w istniejących uwarunkowaniach nie mogli dać krajowemu lotnictwu nowoczesnego sprzętu bojowego do skutecznej walki z najeżdźcą;
- polski lotnik bohatersko brał udział w nierównym boju. Mimo przestarzałego sprzętu, na słabo uzbrojonym samolocie ofiarnie walczył z nieprzyjacielem, który posiadał znaczną przewagę, dysponując nowoczesnym sprzętem lotniczym, większą szybkością samolotów i ich znaczną siłą ognia;
- w ostatecznym rozrachunku do wybuchu drugiej wojny światowej zabrakło czasu na pełną realizację ambitnych lotniczych planów. Główne kierunki rozwoju lotnictwa realizowane były w zakresie, na jaki pozwalała kondycja odradzającej się polskiej gospodarki;
- we wrześniu 1939 r. lotnicy z Małopolski wykonali swój obowiązek, mimo braku odpowiedniego sprzętu oraz odpowiednio skutecznego systemu dowodzenia;
- swoją skuteczność polscy piloci wykazali nad Francją, Anglią i Niemcami czy ZSSR, gdzie latali na sprzęcie, który był porównywalny ze sprzętem nieprzyjaciela;
- polskie lotnictwo w swoich szeregach miało znakomitych pilotów, którzy okryli się nieśmiertelną chwałą w walkach nad Francją, Anglię czy Niemcami;
- do głównych zadań, które realizowało i nadal realizuje lotnictwo transportowe, należy zaliczyć: przewóz desantów (desantowanie) powietrznych, przewóz wojsk, sprzętu bojowego, środków materiałowych i innych ładunków, przewóz grup specjalnych, przewóz (ewakuacja) rannych i chorych;
- lotnictwo transportowe w kolejnych latach przechodziło ciągłe zmiany organizacyjne i etatowe (sprzęt i wyposażenie), związane z nowymi potrzebami zabezpieczenia wojsk i gospodarki narodowej;
- koloryt lotnictwa transportowego w Małopolsce wzmacnia realizacja zadań związanych z zabezpieczeniem pielgrzymek: papieża Jana Pawła II oraz papieża Franciszka w ramach Światowych Dni Młodzieży;
- działanie lotnictwa transportowego z Małopolski spotkało się z niezwykłym uznaniem i szacunkiem, w szczególności dotyczyło to zadań ratujących ludzkie życie, niosąc pomoc humanitarną poszkodowanym w klęskach żywiołowych, kataklizmach, katastrofach i powstałych w wyniku konfliktów zbrojnych oraz związanych z zabezpieczeniem Polskich Kontyngentów Wojskowych;

- zaangażowanie i wysiłek krakowskich lotników samolotów transportowych widać najlepiej w zabezpieczeniu wieloletniej „Akcji Serce” oraz komercyjnej obsłudze rajdów Paryż–Dakar;
- jednostki lotnicze stacjonujące w Małopolsce kultywują tradycje bohaterskich pilotów, uczestników bitew pierwszej i drugiej wojny światowej. Patronem 8 Bazy Lotnictwa Transportowego jest pułkownik pilot Stanisław Jakub Skarżyński.

Działalność lotnictwa transportowego jest bardzo bogata i różnorodna. W opracowaniu przedstawiono tylko najważniejsze przedsięwzięcia, do których autorowi udało się dotrzeć, przez co stało się możliwym umieszczenie ich w tym opracowaniu.

## BIBLIOGRAFIA

### Artykuły i monografie

*2 Pułk Lotniczy Kraków 1919–1929*, wydano staraniem Komitetu Wojewódzkiego L.O.P.P., Kraków 1929.

Barcz K., Warszawski D., *An-26*, Kagero, Lublin 2006.

Bereszka J., *Materiały i dokumenty do historii LLP. 13 Pułk Lotnictwa Transportowego w latach 1944–1945*, Poznań 1979.

Bocheński S., *Etat lotny, czyli o pułkowniku pilocie Czesławie Kurczynie*, DRUKPOL, Kraków 2006.

Cumft O., Kujawa H.K., *Księga lotników polskich poległych, zmarłych i zaginionych 1939–1946*, MON, Warszawa 1989.

Cynk J.B., *Sily lotnicze Polski i Niemiec. Wrzesień 1939*, Biblioteczka Skrzydlatej Polski, Warszawa 1989.

Dulemba L., Glass A., *Samolot RWD*, WKiŁ, Warszawa 1983.

Dziwoki J., *Długi lot do domu majora pilota Antoniego Tomiczka*, Katowice 2014.

Glass A., Chmielewski R., *Jak zostać lotnikiem*, WKiŁ, Warszawa 1963.

Gretzyngier R., Matusiak W., Zieliński J., *Asy lotnictwa polskiego*, Bellona, Warszawa 2012.

Grzelak Cz., Stańczyk H., Zwoliński S., *Bez możliwości wyboru. Wojsko Polskie na Froncie Wschodnim*, Rytm, Warszawa 1993.

Jaworski J., *Główne problemy i uwarunkowania rozwoju lotnictwa polskiego w latach 1945-1955. Skrypt do użytku wewnętrznego Akademii Sztabu Generalnego WP*, Warszawa 1985.

Kasprzycki R., *Rakowice-Czyżyny w latach 1921-1955*, Księgarnia Akademicka, Kraków 2010.

Kasza W., *Samolot transportowy An-26*, MON, Warszawa 1983.

Kisielewski W., *Upiór Atlantyku*, KAW, Warszawa 1975.

Koliński I., *Lotnictwo Polski Ludowej 1944-1947*, MON, Warszawa 1987.

- Konieczny J.R., *Samolot transportowy An-12*, MON, Warszawa 1973.
- Królikiewicz T., *Polski samolot i barwa*, MON, Warszawa 1981.
- Król W., *Polskie dywizjony lotnicze w Wielkiej Brytanii 1940–1945*, MON, Warszawa 1982.
- Król W., *Zarys działań polskiego lotnictwa we Francji 1940*, WKiŁ, Warszawa 1988.
- Król W., *Zarys działań polskiego lotnictwa w Wielkiej Brytanii 1940–1945*, WKiŁ, Warszawa 1990.
- Krzemiński Cz., *Polskie lotnictwo wojskowe 1945–1980*, WKiŁ, Warszawa 1989.
- Krzemiński Cz., *Pułki Ludowego Lotnictwa Polskiego 1943–1945*, WKiŁ, Warszawa 1981.
- Kubacki L., *Antologia pilotów wojskowych poległych w latach 1945–2000*, MarkPrint, Radom 2002.
- Kuck J., *100 lat lotnictwa wojskowego w Małopolsce*, Armagraf, Krosno 2018.
- Kuck J., *Lotnictwo transportowe. XX-lecie Krakowskiego Oddziału Stowarzyszenia seniorów lotnictwa Wojskowego Rzeczypospolitej Polskiej*, Armagraf, Krosno 2016.
- Ku Czcii Poległych Lotników Księga Pamiątkowa*, praca zbiorowa pod redakcją majora dypl. pilota Mariana Romejki, Wydawnictwo Komitetu Budowy Pomnika Poległych Lotników, nakład Lucjana Złotnickiego, Warszawa 1933.
- Kujawa K., *Księga lotników Polskich poległych, zmarłych i zaginionych w latach 1939 – 1946*, t. I: *Polegli w kampanii wrześniowej, pomordowani w ZSRR i w innych okolicznościach podczas okupacji*, wyd. II popr. i uzupełn., MON, Warszawa 1989.
- Kutzer J., *308 Dywizjon Myśliwski „Krakowski”*, Łódzkie Zakłady Graficzne Sp. z o.o., Łódź 2011.
- Makowski T., *Samolot transportowy EADS-CASA C-295*, Bellona–Agencja Wydawnicza CB, Warszawa 2004.
- Makowski T., Wojdalski W., *Samoloty transportowe i komunikacyjne świata*, Sigma Not, Warszawa 1992.
- Milart A., *Pod niebem Dębłina*, KOSSLWRP, Kraków 2007.
- Monis M., *Historia 2 Pułku Nocnych Bombowców „Kraków”*, MON, Warszawa 1956.
- Moskwa P., *Czterowiersze dywizjonowe, „Skrzydła”* grudzień 1976.
- Pawlak J., *Polskie eskadry w Wojnie Obronnej 1939*, WKiŁ, Warszawa 1982.
- Popiel A., *Pamięci poległych lotników 1933–1939*, WKiŁ, Warszawa 1987.
- Sikora P., *Asy polskiego lotnictwa*, Alma-Press, Warszawa 2014.
- Skarżyński S., *Na RWD-5 przez Atlantyk*, Aeroklub RP, Warszawa 1934.
- Sojka K., *Historia krakowskiego lotniska*, Agencja Wydawnicza MS Marta Stęplewska, Kraków 2014.
- Wielgus K., *Rakowice Czyżyny - lotnisko Krakowa. Od „Ogrodu dla Lotników” do lotniczego parku Kulturowego*, seria „Acta Aeronautica”, Muzeum Lotnictwa Polskiego, Kraków 2002.

## Dokumenty

---

CAW, 507.3/A.57, Sprawozdanie z wyszkolenia bojowego 2 plm za miesiąc październik 1947 roku.

Kronika 308. Dywizjonu Myśliwskiego „Krakowskiego”, k. 74.

Kroniki: 13. Pułku Lotnictwa Transportowego, 13. Eskadry Lotnictwa Transportowego i 8. Bazy Lotnictwa Transportowego.

WAW, 1482.70.2583, Rozkaz 2 plm nr 031 z 1 XII 1948 przedstawiający stan personelu pułku na dzień 1 XII 1948.

**Krzysztof GONIEWICZ**

 Lotnicza Akademia Wojskowa  
 e-mail: k.goniewicz@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0001-8652-5729

DOI: 10.55676/asi.v3i1.26

## WYBRANE DZIAŁANIA NA RZECZ POPRAWY GOTOWOŚCI NA WYPADEK KATASTROF W RAMACH WDRAŻANIA PROGRAMU SENDAI W POLSCE

SELECTED ACTIVITIES STRENGTHENING DISASTER PREPAREDNESS AS PART  
OF THE IMPLEMENTATION OF THE SENDAI FRAMEWORK

### Streszczenie

W obecnych czasach zjawiska pogodowe stają się coraz bardziej skrajne i niebezpieczne. Wraz ze zmianą klimatu zwiększa się również podatność społeczeństw i poszczególnych regionów na ryzyko występowania różnego rodzaju zagrożeń. Założenia programu Sendai dotyczące ograniczenia ryzyka związanego z klęskami żywiołowymi na lata 2015–2030 to pierwsze globalne ramy polityczne programu ONZ na okres po 2015 r. W Polsce, podobnie jak i na świecie, problematyka zdrowia publicznego, w tym reagowania kryzysowego, wydaje się kluczowym aspektem, którym należy się zająć w ramach programowego podejścia polegającego na ograniczaniu ryzyka związanego z katastrofami naturalnymi. Pilnym i ważnym zadaniem jest opracowanie planu postępowania z ryzykiem na poziomie kraju, który będzie zawierał nie tylko diagnozę w obszarze ryzyka katastrof, ale również określi obecne zdolności administracyjno-organizacyjne, a także dostępne środki techniczne i finansowe. Celem artykułu było przedstawienie inicjatyw związanych z reagowaniem na wypadek klęsk żywiołowych podejmowanych w Polsce w ramach wdrażania programu Sendai. Przeprowadzono przegląd zarówno dokumentów prawnych, organizacyjnych, jak i literatury naukowej związanej z analizowanym tematem.

**Słowa kluczowe:** zapobieganie katastrofom, zdrowie publiczne, ramy Sendai, łagodzenie skutków katastrof, bezpieczeństwo zdrowotne

### Abstract

Nowadays, weather conditions are becoming more extreme and dangerous. Along with climate change, the vulnerability of societies and individual regions to the risk of various types of threats also increases. The Sendai Disaster Risk Reduction Framework 2015–2030 is the first global policy framework of the post-2015 UN programme. In Poland, as in the world, the issue of public health, including crisis response, seems to be a key aspect that should be addressed as part of the program approach of reducing the risk associated with natural disasters. An urgent and important task is to develop a risk management plan at the country level, which will include not only a diagnosis in the area of disaster risk but will also define the current administrative and organizational capabilities, as well as available technical and financial resources. The aim of the article was to present initiatives related to responding to natural disasters undertaken in Poland as part of the implementation of the Sendai program. The aim of the article was to present the initiative in connection with the response to hazards and disasters in Poland under the Sendai framework. A review of legal and organizational documents as well as scientific literature related to the analyzed issue was conducted.

**Keywords:** disaster prevention, public health, Sendai framework, disaster mitigation, health security

## 1. WSTĘP

Z międzynarodowych statystyk wynika, że stale wzrasta częstotliwość, wielkość i znaczenie katastrof naturalnych. Większość z nich (około 80%) stanowią powodzie i trzęsienia ziemi<sup>1</sup>. Przewiduje się, że zmiany klimatyczne nasilą ekstremalne zjawiska pogodowe, a tym samym będą one powodować coraz większe straty, nawet jeśli ich siła pozostanie taka sama. Również Polska coraz częściej będzie narażona na negatywne efekty zmian klimatu i rozwoju infrastruktury, czyli najczęstszych czynników wpływających na częstotliwość gwałtownych zjawisk pogodowych<sup>2</sup>.

Katastrof naturalnych, które towarzyszyły Ziemi od zarania dziejów, przewidzieć nie można. Najskuteczniejszą obroną przed skutkami tego typu zjawisk jest spójna strategia zarządzania ryzykiem katastrof, uwzględniająca rolę administracji centralnej, samorządów i sektora prywatnego<sup>3</sup>. Niezbędne są przedsięwzięcia przygotowane wcześniej przez kompetentnych fachowców, dotyczące m.in. oceny zagrożeń, organizacji pomocy, transportu oraz zadań logistycznych. Wyniki wielu badań wskazują na potrzebę wdrażania różnych strategii zmniejszających zniszczenia wywołane katastrofami naturalnymi. Strategie te powinny być wdrażane na różnych szczeblach zarządzania oraz powinny być przychylnie oddolnym działaniom społeczności lokalnych. W Polsce dominują działania centralne oraz inwestowanie w infrastrukturę ochronną o charakterze technicznym. Brakuje komunikacji ze społecznością lokalną i przedsiębiorstwami w okresie poprzedzającym katastrofy, wdrażania rozwiązań przez osoby prywatne i małe firmy, a także edukacji nieformalnej prowadzonej lokalnie oraz szerszej edukacji formalnej w zakresie ryzyka i skutków klęsk i katastrof. Powinny zostać ponownie zweryfikowane zasady planowania przestrzennego na obszarach zagrożonych groźnymi zjawiskami naturalnymi<sup>4</sup>.

Światowe porozumienie, asygnowane także przez Polskę, tzw. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (SFDRR) 2015–2030, wyraźnie wskazuje konieczność zrealizowania celów, wśród których są m.in. przyjęcie planów redukcji ryzyka klęsk żywiołowych na szczeblu lokalnym, uaktywnienie działań społeczności lokalnych, współpraca administracji publicznej z sektorem nauki (uczelniami wyższymi, instytutami naukowo-badawczymi)<sup>5</sup>. W Polsce, mimo że wzrasta świadomość potencjalnych zagrożeń,

<sup>1</sup> H.R. Gregg, S.L. Restubog, M. Dasborough, C. Xu, C.M. Deen, Y. He, *When disaster strikes! An interdisciplinary review of disasters and their organizational consequences*, „Journal of Management” 2022, nr 48(6), <https://doi.org/10.1177/01492063221076808>, s. 1382–1429.

<sup>2</sup> W. Kron, P. Löw, Z.W. Kundzewicz, *Changes in risk of extreme weather events in Europe*, „Environmental Science & Policy” 2019, nr 100, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.06.007>, s. 74–83.

<sup>3</sup> K. Goniewicz, F.M. Jr Burkle, *Challenges in implementing Sendai framework for disaster risk reduction in Poland*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” 2019, nr 16(14), <https://doi.org/10.3390/ijerph16142574>, s. 2574.

<sup>4</sup> M. Borowska-Stefańska, L. Balážovičová, K. Goniewicz, M. Kowalski, P. Kurzyk, M. Masný, S. Wiśniewski, M. Žoncová, A. Khorram-Manesh, *Emergency management of self-evacuation from flood hazard areas in Poland*, „Transportation Research Part D: Transport and Environment” 2022, nr 107, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103307>, s. 103307.

<sup>5</sup> E.T. Busayo, A.M. Kalumba, G.A. Afuye, O.Y. Ekundayo, I.R. Orimoloye, *Assessment of the Sendai framework for disaster risk reduction studies since 2015*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2020, nr 50, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101906>, s. 101906.



nie doszacowuje się prawdopodobieństwa wystąpienia katastrof i klęsk żywiołowych. Obecnie brak jest także strategii zarządzania redukcją ryzyka klęsk żywiołowych<sup>6</sup>.

Zgodnie z rekomendacjami zawartymi w ramach SFDRR opracowanie strategii zarządzania ryzykiem katastrof musi odbywać się w oparciu o kilka założeń. Jednym z nich jest powstrzymanie dalszego wzrostu ekspozycji, tj. wzrostu liczby mieszkańców i wartości majątku narażonego na kataklizmy, zwłaszcza na terenach zalewowych i osuwiskowych. „Po stronie państwa istnieje potrzeba ograniczenia doraźnych działań ex post i zwiększenia nacisku na wypracowanie długoterminowych, efektywnych pod względem kosztów i korzyści rozwiązań, we współpracy z branżą ubezpieczeniową”<sup>7</sup>.

Całościowe zarządzanie ryzykiem to nie tylko jego planowe ograniczanie i równoległe osiąganie gotowości do reakcji na wypadek wystąpienia zagrożenia. To również właściwe przygotowanie społeczeństwa do podejmowania działań chroniących go przed potencjalnym zagrożeniem. W Polsce podejmowanych jest coraz więcej międzysektorowych działań na rzecz efektywnego zarządzania ryzykiem klimatycznym. Swoją działalność w tym zakresie prowadzą instytucje publiczne. Wyczuwa się zasadność i postępującą otwartość na wzajemną wymianę danych, informacji i wiedzy, co należy postrzegać jako świadectwo wspólnego ukierunkowania na zapewnienie bezpieczeństwa państwa i jego obywateli bez względu na okoliczności. Mowa tu o planowaniu cywilnym realizowanym w ramach systemu zarządzania kryzysowego, standardach ochrony infrastruktury krytycznej, rozwijającej się problematyce zarządzania ciągłością działania, a także działalności naukowo-badawczej<sup>8</sup>.

## 2. WDRAŻANIE RAM SENDAI W POLSCE

Obecnie w Polsce realizowanych jest kilka projektów krajowych (lub projektów z udziałem Polski) w zakresie zarządzania ryzykiem klęsk żywiołowych, zgodnych z rekomendacjami zawartymi w ramach SFDRR<sup>9</sup>. Są to:

1. Projekt SMSR – System Monitoringu Suszy Rolniczej w Polsce. Projekt ten prowadzony jest przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa PIB na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Projekt SMSR ma za zadanie wskazywać obszary na poziomie gmin, gdzie potencjalnie wystąpiły straty dla upraw rolnych spowodowane warunkami suszy.

<sup>6</sup> M. Borowska-Stefańska, C. Diller, V. Grama, K. Goniewicz, M. Kowalski, P. Kurzyk, A. Sahebgharani, S. Wiśniewski, *Effectiveness of the policy for organising self-evacuation by private vehicle transport, as verified in microsimulations*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2022, nr 83, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103431>, s. 103431.

<sup>7</sup> N. Faivre, A. Sgobbi, S. Happaerts, J. Raynal, L. Schmidt, *Translating the Sendai Framework into action: The EU approach to ecosystem-based disaster risk reduction*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2018, nr 32, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.12.015>, s. 4–10.

<sup>8</sup> I. Petiteville, C. Ishida, J. Danzeglocke, A. Eddy, F. Gaetani, S. Frye, B. Kuligowski, S. Zoffolih, M. Polandi, B. Jones, *WCDRR and the CEOS activities on disasters*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences” 2015, vol. XL-7/W3, <http://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-845-2015>.

<sup>9</sup> P. Gromek, *Societal dimension of disaster risk reduction. Conceptual framework*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2021, nr 1(77), <http://dx.doi.org/10.5604/01.3001.0014.8412>, s. 35–54.

2. Projekt ISOK – Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami – ma na celu utworzenie systemu poprawiającego osłonę gospodarki, środowiska i społeczeństwa przed nadzwyczajnymi zagrożeniami, w szczególności przed powodzią. Główny cel projektu ma być realizowany poprzez inwentaryzację dostępnych zasobów danych, zaprojektowanie rozwiązania systemowego, budowę baz danych oraz map ryzyka i zagrożeń, budowę i wdrożenie systemu informatycznego, zwiększenie świadomości społeczeństwa w zakresie zagrożeń i sytuacji kryzysowych.
3. RescEU – Europejski system walki z klęskami żywiołowymi, który zakłada stworzenie rezerwy siłowej na poziomie europejskim przeznaczonej do ochrony ludności, za pomocą narzędzi, takich jak samoloty, specjalistyczne pompy wodne, miejskie placówki poszukiwawcze i ratownicze, szpitale polowe i zespoły ratownicze. Rezerwy mają uzupełnić krajowe aktywa i mają być zarządzane przez Komisję Europejską w celu wsparcia krajów dotkniętych klęskami, takimi jak powódzie, pożary lasów, trzęsienia ziemi i epidemie. Przykładem uruchomienia systemu była akcja ratownicza Polskiej Państwowej Straży Pożarnej podczas pożarów lasów w Szwecji w 2018 r.
4. 44 MPA – projekt opracowania planów adaptacji do zmian klimatu w 44 polskich miastach. Projekt opracowany w Ministerstwie Środowiska obejmuje swoim zasięgiem około 30% ludności Polski. Celem projektu jest ocena wrażliwości na zmiany klimatu, zaplanowanie działań adaptacyjnych adekwatnych do zidentyfikowanych zagrożeń w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców. Jest to jedyna tego typu inicjatywa w Europie, w której ministerstwo wspiera władzę i administrację lokalną w działaniach koordynacyjnych przystosowujących do skutków zmian klimatu. Miejskie plany adaptacji do zmian klimatu (MPA) powstaną przy współpracy władz, ekspertów i mieszkańców, a ich wynikiem będą innowacyjne rozwiązania adaptacyjne.
5. Alert RCB – system powiadamiania ludności w przypadku zagrożenia. Jest wykorzystywany tylko w sytuacji, gdy występuje duże prawdopodobieństwo zagrożenia życia lub zdrowia na danym obszarze<sup>10</sup>. Alert RCB powstaje na podstawie informacji o potencjalnych zagrożeniach otrzymywanych z ministerstw, służb (np. policji, straży pożarnej, straży granicznej), urzędów i instytucji centralnych (np. Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej oraz urzędów wojewódzkich). Alert jest wysyłany poprzez wiadomość SMS, generowaną przez operatorów wszystkich sieci na podstawie informacji przesłanych z Rządowego Centrum Bezpieczeństwa, do osób znajdujących się na terenie potencjalnego zagrożenia w ograniczeniu do powiatu.

---

<sup>10</sup> K. Goniewicz, F.M. Jr Burkle, *Disaster early warning systems: the potential role and limitations of emerging text and data messaging mitigation capabilities*, „Disaster Medicine And Public Health Preparedness” 2019, nr 13(4), <https://doi.org/10.1017/dmp.2018.171>, s. 709–712.

### 3. DYSKUSJA

Światowa Organizacja Zdrowia (ang. *World Health Organization* – WHO) informuje w swoim 13 ogólnym programie pracy (GPW 13) na lata 2019–2023, że w ostatnich latach osiągnięto znaczne korzyści w zakresie zdrowia na świecie, w tym w Polsce, jednak złożone, wzajemnie powiązane zagrożenia, takie jak ubóstwo i nierówności prowadzące do konfliktów oraz zmiany klimatyczne, pozostają cały czas aktualnym problemem<sup>11</sup>. GPW 13, który wyznacza kierunek strategiczny WHO na najbliższe 5 lat, ma zapewnić zdrowe życie i promowanie dobrostanu dla wszystkich w każdym wieku. Celem GPW 13 jest wywarcie znaczącego wpływu na dużą skalę, na poziomie krajowym w celu promowania zdrowia, poprawy bezpieczeństwa zdrowotnego i służenia wrażliwym społecznościom. Kluczowym filarem tej wizji jest zmniejszenie ryzyka i skutków wszystkich rodzajów nagłych przypadków zdrowotnych. GPW 13 uznaje, że „świat stoi w obliczu zagrożeń związanych z poważnymi sytuacjami kryzysowymi dla zdrowia (epidemie, pandemie, konflikty, klęski żywiołowe i technologiczne) oraz pojawianiem się oporności na środki przeciwdrobnoustrojowe”<sup>12</sup>. U jego podstaw leży zestaw powiązanych ze sobą strategicznych priorytetów i celów w ramach celu „potrójnego miliarda”, który obejmuje: 1 miliard więcej osób korzystających z powszechnego ubezpieczenia zdrowotnego, 1 miliard więcej ludzi lepiej chronionych przed nagłymi sytuacjami zdrowotnymi i 1 miliard więcej ludzi cieszących się lepszym zdrowiem i lepszym samopoczuciem.

W kontekście sytuacji zagrożenia zdrowia WHO będzie:

współpracować z państwami członkowskimi i partnerami w celu zwiększenia zdolności wykrywania wszystkich zagrożeń zdrowotnych i zarządzania ryzykiem na wszystkich etapach zapobiegania ryzyku i wykrywania go, gotowości na wypadek sytuacji kryzysowych, reagowania i odzyskiwania poprzez wdrożenie międzynarodowych przepisów zdrowotnych (ang. *International Health Regulations* – IHR) oraz założeń z programu Sendai dotyczących ograniczania ryzyka związanego z klęskami żywiołowymi<sup>13</sup>.

GPW 13 stwierdza dalej, że:

podejście WHO do sytuacji zagrożenia zdrowia jest opisane w ramach wyników programu dotyczącego sytuacji zagrożenia zdrowia. Zapewnia, że populacje dotknięte nagłymi sytuacjami zdrowotnymi mają dostęp do podstawowych usług zdrowotnych ratujących życie i interwencji w zakresie zdrowia publicznego. Wszystkie kraje są przygotowane do łagodzenia ryzyka związanego z zagrożeniami zakaźnymi o wysokim stopniu zagrożenia. Wszystkie kraje oceniają i usuwają krytyczne luki w gotowości na sytuacje zagrożenia zdrowia, w tym w podstawowych zdolnościach w ramach IHR i Sendai oraz w zdolnościach do zarządzania

<sup>11</sup> M. Wiśniewski, *Analysis of the integrity of district crisis management plans in Poland*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2022, nr 67, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102650>, s. 102650.

<sup>12</sup> A. Kosieradzka, J. Smagowicz, C. Szwed, *Ensuring the business continuity of production companies in conditions of COVID-19 pandemic in Poland – applied measures analysis*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2022, nr 72, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102863>, s. 102863.

<sup>13</sup> Z.C. Aye, T. Sprague, V.J. Cortes, K. Prenger-Berninghoff, M. Jaboyedoff, M.H. Derron, *A collaborative (web-GIS) framework based on empirical data collected from three case studies in Europe for risk management of hydro-meteorological hazards*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2016, nr 15, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.12.001>, s. 10–23.

ryzykiem związanym ze wszystkimi zagrożeniami zdrowotnymi. Krajowe programy ratownictwa medycznego są wspierane przez dobrze wyposażony i skuteczny program ratunkowy WHO<sup>14</sup>.

Uznając złożoność realizacji ambicji dotyczących zdrowia określonych w programie Sendai, WHO wraz z krajowymi ministerstwami zdrowia, agencjami ONZ i partnerami dążyła do zbudowania większej spójności i wzajemnych powiązań między tymi podmiotami i inicjatywami za pośrednictwem platformy tematycznej WHO ds. zdrowia, której celem jest promowanie odporności zdrowotnej w spójny sposób, zarówno w sektorze zdrowia, jak i poza nim. Platforma tematyczna kieruje się i wspiera wdrażanie ram programu Sendai, celów zrównoważonego rozwoju i porozumienia paryskiego, a także IHR, rezolucji WHO oraz innych ram regionalnych i globalnych<sup>15</sup>. Platforma tematyczna uznaje, że zaangażowanie i współpraca z szerszym systemem opieki zdrowotnej i innymi sektorami (zwłaszcza na poziomie lokalnym) ma kluczowe znaczenie w zapobieganiu zagrożeniom dla zdrowia, ponieważ wiele działań niezbędnych do zmniejszenia zagrożeń i podatności na zagrożenia spoczywa na działaniach innych sektorów. Od 2015 r. platforma tematyczna udziela państwom członkowskim porad i zaleceń dotyczących kwestii zdrowotnych w zakresie wdrażania programu Sendai i zaawansowanych wysiłków na rzecz włączenia zarządzania ryzykiem związanym z klęskami żywiołowymi (ang. *Disaster Risk Management* – DRM) do głównego nurtu prac WHO i innych partnerów zdrowotnych, a także promuje zdrowie w ramach DRM. Działania ekspertów w ramach platformy tematycznej WHO umożliwiły opracowanie i przegląd serii arkuszy informacyjnych dotyczących różnych aspektów zarządzania zagrożeniami zdrowotnymi i ryzykiem związanym z klęskami żywiołowymi, zorganizowanie kluczowych warsztatów i forów w ramach Globalnej Platformy ds. Ryzyka Katastrof Redukcja i dostarczanie informacji związanych ze zdrowiem do raportów Biuro Narodów Zjednoczonych ds. Zmniejszania Ryzyka Katastrof (ang. *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* – UNDRR) i konferencji tematycznych (na przykład nauka i technologia<sup>16</sup>).

Oporając się na doświadczeniach z wdrażania aspektów zdrowotnych ram programu Sendai przez ministerstwa zdrowia i partnerów, a także kolejnych globalnych i regionalnych ram dotyczących gotowości na wypadek sytuacji kryzysowych, DRM i IHR – WHO uruchomiła nowe ramy dla poszczególnych platform i inicjatyw do ograniczania skutków katastrof naturalnych. Ramy te dotyczą wielu kwestii poruszonych w ramach Sendai i mają na celu zapewnienie nadrzędnych ram łączących wiele kluczowych inicjatyw w celu zapewnienia zarządzania ryzykiem związanym z klęskami żywiołowymi

<sup>14</sup> M. Mavrouli, S. Mavroulis, E. Lekkas, A. Tsakris, *Infectious Diseases Associated with Hydrometeorological Hazards in Europe: Disaster Risk Reduction in the Context of the Climate Crisis and the Ongoing COVID-19 Pandemic*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” 2022, nr 19(16), <https://doi.org/10.3390%2Fijerph191610206>, s. 10206.

<sup>15</sup> T. Sim, M. He, L. Dominelli, *Social work core competencies in disaster management practice: An integrative review*, „Research on Social Work Practice” 2022, nr 32(3), <https://doi.org/10.1177/10497315211055427>, s. 310–321.

<sup>16</sup> J.A. Lassa, A. Surjan, M. Caballero-Anthony, R. Fisher, *Measuring political will: An index of commitment to disaster risk reduction*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2019, nr 34, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.11.006>, s. 64–74.

i zwiększenia gotowości na sytuacje kryzysowe związane ze zdrowiem publicznym. Ramy mają również na celu osadzenie kwestii zdrowotnych w istniejących systemach opieki zdrowotnej, umożliwiając w ten sposób większy nacisk na zapobieganie zagrożeniom i budowanie odporności zdrowotnej na poziomie społeczności i na poziomie krajowym, odporność społeczności, a także gotowość, reagowanie i powrót do zdrowia<sup>17</sup>.

Ramy zdrowotne mają jasną wizję – „najwyższy możliwy standard zdrowia i dobrego samopoczucia dla wszystkich osób zagrożonych sytuacjami kryzysowymi oraz silniejszą odporność społeczności i kraju, bezpieczeństwo zdrowotne, powszechna opieka zdrowotna i zrównoważony rozwój”<sup>18</sup>. Mają na celu wzmocnienie zdolności, w sektorze zdrowia i poza nim, do radzenia sobie ze skutkami zdrowotnymi wszystkich rodzajów sytuacji kryzysowych i katastrof, a także do pracy na rzecz zmniejszenia zagrożeń dla zdrowia związanych z przyszłymi zdarzeniami. Ramy wywodzą się z dyscyplin zarządzania ryzykiem, zarządzania kryzysowego, gotowości i reagowania na epidemię oraz wzmocniania systemów opieki zdrowotnej. Kładą nacisk na działania wielosektorowe i, co ważne, uznają znaczenie budowania odporności w ramach szerszego podejścia do wzmocniania systemu opieki zdrowotnej oraz dążenia do osiągnięcia powszechnego ubezpieczenia zdrowotnego we wszystkich kontekstach krajowych. Są w pełni spójne z istniejącymi politykami dotyczącymi ograniczenia katastrof i sytuacji kryzysowych w zakresie zdrowia i mają na celu zapewnienie ram dla dostosowania ich w przyszłości.

Planowane jest szerokie zaangażowanie ministerstw zdrowia w celu szkolenia i rozwoju strategii i programów za pośrednictwem regionalnych i krajowych biur WHO oraz partnerów. Konkretnie działania wspierające operacjonalizację ram EDRM w dziedzinie zdrowia obejmują przyspieszenie wdrażania procesu krajowego planowania działań na rzecz bezpieczeństwa zdrowotnego, wzmocnienie podejścia uwzględniającego wszystkie zagrożenia w strategicznych ocenach ryzyka kryzysowego i planowaniu reagowania kryzysowego, włączenie DRM do głównego nurtu wszystkich polityk i programów zdrowotnych oraz wspieranie udoskonalonej sprawozdawczości ramowej Sendai przez ministerstwa zdrowia. W przyszłości zasadnicze znaczenie będzie miało dalsze proaktywne wdrażanie ram, zwłaszcza na szczeblu krajowym oraz ocena ich wpływu na skalę światową<sup>19</sup>.

Ponieważ straty i zniszczenia w infrastrukturze stanowiły w Polsce większą część całkowitych strat spowodowanych klęskami żywiołowymi w przeszłości<sup>20</sup>, przyszłe katastrofy będą nadal zwiększać ekonomiczny koszt strat spowodowanych klęskami żywiołowymi, ze względu na dodatkową presję szybko urbanizujących tzw. peryferii

<sup>17</sup> K. Goniewicz, A. Khorram-Manesh, A.J. Hertelendy, M. Goniewicz, K. Naylor, F.M. Jr Burkle, *Current response and management decisions of the European Union to the COVID-19 outbreak: A review, „Sustainability”* 2020, nr 12(9), <https://doi.org/10.3390/su12093838>, s. 3838.

<sup>18</sup> A. Khorram-Manesh, M.A. Dulebenets, K. Goniewicz, *Implementing public health strategies – the need for educational initiatives: a systematic review*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” 2021, nr 18(11), <https://doi.org/10.3390%2Fijerph18115888>, s. 5888.

<sup>19</sup> K. Goniewicz, E. Carlström, A.J. Hertelendy, F.M. Jr Burkle, M. Goniewicz, D. Lasota, A. Khorram-Manesh, *Integrated healthcare and the dilemma of public health emergencies*, „Sustainability” 2021, nr 13(8), <https://doi.org/10.3390/su13084517>, s. 4517.

<sup>20</sup> *Handbook of disaster and emergency management*, red. A. Khorram-Manesh, K. Goniewicz, A. Hertelendy, M. Dulebenets, Gothenburg 2021, <https://doi.org/10.5281/zenodo.5553075>.

miejskich oraz wielofunkcyjnych obszarów wiejskich. W związku z tym, istnieje pilna potrzeba wprowadzenia przez państwo sprawnego systemu i mechanizmu operacyjnej planowania i wdrażania rozwoju uwzględniającego ryzyko.

Kluczowym wyzwaniem, które nadal pozostaje w związku z planowaniem i wdrażaniem rozwoju z uwzględnieniem ryzyka, jest odpowiednie zachęcenie, zarówno decydentów, jak i interesariuszy wdrażających projekty zawarte w ramach SFDRR, do bardziej regularnej i skutecznej interakcji. W celu zapewnienia skutecznego procesu rozwoju uwzględniającego ryzyko, decentralizacja pionowa i formalna ze strony władz krajowych i lokalnych powinna być uzupełniona decentralizacją poziomą i nieformalną wśród wszystkich zainteresowanych stron we wszystkich sektorach<sup>21</sup>. Polska nie stanowi wyjątku w kwestii opracowania odpowiedniego mechanizmu oceny i zatwierdzania planów rozwoju wrażliwych na ryzyko związane z klimatem i klęskami żywiołowymi oraz rygorystycznego monitorowania realizacji zatwierdzonych planów.

#### 4. PODSUMOWANIE

Obecne projekty związane z reagowaniem na wypadek klęsk żywiołowych podejmowane w Polsce w ramach wdrażania programu Sendai są w fazie implementacji lub funkcjonują od niedawna. Trudno jeszcze ocenić ich faktyczną skuteczność. Konieczna jest analiza, czy poszczególne inicjatywy wpływają na skłonność do podejmowania działań prewencyjnych i adaptacyjnych na poziomie samorządów.

Potrzebny jest również wzrost nakładów na działania informacyjne i edukacyjne zwiększające świadomość społeczną zarówno w obszarze zagrożeń związanych z wystąpieniem klęsk i katastrof, jak i możliwymi działaniami na rzecz redukcji ryzyka<sup>22</sup>.

Istnieje potrzeba wypracowania systematycznego i jednorodnego podejścia do gromadzenia danych statystycznych, pozwalających mierzyć ekspozycję, wrażliwość oraz podatność na zjawiska naturalne w wymiarze społecznym, ekonomicznym i strukturalnym. Tego typu dane (przynajmniej dla poziomu gmin) mogą być gromadzone i regularnie udostępniane przez GUS w ramach istniejącego Banku Danych Lokalnych. Obecnie dostępna w Polsce infrastruktura pomiarowa, a także ograniczona gęstość jej rozmieszczenia, powoduje, że pewne zjawiska mogą nie zostać uchwycone. W przypadku pomiaru prędkości wiatru brak lokalnych informacji z urzędzeń rejestrujących może uniemożliwić odpowiednią ocenę szkód dokonywaną przez zakłady ubezpieczeniowe.

Organy państwowe powinny obowiązkowo publikować cykliczne oraz specjalne (*ad hoc*) raporty zawierające ostateczne oszacowania strat spowodowanych przez klęski i katastrofy, wraz z dokładnym określeniem obszaru geograficznego. W przypadku większych katastrof konieczne jest określenie w raporcie dokładnego przebiegu

<sup>21</sup> K. Goniewicz, P. Misztal-Okońska, W. Pawłowski, F.M. Jr Burkle, R. Czerski, A.J. Hertelendy, M. Goniewicz, *Evacuation from healthcare facilities in Poland: legal preparedness and preparation*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” 2020, nr 17(5), <https://doi.org/10.3390/ijerph17051779>, s. 1779.

<sup>22</sup> K. Goniewicz, *Ukrainian-War Refugees in Poland: Assessment and Recommendations for Crisis Preparedness Education and Implementation*, „Polish Political Science Yearbook” 2022, nr 51(1), <https://doi.org/10.15804/pps202248>, s. 1–9.

wydarzeń na podstawie raportów służb, poszkodowanych i innych podmiotów (np. rejestrujących dane zjawisko). Dodatkowo analizy wymaga obowiązujące prawo budowlane, tzw. specustawy w obszarze inwestycji infrastrukturalnych i efektywność działania nadzoru budowlanego.

Pilnym i ważnym zadaniem jest opracowanie planu postępowania z ryzykiem na poziomie kraju, który będzie zawierał nie tylko diagnozę w obszarze ryzyka katastrof, ale również określi obecne zdolności administracyjno-organizacyjne, a także dostępne środki techniczne i finansowe. W ramach Krajowego Planu Postępowania z Ryzykiem powinna zostać dokonana selekcja priorytetów w obszarze zarządzania ryzykiem wraz z określeniem kluczowych zadań i wskaźników osiągnięcia celów. Obecne plany operacyjne nie mają bowiem charakteru strategicznego i szybko ulegają dezaktualizacji. Należy kłaść większy nacisk na przewidywanie negatywnych skutków zachodzących już zmian klimatycznych i infrastrukturalnych.

## BIBLIOGRAFIA

### Artykuły i monografie

Aye Z.C., Sprague T., Cortes V.J., Prenger-Berninghoff K., Jaboyedoff M., Derron M.H., *A collaborative (web-GIS) framework based on empirical data collected from three case studies in Europe for risk management of hydro-meteorological hazards*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2016, nr 15, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.12.001>.

Borowska-Stefańska M., Balážovičová L., Goniewicz K., Kowalski M., Kurzyk P., Masny M., Wiśniewski S., Žoncová M., Khorram-Manesh A., *Emergency management of self-evacuation from flood hazard areas in Poland*, „Transportation Research Part D: Transport and Environment” 2022, nr 107, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103307>.

Borowska-Stefańska M., Diller C., Grama V., Goniewicz K., Kowalski M., Kurzyk P., Sahebgharani A., Wiśniewski S., *Effectiveness of the policy for organising self-evacuation by private vehicle transport, as verified in microsimulations*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2022, nr 83, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103431>.

Busayo E.T., Kalumba A.M., Afuye G.A., Ekundayo O.Y., Orimoloye I.R., *Assessment of the Sendai framework for disaster risk reduction studies since 2015*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2020, nr 50, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101906>.

Faivre N., Sgobbi A., Happaerts S., Raynal J., Schmidt L., *Translating the Sendai Framework into action: The EU approach to ecosystem-based disaster risk reduction*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2018, nr 32, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.12.015>.

Goniewicz K., Burkle Jr F.M., *Challenges in implementing Sendai framework for disaster risk reduction in Poland*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” 2019, nr 16(14), <https://doi.org/10.3390/ijerph16142574>.

Goniewicz K., Burkle Jr F.M., *Disaster early warning systems: the potential role and limitations of emerging text and data messaging mitigation capabilities*, „Disaster Medicine and Public Health Preparedness” 2019, nr 13(4), <https://doi.org/10.1017/dmp.2018.171>.

Goniewicz K., *Ukrainian-War Refugees in Poland: Assessment and Recommendations for Crisis Preparedness Education and Implementation*, „Polish Political Science Yearbook” 2022, nr 51(1), <https://doi.org/10.15804/ppsy202248>.

Goniewicz K., Carlström E., Hertelendy A.J., Burkle Jr F.M., Goniewicz M., Lasota D., Khorram-Manesh A., *Integrated healthcare and the dilemma of public health emergencies*, „Sustainability” 2021, nr 13(8), <https://doi.org/10.3390/su13084517>.

Goniewicz K., Khorram-Manesh A., Hertelendy A.J., Goniewicz M., Naylor K., Burkle Jr F.M., *Current response and management decisions of the European Union to the COVID-19 outbreak: A review*, „Sustainability” 2020, nr 12(9), <https://doi.org/10.3390/su12093838>.

Goniewicz K., Misztal-Okońska P., Pawłowski W., Burkle Jr F.M., Czerski R., Hertelendy A.J., Goniewicz M., *Evacuation from healthcare facilities in Poland: legal preparedness and preparation*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” 2020, nr 17(5), <https://doi.org/10.3390/ijerph17051779>.

Gregg H.R., Restubog S.L., Dasborough M., Xu C., Deen C.M., He Y., *When disaster strikes! An interdisciplinary review of disasters and their organizational consequences*, „Journal of Management” 2022, nr 48(6), <https://doi.org/10.1177/01492063221076808>.

Gromek P., *Societal dimension of disaster risk reduction. Conceptual framework*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2021, nr 1(77), <http://dx.doi.org/10.5604/01.3001.0014.8412>.

Khorram-Manesh A., Dulebenets M.A., Goniewicz K., *Implementing public health strategies – the need for educational initiatives: a systematic review*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” 2021, nr 18(11), <https://doi.org/10.3390/ijerph18115888>.

*Handbook of disaster and emergency management*, red. A. Khorram-Manesh, K. Goniewicz, A. Hertelendy, M. Dulebenets, Gothenburg 2021, <https://doi.org/10.5281/zenodo.5553075>.

Kosieradzka A., Smagowicz J., Szwed C., *Ensuring the business continuity of production companies in conditions of COVID-19 pandemic in Poland – applied measures analysis*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2022, nr 72, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102863>.

Kron W., Löw P., Kundzewicz Z.W., *Changes in risk of extreme weather events in Europe*, „Environmental Science & Policy” 2019, nr 100, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.06.007>.

Lassa J.A., Surjan A., Caballero-Anthony M., Fisher R., *Measuring political will: An index of commitment to disaster risk reduction*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2019, nr 34, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.11.006>.



Mavrouli M., Mavroulis S., Lekkas E., Tsakris A., *Infectious Diseases Associated with Hydrometeorological Hazards in Europe: Disaster Risk Reduction in the Context of the Climate Crisis and the Ongoing COVID-19 Pandemic*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” 2022, nr 19(16), <https://doi.org/10.3390%2Fijerph191610206>.

Petiteville I., Ishida C., Danzeglocke J., Eddy A., Gaetani F., Frye S., Kuligowski B., Zofolih S., Polandi M., Jones B., *WCDRR and the CEOS activities on disasters*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences” 2015, vol. XL-7/W3, <http://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-845-2015>.

Sim T., He M., Dominelli L., *Social work core competencies in disaster management practice: An integrative review*, „Research on Social Work Practice” 2022, nr 32(3), <https://doi.org/10.1177/10497315211055427>.

Wiśniewski M., *Analysis of the integrity of district crisis management plans in Poland*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2022, nr 67, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102650>.



**Dariusz BOGUSZ**Lotnicza Akademia Wojskowa  
e-mail: d.bogusz@law.mil.pl  
ORCID: 0000-0001-7755-0949

DOI: 10.55676/asi.v3i1.24

## SYSTEM SZKOLENIA LOTNICZEGO GROB 120

### GROB 120 FLIGHT TRAINING SYSTEM

#### Streszczenie

Ekonomiczność szkolenia personelu latającego jest jednym z wyznaczników wyboru platformy szkolenia lotniczego pilotów wojskowych na świecie. Próby zoptymalizowania kosztów doprowadziły do szerokiego stosowania treningu syntetycznego i nowoczesnej awioniki od początkowych etapów szkolenia lotniczego. Takim przykładem jest system szkolenia lotniczego Grob 120TP. Niemiecki producent wprowadził do szkolenia platformę G 120TP z cyfrową awioniką oraz dedykowanymi symulatorami i rozwiązaniami sieciowymi. Celem artykułu była identyfikacja najnowszych rozwiązań szkolenia lotniczego na przykładzie platformy Grob G 120TP.

**Słowa kluczowe:** szkolenie lotnicze, symulator, samolot szkolny, trening lotniczy, system szkolenia lotniczego

#### Abstract

The cost-effectiveness of personnel flight training is one of the determinants of choosing a flight training platform for military pilots in the world. Attempts to optimize costs have led to the widespread use of synthetic training and aircraft equipped with modern avionics from the early stages of flight training. One such example is the Grob 120TP flight training system. The German manufacturer introduced the G 120TP platform with digital avionics, dedicated simulators and network solutions to the training. The aim of the article was to identify the latest aviation training solutions on the example of the Grob G 120TP platform.

**Keywords:** flight training, simulator, training aircraft, flight training

## 1. WSTĘP

Systemy szkolenia lotniczego pilotów wojskowych są podobne w wielu krajach. Szkolenie lotnicze oparte jest w dużej mierze na platformach szkoleniowych. Oznacza to, że samolot (statek powietrzny) jest tylko częścią tej platformy, wraz z urządzeniami syntetycznymi stanowi jego główny element. Coraz większą rolę odgrywają symulatory i technologia rzeczywistości wirtualnej (ang. *virtual reality* – VR). Problemem jest stworzenie systemu szkolenia, który zagwarantowałby skrócenie czasu przygotowania pilotów wojskowych do wykonywania zadań w jednostkach bojowych. Wielu producentów oferuje rozwiązania mające zagwarantować integralność szkolenia oraz ekonomiczność tego szkolenia. Takim rozwiązaniem jest nowa koncepcja szkolenia G 120TP firmy Grob Aircraft, oparta na wszechstronnym samolocie szkolenia podstawowego. Jest to odpowiedź na najnowsze trendy i strategiczne zmiany we współczesnym wojskowym szkoleniu lotniczym. Duże zapotrzebowanie na pilotów szybkich odrzutowców, zwiększone zapotrzebowanie na pilotów samolotów transportowych, śmigłowców, bezałogowych statków powietrznych, wzrost złożoności realizowanych misji – a jednocześnie ograniczenia budżetowe szkolenia pilotów wojskowych – powoduje poszukiwanie nowoczesnych rozwiązań szkoleniowych, takich jak system G 120TP.

Tendencja do strumieniowego szkolenia pilotów na jak najwcześniejszym etapie, podobnie jak w przeszłości, jest dostosowywana globalnie do nowych parametrów operacyjnych statków powietrznych i wymagań stawianych pilotom. Uwzględnienie warunków wstępnych wraz z rygorystycznymi budżetami obronnymi skłoniło branżę do przedstawienia nowego podejścia w szkoleniu pilotów wojskowych.

G 120TP posiada cechy ekonomiczności i skuteczności szkolenia lotniczego, dostosowane do potrzeb i wyzwań większości sił powietrznych na świecie. Wysoka niezawodność i niskie koszty użytkowania platform szkoleniowych to parametry wymagane przez globalnych odbiorców potrzeb szkoleniowych XXI wieku. Samolot G 120TP wraz z systemem szkolenia dopasowanym do potrzeb zamawiającego reprezentuje wszystkie powyższe kryteria i może stanowić poważną ofertę na rynku. Ze względu na główną wartość aksjologiczną organizacji szkolenia lotniczego<sup>1</sup>, jaką jest bezpieczeństwo szkolenia, G 120TP jest certyfikowany zgodnie z najnowszymi normami zdatności do lotu i charakteryzuje się ulepszonymi parametrami aerodynamicznymi, zorientowaną na przyszłość elastyczną awioniką, w tym cywilnymi i wojskowymi systemami łączności i nawigacji, zapewniając doskonałą świadomość sytuacyjną i poczucie bezpieczeństwa. Nie ma innego samolotu o nowej konstrukcji, który posiadałby certyfikaty EASA CS23, FAA FAR 23, indyjskie CAA i wiele certyfikatów wojskowych. Poprawiając jakość szkolenia lotniczego od pierwszych etapów, jednocześnie generując ogromne oszczędności eksploatacyjne, w połączeniu z niezrównaną niezawodnością samolotów, system szkolenia G 120TP wyznacza nowy standard w szkoleniu pilotów wojskowych.

<sup>1</sup> Zorganizowane działanie ludzkie zmierza do zapewniania bezpieczeństwa i ochrony życia. Zabezpieczenie najważniejszych potrzeb i ochrony życia w nienaturalnym środowisku, jakim jest powietrze, to wartość podstawowa w szkoleniu lotniczym. Por.: A. Glen, *Podstawy poznania bezpieczeństwa podmiotu*, UPH, Siedlce 2021, s. 14.

Celem artykułu była identyfikacja najnowszych rozwiązań szkolenia lotniczego na przykładzie platformy G 120TP, w tym koncepcji szkolenia pewnych etapów opartej na jednym systemie szkolenia z zapewnieniem wsparcia producenta. Wartością dodaną w zakresie bezpieczeństwa szkolenia jest odpowiednie szkolenie naziemne (przygotowawcze) na symulatorach różnej klasy.

Problem badawczy został wyrażony pytaniem: Jakie rozwiązania szkoleniowe umożliwiają redukcję czasu i kosztów szkolenia lotniczego pilotów wojskowych różnych platform? Wstępna analiza wskazuje, że oferta Grob Aircraft może zastąpić szkolenie realizowane wcześniej na samolotach tłokowych i lekkich szkolnych odrzutowcach. Dodatkowo, kompletny system treningowy, oprócz korzyści finansowych, umożliwia skrócenie czasu szkolenia i zmniejszenie wykuszalności wśród szkolonych pilotów<sup>2</sup>. Możliwość przenoszenia szkolenia między samolotem a symulatorem jest ważnym czynnikiem do rozważenia pod względem oszczędności czasu i pieniędzy.

Do opracowania artykułu zostały wykorzystane teoretyczne metody badawcze, takie jak analiza i synteza informacji zawartych w literaturze i materiałach źródłowych, wnioskowanie, porównanie.

## 2. SYSTEM SZKOLENIA GROB G 120TP

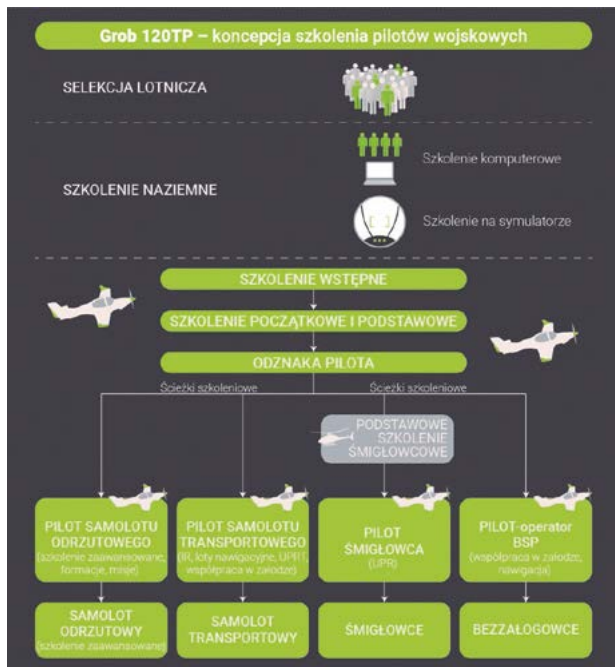
Zaawansowanie technologiczne bojowych statków powietrznych, w tym samolotów wielozadaniowych czwartej i piątej generacji, wymusiło udoskonalenie systemów szkolenia lotniczego pilotów wojskowych oraz wykorzystywanego sprzętu. Znalazło to odzwierciedlenie, między innymi, we wprowadzeniu do użytku samolotów zaawansowanego szkolenia lotniczego oraz samolotów szkolno-bojowych porównywalnych pod względem parametrów lotno-technicznych z samolotami wielozadaniowymi nowych generacji. Obecnie proponowane rozwiązania przesuwają zadania szkoleniowe już na samoloty turbodrzutowe z zaawansowaną cyfrową awioniką i dobrymi osiąganiami lotnymi. Oznacza to, że samolot turbodrzutowy zdolny do akrobacji i osiągania wysokich prędkości i przeciążeń może zapewnić dobre efekty szkolenia od etapu selekcji lotniczej do szkolenia taktycznego. Takie rozwiązania oferuje system szkolenia lotniczego opartej na samolocie Grob G 120TP. Ucyfrowienie lotnictwa wojskowego wymusiło cyfryzację lotnictwa szkolnego. Dotyczy to nie tylko samych statków powietrznych, lecz także spektrum szkolenia symulatorowego i rozwiązań sieciowych<sup>3</sup>.

Obecnie trudno sobie wyobrazić projektowanie czy doskonalenie jakiegokolwiek organizacji bez sprecyzowania systemu wartości, które powinna ona realizować. Wartości, takie jak bezpieczeństwo szkolenia, skuteczność, efektywność, traktować należy jako

<sup>2</sup> Wykuszalność to odsetek szkolonych lub kształconych, którzy z różnych powodów nie ukończyli szkolenia lub kształcenia lotniczego w ośrodkach, centrach szkolenia lub uczelni lotniczej. Por.: D. Bogusz, *Szkolenie selekcyjne kandydatów na pilotów wojskowych w Siłach Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej*, LAW, Dęblin 2020, s. 64.

<sup>3</sup> E. Cieślak, *Szkolenie personelu latającego Sił Zbrojnych RP w świetle doświadczeń innych państw*, „Bellona” 2015, nr 4, s. 141.

część systemu aksjologicznego szkolenia lotniczego<sup>4</sup>. Koncepcja szkolenia oparta na platformie Grob G 120TP skupia się na wymaganych zadaniach szkoleniowych i powyższych wartościach. Grob oferując jedną wielofunkcyjną platformę, minimalizuje ilość typów statków powietrznych do etapu konwersji na docelowy statek powietrzny, przyczynia się do poprawy jakości i bezpieczeństwa szkolenia pilotów wojskowych przy obniżonych całkowitych kosztach szkolenia (rys. 1).



Rys. 1. Koncepcja szkolenia pilotów wojskowych Grob 120TP

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://grob-aircraft.com/en/training-systems.html> [dostęp: 29.09.2022].

System szkolenia G 120TP rozpoczyna się od fazy wstępnego i podstawowego szkolenia lotniczego, obejmującego szkolenie selekcyjne (sprawdzające) w powietrzu przy skonfigurowaniu samolotu G 120TP ograniczającym zakres mocy dla początkujących pilotów, dzięki wbudowanemu systemowi regulacji mocy Flex Power, który umożliwia obniżenie osiągnięć i łatwą obsługę silnika samolotu.

Faza wstępnego i podstawowego szkolenia w powietrzu kończy się egzaminem, po którym stają się pilotami – otrzymują odznakę pilota (skrzydła). W fazie przesyłania strumieniowego platforma G 120TP może być dalej obsługiwana dla wszystkich kolejnych strumieni klasy pilotów, pobierając zadania szkolenia lotniczego z droższych

<sup>4</sup> Por.: A. Glen, G. Kott, *Podstawy poznawcze systemu reagowania państwa na zagrożenia terroryzmem lotniczym*, [w:] *Reagowanie państwa na zagrożenia terroryzmem lotniczym*, red. A. Glen, AON, Warszawa 2010, s. 12.

platform szkoleniowych. Dzięki zastosowaniu wspólnej platformy opóźnione „przesyłanie strumieniowe” między myśliwcem a strumieniami transportowymi jest ułatwione. Eliminacja zbędnych przejść i wcześniejsze kierowanie pilotów skutkuje usprawnionym szkoleniem pilotażowym, skupiającym się na odpowiednim rozwoju podstawowych umiejętności.

Ze względu na rosnące wymagania oraz redukcję kosztów osiągnięcie zakładanych efektów szkoleniowych jest przedsięwzięciem niezwykle trudnym. Stąd też w przygotowaniu pilota samolotu (śmigłowca) bojowego oferuje się platformy szkolenia lotniczego, wykorzystując różnorodne narzędzia i programy szkolenia, które pozwalają usystematyzować cały proces szkolenia lotniczego oraz zrealizować niezbędne przedsięwzięcia zarówno na ziemi, jak i w powietrzu. Zawarte w nich informacje, takie jak liczba oraz kolejność niezbędnych do realizacji lotów, treningów, ćwiczeń, czy też zajęć teoretycznych, pozwalają uniknąć błędów i umożliwiają utrzymanie wysokiego poziomu jakości z zachowaniem ram czasowych. Co więcej, przyszłe zmiany popytu między różnymi strumieniami (PSO, PST, PŚ i BSP) szkolenia można łatwo wzmocnić za pomocą wspólnej platformy (rys. 2)<sup>5</sup>.



Rys. 2. Główne elementy i etapy GTS

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://grob-aircraft.com/en/training-systems.html> [dostęp: 29.09.2022].

### 3. SZKOLENIA KOMPUTEROWE

Szkolenie naziemne oparte jest na kursach CBT (ang. *computer based training* – CBT) i nowoczesnym systemie zarządzania nauczaniem (ang. *learning management system* – LMS), które są zgodne ze standardem SCORM 2004<sup>6</sup>. Kursy CBT działają jako aplikacja internetowa oparta na serwerze, która nie jest otwartym standardem udostępniania treści. SCORM 2004 jest trzecią, bardziej złożoną wersją SCORM do obsługi sekwencjonowania treści z zastosowaniem różnych ścieżek, którymi może podążać

<sup>5</sup> J. Rajchel, *System szkolenia podstawowego Sił Powietrznych RP*, Projekt NEPTUNE, Fundacja Bezpieczeństwa i Rozwoju Stratpoints, Warszawa 2018, s. 3.

<sup>6</sup> SCORM (ang. *Sharable Content Object Reference Model*) – model referencyjny obiektu zawartości, który można udostępnić. Prosta definicja SCORM jest następująca: jest to międzynarodowy standard dla e-kursów. Kurs w formacie SCORM jest rozpoznawany przez prawie każdy system zarządzania nauczaniem (LMS). Za: <https://www.ispring.pl/blog/co-to-jest-scorm> [dostęp: 29.09.2022]. SCORM określa konkretny sposób tworzenia systemu zarządzania nauczaniem, tak aby można było wymieniać utworzoną w nim treść z innymi systemami zgodnymi ze SCORM. Umożliwia bardziej wydajne pakowanie treści i udostępnianie ich w innych systemach. Za: <https://www.easy-lms.com/pl/centrum-wiedzy/centrum-lms/co-to-jest-scorm/item10195> [dostęp: 29.09.2022].

użytkownik. Różne typy treści i możliwość ich łączenia (tekst, obrazy, filmy i dźwięk), a także przyjazność dla urządzeń mobilnych zapewniają łatwy dostęp i naukę w indywidualnym tempie, nieograniczone powtarzanie aż do osiągnięcia mistrzostwa. LMS umożliwia także śledzenie i rejestrowanie postępów i kompetencji poszczególnych uczniów. Możliwości systemu LMS Grob Aircraft przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Schemat systemu zarządzania nauczaniem Grob Aircraft

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://grob-aircraft.com/en/training-systems.html> [dostęp: 29.09.2022].

System zarządzania nauczaniem Grob Aircraft pozwala na zapis postępów szkolenia (nauczania). Uczeń nie musi od razu przechodzić przez cały kurs. Standard SCORM pozwala to zrobić krok po kroku. Pół godziny pracy, 10 minut odpoczynku, a potem może kontynuować interaktywne lekcje z miejsca, w którym się zatrzymał. Postęp zostaje zapisany. Jest to również wygodne w przypadku awarii systemu lub sporadycznego zamknięcia kursu. System umożliwia także zbudować przejrzystą strukturę kursu i ustalić zasady poruszania się między jego sekcjami. Na przykład uczniowie-piloci mogą zapoznać się z wykładem, następnie obejrzeć film i dopiero wtedy będą mogli napisać test końcowy. Dzięki zastosowaniu standardu SCORM w czasie trwania kursu można otrzymywać informacje zwrotne o postępach szkolonych pilotów. Instruktorzy mają możliwość oceniać ucznia na bieżąco, dzięki dostępnym w systemie informacjom, w tym raportom postępów w nauce. Kiedy e-kurs zostanie ukończony, zostanie wyświetlony status „Kurs ukończony”, a w systemie znajdzie się informacja, ile punktów kursant zdobył i jakie wyniki osiągnął na poszczególnych etapach kursu.

Kolejną cechą systemu zarządzania nauczaniem G 120TP jest modułowość. W przypadku kursu SCORM materiały szkoleniowe składają się z samodzielnych jednostek lub modułów (rys. 4). Każdy moduł SCORM może być wykorzystywany w dowolnym innym kursie w LMS<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> <https://www.ispring.pl/blog/co-to-jest-scorm> [dostęp: 2.11.2022].





Rys. 4. Zawartość pakietu SCORM

Źródło: opracowanie własne.

W skład systemu wchodzi serwer CBT umożliwiający dostęp do materiałów szkoleniowych przydatnych do nauki teoretycznej w pierwszej fazie szkolenia. Szkolenie CBT umożliwia kandydatom na pilotów naukę we własnym tempie. Serwer komputerowy jest wykorzystywany jako standardowa metoda szkolenia teoretycznego w celu zapewnienia spójnego, wysokiej jakości treningu i wyeliminowania różnic. Kolejnym elementem GTS jest urządzenie do szkolenia w locie (ang. *flight training device – FTD*). Symulator Grob G 120TP-SIM FTD oferuje ekonomiczne szkolenie lotnicze jako samodzielne rozwiązanie. Szkolenie podstawowe, akrobacyjne i konwersyjne oraz taktyczne manewry lotnicze mogą być prowadzone niezależnie od warunków dziennych lub pogodowych w całym zakresie osiągnięć statku powietrznego (loty nocne, w formacjach itp.). Zaprojektowany został zgodnie ze standardami EASA/FAA.

Grob G 120TP-SIM FTD umożliwia trening wszystkich zadań szkoleniowych na tym etapie nauki. W skład symulatora wchodzi: autentyczny kokpit z układem sterowania Grob G 120TP, system wizualizacji z generatorem obrazu o wysokiej wierności (kopułowy system wyświetlania), stacja operatora instruktora (ang. *instructor operator station – IOS*) ze zdalnym tabletem (fot. 1).



Fot. 1. Symulator FTD Grob 120

Źródło: <https://grob-aircraft.com/en/training-systems.html> [dostęp: 29.09.2022].

Szkolenie komputerowe, wirtualna i rozszerzona rzeczywistość, odpowiednie symulatory z doskonałymi systemami wizualnymi to standard współczesnego szkolenia lotniczego. System Grob Aircraft wprowadza te standardy szkolenia wraz z lekcjami prowadzonymi przez instruktora na interaktywnym ekranie w wysokiej rozdzielczości,

ale także na niezależnych, indywidualnych urządzeniach przenośnych, dostępnych dla każdego ucznia z nielimitowaną możliwością powtórzeń aż do pełnego opanowania. Symulacja awioniki na urządzeniach naziemnych pozwala na zapoznanie się ze specyfiką kokpitu przed zajęciami w powietrzu. Kompletny system treningowy umożliwia przenoszenie szkolenia między samolotem a symulatorem oraz odpowiednie szkolenie przygotowawcze na symulatorze przed szkoleniem w powietrzu.



Fot. 2. Symulator G 120TP FMS

Źródło: [https://www.bluetoad.com/publication/?i=519635&article\\_id=3164518&view=articleBrowser&ver=html5](https://www.bluetoad.com/publication/?i=519635&article_id=3164518&view=articleBrowser&ver=html5) [dostęp: 16.10.2022].

Firma produkuje pełną gamę urządzeń treningowych dostosowanych do wymagań klientów, opracowanych i wspieranych przez Grob Training Systems (GTS). Portfolio obejmuje szkolenia z wykorzystaniem tabletów komputerowych, szkolenia stacjonarne, w razie potrzeby prowadzone przez instruktora, aż po pełny symulator misji z dziewięciokanałowym obrazem dającym pole widzenia 300° w poziomie i 165° w pionie. FMS jest łatwy i szybki w uruchomieniu i ustawieniu, wymaga tylko 30 minut konserwacji dziennie i ma dostępność na poziomie 95% lub wyższym (fot. 2).

Stanowisko operacyjne instruktora składa się z dwóch ekranów dotykowych i dwóch monitorów z płaskim ekranem oraz tabletu do zdalnego sterowania, który umożliwia obsługę systemu IOS z innych miejsc, w tym z samego kokpitu FMS. Przed formalnym procesem szkolenia pilotów opracowany wewnętrznie system selekcji i oceny pilotów (ang. *pilot selection & evaluation system* – PSES) wykorzystuje kombinację metod testowania kandydatów pod kątem podstawowych umiejętności pilota, zdolności psychomotorycznych i kompetencji operacyjnych, a wszystko to koncentruje się na zmniejszeniu współczynników wykuszalności szkolonych, a tym samym, obniżeniu kosztów szkolenia pilotów<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> D. Jones, *Grob: Gliders, Trainers... and ISR*, „Military Simulation & Training Magazine” 2018, nr 35, s. 14.

#### 4. SAMOLOT G 120TP

Najważniejszym elementem systemu szkolenia jest samolot G 120TP. Jest to w pełni akrobacyjny samolot szkoleniowy turbośmigłowy, symbolizujący ewolucję podstawowego i zaawansowanego szkolenia lotniczego w XXI wieku. Prostota obsługi przez pilota i funkcje systemów pokładowych sprawiają, że G 120TP jest wyrafinowaną platformą szkoleniową, która może pomieścić i połączyć zarazem typowe selekcyjne, podstawowe i zaawansowane etapy szkolenia pilotów i uzupełnia koncepcję treningu proponowaną przez firmę Grob Aircraft Training System.

Grob G 120TP (fot. 3) to dwumiejscowy, jednosilnikowy samolot wojskowy szkolny, który oferuje opłacalne rozwiązanie szkolenia wojskowego dla sił powietrznych. G 120TP jest przeznaczony do podstawowych i zaawansowanych misji szkoleniowych pilotów, a także manewrów akrobacyjnych, takich jak korkociągi, pętle, przewroty, skręty przeciągnięcia i skręty zewnętrzne.

W kabinie G 120TP mieści się pilot-instruktor i uczeń-pilot w układzie obok siebie. Załoga siedzi na w pełni automatycznych fotelach wyrzucanych Martin Baker Mk.15B. Fotele aktywowane nabojem umożliwiają bezpieczną ucieczkę załogi przy różnych prędkościach i wysokościach. Kabina zapewnia załodze widoczność we wszystkich kierunkach, jednocześnie poprawiając bezpieczeństwo podczas treningu akrobacyjnego. Kokpit integruje również podwójne ręczne sterowanie przepustnicą i drążkiem (ang. *hands-on throttle-and-stick* – HOTAS) oraz rzeczywiste lub symulowane przełączniki na panelu, identyczne jak w przypadku zaawansowanych samolotów misji.

Kokpit w systemie *side-by-side* (siedzenia obok siebie) umożliwia wydajny trening, szczególnie na wczesnych etapach treningu. Układ siedzeń pozwala instruktorowi-pilotowi na łatwe monitorowanie pracy szkolonego i używanie tych samych elementów sterujących i wyświetlaczy do ustalania wszystkich etapów szkolenia<sup>9</sup>.



Fot. 3. Samolot Grob 120TP

Źródło: <https://grob-aircraft.com/en/g-120tp.html> [dostęp: 20.09.2022].

<sup>9</sup> <https://www.airforce-technology.com/projects/grob-g-120tp-german-trainer-aircraft/> [dostęp: 9.09.2022].

Kokpit Grob 120TP wyposażony jest w najnowocześniejszą awionikę, w tym główny wyświetlacz lotu, dla lotów VFR i IFR w warunkach bez oblodzenia. 120TP ma całkowicie kompozytowy płatowiec o żywotności 15 000 godzin lotu.

Program podstawowego szkolenia lotniczego dla studentów wojskowych obejmuje: podstawowe zasady lotu, sytuacje awaryjne, manewry akrobacyjne, latanie w formacjach wielosamolotowych, kapitan statku powietrznego, podstawowe procedury radiowe, szkolenie tylnej załogi.

Samoloty szkoleniowe Grob 120TP są zoptymalizowane pod kątem wymagającego środowiska szkolenia wojskowego. Posiadają pełną zdolność do treningu akrobacyjnego i wojskowego (+6/-4 g), doskonałe właściwości pilotażowe i prostą, jednodźwigniową obsługę sprawdzonego i niezawodnego silnika turbinowego Rolls-Royce M250-B17F. Ponadto charakteryzuje się dostępnością mocy odpowiednią do fazy szkolenia:

- moc może być fizycznie ograniczona do 312 SHP w fazie treningu początkowego (ang. *flex power*);
- 456 SHP dla startu i 380 SHP dla maksymalnego przelotu zapewnia doskonały stosunek mocy do masy i chwilową nadwyżkę mocy podczas normalnych operacji;
- 5-łopatowe śmigło MT o stałej prędkości;
- jedyny samolot w swojej klasie certyfikowany zgodnie z najnowszymi wymogami odporności zderzeniowej FAR 23;
- najbardziej przestronne siedzenia obok siebie w swojej klasie. Uczeń-pilot może siedzieć w fotelu pilota z lewej lub prawej strony, oba z indywidualną manetką gazu;
- solidne chowane podwozie zoptymalizowane pod kątem trudnych warunków treningowych.

Omawiany samolot to całkowicie kompozytowy płatowiec o żywotności 15 000 godzin lotu. Jest lekki, odporny na korozję i zmęczenie oraz łatwy do naprawy. Jego bezkonkurencyjnie niski całkowity koszt cyklu życia wymaga mniejszych nakładów na konserwację<sup>10</sup>.

Konstrukcja samolotu G 120 zapewnia łatwy dostęp do silnika, awioniki i systemów sterowania, jest kluczem do prostej i ekonomicznej obsługi i konserwacji. Większość głównych podzespołów tego samolotu praktycznie w ogóle nie wymaga serwisowania. Grob oferuje wsparcie w zakresie części zamiennych na całym świecie z magazynu ulokowanego w Niemczech za pośrednictwem internetowego systemu przetwarzania zamówień. Firma Grob Aircraft zapewnia sprawny serwis oparty na wirtualnym magazynie, zarządzanym internetowo. Współpraca z różnymi dostawcami usług logistycznych zapewnia szybkie dostawy. W bezpiecznym obszarze, z indywidualnym loginem, można monitorować status swoich zamówień i inne problemy, takie jak biuletyny serwisowe (ang. *service bulletins* – SB) dotyczące statków powietrznych lub eksploatowanej floty Grob Aircraft<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> <https://grob-aircraft.com/en/g-120tp.html> [dostęp: 12.09.2022].

<sup>11</sup> <https://grob-aircraft.com/en/g-120-general.html> [dostęp: 12.09.2022].

## 5. CYFROWY KOKPIT

O możliwościach szkoleniowych i sukcesie platform szkolenia lotniczego decyduje wyposażenie awioniczne. Cyfrowy kokpit z wyświetlaczami ciekłokrystalicznymi wprowadzany jest od pierwszych etapów szkolenia, aby uniknąć dodatkowych godzin szkolenia przy przechodzeniu na większe i bardziej wyrafinowane technicznie maszyny szkoleniowe i bojowe. Cyfrowy kokpit G 120TP zapewnia pełne możliwości treningowe. Wyposażony jest w unikalny i nowoczesny system symulacji misji o otwartej architekturze, co umożliwia szkolenie uczniów-pilotów od początkowych etapów szkolenia lotniczego. Wraz z postępowaniem umiejętności szkolonych pilotów dostępne są misje taktyczne z symulacjami w powietrzu, wcześniej możliwe tylko na lekkich тренаżerach turbośmigłowych i/lub o wysokich osiągnięciach. Umożliwia to poprawę jakości szkoleń przy jednoczesnej ogromnej oszczędności kosztów cyklu życia.

Cyfrowy kokpit to wysoce skuteczny i tani sposób szkolenia studentów lotnictwa w zakresie korzystania z awioniki misji helikopterów i samolotów transportowych. Kursant może zaplanować misję i obsługiwać elementy systemu za pomocą rzeczywistych lub symulowanych przełączników panelowych, identycznych z samolotami zaawansowanej misji. Wyświetlacze i działanie radaru są imitowane, aby dać uczestnikom szkolenia wszechstronne zrozumienie działania systemu.

Monitorowanie pracy szkolonego przez instruktora-pilota w kokpicie obok siebie odbywa się z łatwością. Śledząc działania szkolonego w całym kokpicie, instruktor-pilot może również korzystać z tych samych elementów sterujących i wyświetlaczy, aby zademonstrować każdy etap szkolenia (fot. 4).



Fot. 4. Widok ogólny kokpitu Grob 120TP

Źródło: <https://grob-aircraft.com/en/g-120tp.html> [dostęp: 20.09.2022].

Kokpit Grob 120TP wyposażony jest w najnowocześniejszą awionikę, umożliwiającą płynne przejście na nowoczesne platformy szkoleniowe, w tym główny wyświetlacz lotu, dla lotów VFR i IFR w warunkach bez oblodzenia.

Awionika oparta jest na czterech kolorowych wielofunkcyjnych wyświetlaczach (ang. *multi-function display* – MFD) Genesis Aerosystems IDU-680 EFIS, specjalnie przystosowanych do 120TP. Uczeń może siedzieć na lewym lub prawym miejscu (zwykle

po prawej). Dwie pary MFD są w pełni konfigurowalne, a między nimi znajduje się wskaźnik położenia w stanie gotowości. Samolot jest również wyposażony w autopilota i wysokościomierz radarowy, a system jest „świadomy terenu”, wyświetlając topografię na głównym wyświetlaczu przyrządów pokładowych<sup>12</sup>.

Awionika obejmuje wizję syntetyczną, zintegrowany system FMS z nawigacją 3D, symbolikę wyświetlacza przeziernego (ang. *head up display* – HUD) podobną do myśliwca, a także konwencjonalne instrumenty szkoleniowe, zintegrowane ostrzeganie o zagrożeniach za pomocą TAWS (ang. *terrain awareness and warning system*) i systemu antykolizyjnego (ang. *traffic alert and collision avoidance system* – TCAS), zintegrowane zarządzanie radiem i dźwiękiem, cyfrowe nagrywanie lotu i zestaw kompaktowych, lekkich czujników. Całkowicie cyfrowy system ma również otwartą architekturę, aby umożliwić użytkownikowi końcowemu lub stronie trzeciej dostosowanie do szkoleń i misji specjalnych<sup>13</sup>.

Genesys Aerosystems jest wiodącym dostawcą zintegrowanych systemów awioniki dla klientów rządowych i cywilnych. Awionika Genesys Aerosystems może być oferowana pojedynczo lub zintegrowana w celu zapewnienia całego kokpitu. Jego syntetyczny elektroniczny system przyrządów pokładowych (ang. *electronic flight instrument system* – EFIS) zrewolucjonizował bezpieczeństwo w operacjach na niskich wysokościach i jest obecnie zatwierdzony w ponad 700 modelach samolotów i śmigłowców<sup>14</sup>.

Dostępne funkcje bezpieczeństwa obejmują system informowania o ruchu (ang. *traffic advisory system* – TAS), cyfrowe dane lotu i rejestrator rozmów w kabinie (ang. *flight data and cockpit voice recorder* – FDR; CVR) oraz system podsumowania misji (ang. *mission debriefing system* – MDS). Główny wyświetlacz pokładowy (ang. *primary flight display* – PFD), w wariancie z cyfrowym lub okrągłym wyświetlaczem tarczowym, który jest unikalny dla tej klasy samolotów szkolnych.

Indonezyjskie Siły Powietrzne jako pierwsze złożyły zamówienie w firmie Grob Aircraft na dostawę 18 samolotów szkolno-treningowych G 120TP we wrześniu 2011 r. Indonezyjski G 120TP wyposażony jest w zestaw awioniki Cockpit 4000 firmy Esterline Technologies. Cockpit 4000 to w pełni zintegrowany pakiet awioniki, zawierający dwa główne wyświetlacze lotów AMLCD, wyświetlacz sytuacji taktycznej, komunikację/nawigację, zarządzanie silnikiem, zarządzanie magazynami, system unikania kolizji, system wykrywania pogody i wirtualny system szkolenia taktycznego (ang. *virtual tactical training system* – VTTS).

VTTS składa się z wirtualnego radaru, wirtualnego odbiornika ostrzegającego przed radarem, wyświetlacza sytuacji taktycznej, systemu zarządzania wirtualnymi magazynami i wirtualnego panelu aktywacji awioniki, podobnego do tych stosowanych w myśliwcach na pierwszej linii. Symulacja G 120TP o otwartej architekturze

<sup>12</sup> D. Jones, *Grob: Gliders, Trainers... and ISR*, dz. cyt., s. 14.

<sup>13</sup> <https://genesys-aerosystems.com/news/us-army-training-aircraft-to-feature-genesys-aerosystems-glass-cockpit> [dostęp: 12.09.2022].

<sup>14</sup> Tamże.

zapewnia idealne rozwiązanie szkoleniowe dla uczniów-pilotów przechodzących wstępne i podstawowe szkolenie lotnicze<sup>15</sup>.

Wirtualny system szkolenia zwiększa bezpieczeństwo lotu, minimalizując rozmieszczenie dodatkowych samolotów szkolno-treningowych lub systemu uzbrojenia operacyjnego w przestrzeni powietrznej szkolenia ze względu na wirtualne cele<sup>16</sup>.

## 6. UŻYTKOWNICY G 120TP

Grob Aircraft jest jednym z największych i najbardziej doświadczonych na świecie producentów samolotów kompozytowych od 1971 r. Od początku swojej działalności Grob dostarczył ponad 3500 samolotów, które spędziły ponad siedem milionów godzin w powietrzu na pięciu kontynentach. Gama produktów ewoluowała od pionierskich szybowców z lat 70., bijących rekordy samolotów wysokościowych z lat 80. i 90., po najnowocześniejsze samoloty szkoleniowe i do zadań specjalnych<sup>17</sup>.

Flota samolotów G 120TP została pozyskana przez siły powietrzne, takie jak: RAF, Królewskie Siły Powietrzne Jordanii, Siły Powietrzne Birmy, Siły Powietrzne Argentyny, Meksykańskie Siły Powietrzne, Siły Powietrzne Bangladeszu, Siły Powietrzne Ekwadoru, Siły Powietrzne Etiopii, Siły Powietrzne Indonezji, Siły Powietrzne Kenii, Siły Powietrzne Szwecji. W sumie do roku 2021 firma Grob Aircraft dostarczyła ponad 150 samolotów Grob G 120TP do ich klientów i ponad 14 różnych operatorów na całym świecie.

O jakości platformy szkolenia lotniczego G 120TP świadczy, że Siły Zbrojne Stanów Zjednoczonych wybrały G 120TP do realizacji szkolenia wstępnego i okresowego dla ponad 600 pilotów US Army i US Air Force rocznie, obejmujących konwersję pilotów śmigłowcowych na samoloty (o skrzydłach stałych). Kompleksowy program szkoleniowy „Army Fixed Wing” będzie również obejmował szkolenie lotnicze zapewniane przez CAE oraz Grob Aircraft, które wygrały kontrakt na przejście wojskowych lotników z wiroplątami i szkolenie studentów wojskowych strumienia pilot samolotu. Będą oni korzystać z sześciu nowych samolotów Grob G120TP, które zostaną nabyte przez CAE. Ponadto CAE zaprojektuje i wyprodukuje dwa urządzenia do szkolenia lotniczego Grob G120 TP oraz zestaw stacjonarnych trenażerów i materiałów szkoleniowych do obsługi programu szkoleniowego. Nowe centrum szkolenia zostanie wybudowane na lotnisku Dothan w Alabamie, w pobliżu Centrum Doskonałości Lotnictwa Armii USA (ang. *U.S. Army’s Aviation Center of Excellence – USAACE*) w Fort Rucker<sup>18</sup>. Niemieckie Siły Zbrojne od 2021 r. wybrały samolot G 120TP do szkolenia pilotów sił powietrznych na lotnisku Phoenix-Goodyear w Arizonie. To następne siły powietrzne na świecie, które wybrały tę platformę i nowoczesne trenażery do szkolenia

<sup>15</sup> <https://www.airforce-technology.com/projects/grob-g-120tp-german-trainer-aircraft/> [dostęp: 12.11.2022].

<sup>16</sup> Tamże.

<sup>17</sup> <https://genesys-aerosystems.com/news/us-army-training-aircraft-to-feature-genesys-aerosystems-glass-cockpit> [dostęp: 12.11.2022].

<sup>18</sup> <http://www.marketwatch.com/story/cae-usa-wins-us-army-contract-to-provide-comprehensive-training-for-fixed-wing-pilots-2015-06-04-121735237> [dostęp: 12.09.2022].

pilotów wojskowych i kolejny sukces firmy H3 Grob Aircraft SE. Kontrakt obejmuje 1300 godzin lotów rocznie i będzie realizowany przez H3 Grob Aircraft SE w Stanach Zjednoczonych<sup>19</sup>.

Od 30 lat w Arizonie działa 3 Eskadra Szkolenia Lotniczego Niemieckich Sił Powietrznych (ang. *3 German Air Force Flying Training Squadron*). Zaczęła ona działalność w 1990 r. od szkolenia selekcyjnego na samolotach Beechcraft F-33A „Bonanza”, po czym wraz z wprowadzeniem Grob G 120A w 2001 r. realizowała wstępne szkolenie w powietrzu. Zmiana zakresu szkolenia z selekcji na szkolenie wstępne była możliwa dzięki zmianie procesu selekcji pilotów wojskowych w niemieckich siłach zbrojnych. Selekcja odbywa się teraz na ziemi za pomocą baterii testów umiejętności i symulatorów lotniczych. Początkowo usługa ta była świadczona przez Airline Training Center Arizona (ATCA), które w 2017 r. zmieniło nazwę na Lufthansa Aviation Training USA (LAT USA). Jednym z celów połączenia szkolenia selekcyjnego i wstępnego, w jednej bazie, było ujednoczenie szkolenia wszystkich przyszłych pilotów w niemieckich siłach zbrojnych<sup>20</sup>.

Cechy Grob G 120TP (w Wielkiej Brytanii nazwanego Prefect T 1), takie jak silnik turbośmigłowy o wysokich osiągnięciach, cyfrowa awionika i chowane podwozie oraz nowa organizacja szkolenia, sprawiły, że jest on wprowadzany do wczesnych etapów szkolenia lotniczego w wielu krajach, w tym do brytyjskiego systemu szkolenia lotniczego pilotów wojskowych (ang. *military flight training system – MFTS*). Wykorzystywany jest w szkoleniu strumieniowym uczniów przechodzących do szkolenia na śmigłowcu Juno, samolotu Texan II czy wielosilnikowej platformy Phenom. Według brytyjskich pilotów pozwala to wyeliminować potrzebę uczenia się latania w szklanym kokpicie na późniejszym etapie szkolenia i ustanawia precedens od szkolenia podstawowego aż do samolotów docelowych (fot. 5)<sup>21</sup>.



Fot. 5. Samolot Grob 120TP (Prefect T 1) używany w szkoleniu RAF

Źródło: <https://www.raf.mod.uk/aircraft/prefect-t1/> [dostęp: 17.12.2022].

<sup>19</sup> K. Urbanová, *Another great accomplishment of the Grob G 120TP*. Za: <https://aero-space.eu/2021/03/16/another-great-accomplishment-of-the-grob-g%E2%80%AF120tp/> [dostęp: 12.09.2022].

<sup>20</sup> Tamże.

<sup>21</sup> D. Bogusz, *Selekcja i szkolenie lotnicze pilotów wojskowych w Wielkiej Brytanii*, LAW, Dęblin 2021, s. 172.



Królewskie Siły Powietrzne w zakresie systemu szkolenia pilotów samolotów odrzutowych, w ramach UKMFTS, od 2017 r. szkolą swoich przyszłych pilotów Eurofighterów tylko na samolocie Grob G 120TP i Hawk, zanim przejdą na Typhoona. Przed wprowadzeniem platformy szkoleniowej G 120TP szkoleni byli na samolocie Grob G115, Tucano i Hawk. Początkowo brytyjski system szkolenia został skonstruowany dla pilotów szybkich odrzutowców, zakładając szkolenie na samolotach G 120TP, Texan T-6C, a następnie Hawk T2. Jednak doświadczenia szkoleniowe RAF doprowadziły do wniosku, że platforma Grob G 120TP może przejąć program szkolenia T-6C, dlatego wprowadzono tę zmianę dla przyszłych pilotów Eurofighterów. Tylko przyszli piloci F-35 nadal latają programem nauczania z wykorzystaniem Texan T-6C. W przypadku pilotów na samolot docelowy Typhoon strata czasu na szkolenie przejściowe jest mniejsza, ponieważ nie zrezygnowano z dodatkowego samolotu w drodze do samolotu operacyjnego<sup>22</sup>.

Brytyjczycy wykorzystują do szkolenia pilotów wojskowych rozwiązania proponowane przez firmę Grob. Flota starszych samolotów Grob 115 E (Grob Tutor T.Mk 1) służyła do szkolenia podstawowego pilotów wojskowych, a obecnie jest wykorzystywana przez Królewskie Siły Powietrzne do podstawowego szkolenia lotniczego w uniwersyteckich dywizjonach lotniczych (ang. *university air squadron* – UAS) oraz organizacjach kadeckich, które stanowią źródło rekrutacji do RAF i lotnictwa wojskowego w Wielkiej Brytanii.

Większość sił powietrznych na świecie przechodzi na szkolenie na platformach typu Grob 120TP, gwarantujących skrócenie czasu szkolenia i zastosowanie od pierwszych etapów szkolenia awioniki cyfrowej. Z drugiej strony, odpowiedzialni za kreowanie zdolności sił powietrznych w niektórych krajach nadal nie akceptują takiej rzeczywistości i szkolą według starego, tradycyjnego programu nauczania, który obejmuje około 80 godzin lotu i roczny czas szkolenia praktycznego na samolocie Cessna C-182 przed rozpoczęciem szkolenia na platformach typu G 120TP.

W 2017 r. w ośrodku szkolenia Grob Aircraft zrealizowano próbny program szkoleniowy dla dwóch studentów z niewymienionych z nazwy sił powietrznych<sup>23</sup> i przeszkolono ich w ciągu 4 tygodni w Niemczech na samolocie G 120TP w programie wstępnym (ang. *initial flight training syllabus*) na systemie szkoleniowym G 120TP. Program obejmował szkolenie teoretyczne, 15 lotów na symulatorze, szkolenie w zakresie podtrzymywania życia (tlen i spadochron) oraz 5 lotów szkoleniowych przed lotem samodzielnym pod nadzorem. Według opinii specjalistów z Grob Aircraft te 4 tygodnie zrekomensowały roczne szkolenie na samolocie Cessna C-182 bez uwzględnienia zbędnego szkolenia, które zwykle odbywa się w wyniku przejścia z samolotu z silnikiem tłokowym na turboodrzutowy<sup>24</sup>.

<sup>22</sup> *Only a complete training system can make a difference. Interview with Thomas (Tom) Reinert, H3 Grob Aircraft SE Chief Pilot by Jakub Fojtík*, <https://aero-space.eu/2020/09/14/only-a-complete-training-system-can-make-a-difference/> [dostęp: 12.09.2022].

<sup>23</sup> Należy się domyślać, że były to kraje Ameryki Południowej lub Środkowej, które użytkują platformę G 120TP.

<sup>24</sup> *Only a complete training system can make a difference...*, dz. cyt.

## 7. WNIOSKI

System szkolenia lotniczego Grob G 120TP jest jednym z najnowocześniejszych rozwiązań szkolenia lotniczego. Wykorzystuje go wiele sił powietrznych na świecie. Producent zapewnia wsparcie w trakcie eksploatacji samolotu i inne lotnicze urządzenia szkoleniowe.

G 120TP powstał w odpowiedzi na zapotrzebowanie rynku szkolenia lotniczego na niewymagający skomplikowanej konserwacji i serwisowania samolot szkoleniowy, zapewniający zwiększone możliwości szkoleniowe. W przypadku transportu w odległe miejsca, aby można je było dostarczyć drogą lotniczą, dwa rozmontowane samoloty zmieszczą się w standardowym 40-stopowym kontenerze.

Koncepcja szkolenia Grob Aircraft umożliwia redukcję różnych platform w treningu pilotów wojskowych. Samolot Grob G 120TP może zastąpić szkolenie realizowane wcześniej na samolotach tłokowych i lekkich szkolnych odrzutowcach. Przykład Wielkiej Brytanii pokazuje, jak skrócić czas na szkolenie przejściowe, dzięki zastosowaniu G 120TP i wyeliminowaniu dodatkowego samolotu w drodze do docelowego samolotu operacyjnego. Dodatkowo, kompletny system treningowy przynosi korzyści finansowe dzięki możliwości przenoszenia szkolenia między samolotem a symulatorem.

Artykuł zidentyfikował najnowsze rozwiązania szkolenia lotniczego na przykładzie platformy G 120TP. Szkolenie lotnicze oparte na jednym systemie szkolenia z wsparciem producenta redukuje czas i koszty treningu pilotów wojskowych. Szkolenie naziemne na symulatorach różnej klasy zapewnia przygotowanie pilotów do lotów praktycznych według zasady stopniowania trudności. Dodatkowo, kompletny system treningowy, oprócz korzyści finansowych, zmniejsza wykuszalność (odsiew) wśród szkolonych pilotów.

## BIBLIOGRAFIA

### Artykuły i monografie

Bogusz D., *Selekcja i szkolenie lotnicze pilotów wojskowych w Wielkiej Brytanii*, LAW, Dęblin 2021.

Bogusz D., *Szkolenie selekcyjne kandydatów na pilotów wojskowych w Siłach Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej*, LAW, Dęblin 2020.

Cieślak E., *Szkolenie personelu latającego Sił Zbrojnych RP w świetle doświadczeń innych państw*, „Bellona” 2015, nr 4.

Glen A., Kott G., *Podstawy poznawcze systemu reagowania państwa na zagrożenia terroryzmem lotniczym*, [w:] *Reagowanie państwa na zagrożenia terroryzmem lotniczym*, red. A. Glen, AON, Warszawa 2010.

Glen A., *Podstawy poznania bezpieczeństwa podmiotu*, UPH, Siedlce 2021.

Jones D., *Grob: Gliders, Trainers... and ISR*, „Military Simulation & Training Magazine” 2018, nr 35.

*Only a complete training system can make a difference. Interview with Thomas (Tom) Reinert, H3 Grob Aircraft SE Chief Pilot by Jakub Fojtík, <https://aero-space.eu/2020/09/14/only-a-complete-training-system-can-make-a-difference/>.*

Rajchel J., *System szkolenia podstawowego Sił Powietrznych RP, Projekt NEPTUNE, Fundacja Bezpieczeństwa i Rozwoju Stratpoints, Warszawa 2018.*

#### Źródła internetowe

---

[www.aero-space.eu](http://www.aero-space.eu) [dostęp: 29.09.2022].

[www.airforce-technology.com](http://www.airforce-technology.com) [dostęp: 12.11.2022].

[www.bluetoad.com](http://www.bluetoad.com) [dostęp: 16.10.2022].

[www.easy-lms.com](http://www.easy-lms.com) [dostęp: 29.09.2022].

[www.genesys-aerosystems.com](http://www.genesys-aerosystems.com) [dostęp: 12.09.2022].

[www.grob-aircraft.com](http://www.grob-aircraft.com) [dostęp: 12.09.2022].

[www.ispring.pl](http://www.ispring.pl) [dostęp: 2.11.2022].

[www.marketwatch.com](http://www.marketwatch.com) [dostęp: 12.09.2022].

[www.raf.mod.uk](http://www.raf.mod.uk) [dostęp: 17.12.2022].



**Małgorzata WILCZYŃSKA**

 Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna  
 im. ks. Bronisława Markiewicza w Jarosławiu  
 e-mail: malgorzata.wilczynska@pwste.edu.pl  
 ORCID: 0000-0002-1969-3498

DOI: 10.55676/asi.v3i1.13

## NIEPRAWIDŁOWOŚCI W PROCESIE UDZIELANIA ZAMÓWIEŃ PUBLICZNYCH WSPÓŁFINANSOWANYCH ŚRODKAMI Z BUDŻETU UNII EUROPEJSKIEJ

IRREGULARITIES IN THE PROCESS OF AWARDING PUBLIC CONTRACTS  
CO-FINANCED BY RESOURCES FROM THE BUDGET OF THE EUROPEAN UNION

### Streszczenie

Prawidłowo i rzetelnie funkcjonujący system zamówień publicznych zapewnia bezpieczeństwo ekonomiczne państwa, ponieważ wydatki środków publicznych realizowane są w sposób oszczędny, gospodarny, przejrzysty i efektywny. Zagadnienia dotyczące udzielania zamówień publicznych współfinansowanych środkami z budżetu Unii Europejskiej są niezwykle istotne z punktu widzenia gospodarki krajowej. Ze względu na wielkość rynku zamówień publicznych i liczbę prowadzonych rocznie zamówień nieuniknione jest wystąpienie nieprawidłowości przy udzieleniu zamówień. Zasady i tryb udzielania zamówień publicznych, środki ochrony prawnej, zasady nadzoru i kontroli udzielania zamówień publicznych, zasady dotyczące umowy zawartej w wyniku przeprowadzonego postępowania określone zostały w przepisach ustawy Prawo zamówień publicznych. Zamówienia publiczne są sformalizowane. Zarówno zamawiający, jak i wykonawca muszą działać w określony sposób i spełniać wymagania zdefiniowane w przepisach. Ważnym zadaniem dla beneficjentów środków UE pozostaje przestrzeganie obowiązujących zasad udzielania zamówień publicznych. W związku z powyższym, istotnym problemem badawczym pozostaje identyfikacja nieprawidłowości występujących na poszczególnych etapach zamówień publicznych. Celem artykułu była prezentacja podstawowych nieprawidłowości związanych z procedurami udzielania zamówień publicznych współfinansowanych ze środków z budżetu UE. W publikacji przedstawiono podstawy prawne regulujące proces udzielania zamówień publicznych oraz system kontroli i nadzoru nad ich udzielaniem.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo ekonomiczne, nieprawidłowości, zamówienia publiczne, środki z budżetu UE

### Abstract

A properly and reliably functioning system of public procurement ensures the economic security of the state because the expenditure of public funds is carried out in an economical, economic, transparent and effective manner. Issues related to the award of public contracts co-financed by the resources from the budget of the European Union are extremely important from the point of view of the domestic economy. Due to the size of the public procurement market and the number of contracts carried out annually, it is inevitable that procurement irregularities will occur. The rules and procedure for awarding public contracts, legal remedies, rules for supervision and control of public procurement, rules for the contract concluded as a result of the conducted procedure are specified in the provisions of the Government Procurement in Poland. Public procurement is formalized. Both the contracting authority and the economic operator must act in a specific way and meet the requirements defined in the regulations. An important task for the beneficiaries of EU funds is to comply with the applicable rules of public procurement. In connection with the above, an important research problem remains the identification of irregularities occurring at individual stages of public procurement. The aim of the article is to present the basic irregularities related to the procedures for awarding public contracts co-financed from the EU budget. The article presents the legal basis regulating the process of awarding public contracts and the system of control and supervision over giving them.

**Keywords:** economic security, irregularities, public procurement, funds from the EU budget

## 1. WSTĘP

Zamówienia publiczne to niezwykle dynamicznie rozwijający się instrument ekonomiczny, wykorzystywany w szeroko pojętej administracji publicznej, jak również w przedsiębiorstwach komercyjnych. Rynek zamówień publicznych w Polsce to jeden z największych rynków pod względem ilości zawieranych kontraktów oraz ich wartości<sup>1</sup>. Wartość udzielonych zamówień publicznych z zastosowaniem przepisów ustawy Prawo zamówień publicznych w 2021 r. wyniosła 184,6 mld zł (w 2020 r. – 183,5 mld zł), co stanowiło ok. 7,04% produktu krajowego brutto (PKB) w 2021 r. (szacunek PKB GUS: 2 622,184 mld zł). Liczba zamówień udzielonych z zastosowaniem przepisów ustawy Prawo zamówień publicznych w 2021 r. to 129 662 zamówienia (w 2020 r. – 135 048)<sup>2</sup>.

Zamówienia publiczne to kluczowa forma udziału sektora publicznego w gospodarce. Według danych Komisji Europejskiej wydatki na zamówienia publiczne stanowią 19% PKB Unii Europejskiej, co daje kwotę 2,3 biliona euro rocznie. W przypadku polskiej gospodarki udział zamówień publicznych w PKB to co najmniej 10%, a kwota – około 200 miliardów złotych (tyle corocznie wydają publiczni zamawiający na towary i usługi kupowane w systemie zamówień publicznych)<sup>3</sup>.

Ze względu na wielkość rynku zamówień publicznych i liczbę prowadzonych rocznie zamówień nieuniknione jest wystąpienie sytuacji związanych z hipotetycznym zagrożeniem korupcyjnym lub ujawniających nieefektywność systemu zamówień publicznych, czy też z wystąpieniem nieprawidłowości przy udzielaniu zamówień. Celem artykułu była prezentacja podstawowych nieprawidłowości związanych z procedurami udzielania zamówień publicznych współfinansowanych ze środków z budżetu Unii Europejskiej. W publikacji przedstawiono podstawy prawne regulujące proces udzielania zamówień publicznych oraz system kontroli i nadzoru nad ich udzielaniem. Rozważaniami objęto również nieprawidłowości stwierdzone w toku kontroli Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych (dalej: Prezes UZP), dokonano analizy Sprawozdania Prezesa UZP z funkcjonowania systemu zamówień publicznych oraz Sprawozdania Komisji dla Parlamentu Europejskiego i Rady – 32 Sprawozdanie roczne dotyczące ochrony interesów finansowych Unii Europejskiej i zwalczania nadużyć finansowych. Zamówienia publiczne to umowy cywilnoprawne zawierane z zastosowaniem odpowiedniego trybu pomiędzy podmiotami dysponującymi środkami publicznymi a dostawcami towarów, usług, wykonawcami robót budowlanych. Termin »zamówienie publiczne« oznacza odpłatną umowę zawieraną między zamawiającym a wykonawcą, czyli podmiotem, który oferuje zamawiającemu roboty budowlane, usługi lub dostawy. Najważniejszym obowiązującym obecnie polskim aktem prawnym, regulującym funkcjonowanie zamówień publicznych jest ustawa Prawo zamówień publicznych.

<sup>1</sup> A. Borowiec, *System kontroli zamówień publicznych w Polsce w świetle badań empirycznych*, „Przegląd Organizacji” 2015, nr 10(909), s. 26.

<sup>2</sup> Sprawozdanie Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych z funkcjonowania systemu zamówień publicznych w 2021 r., Urząd Zamówień Publicznych, Warszawa, czerwiec 2022 r., s. 7.

<sup>3</sup> *Najważniejsze reguły zamówień publicznych*, <https://www.biznes.gov.pl/pl/portals/00223#1> [dostęp: 24.10.2022].

1 stycznia 2021 r. weszło w życie nowe Prawo zamówień publicznych<sup>4</sup>. System udzielania zamówień publicznych, a także nadzoru i kontroli w zakresie obowiązujących procedur określony został w Ustawie z dnia 11 września 2019 r. Prawo zamówień publicznych (dalej: ustawa Prawo zamówień publicznych). Ustawa określa zasady i tryb udzielania zamówień publicznych, środki ochrony prawnej, kontrolę udzielania zamówień publicznych oraz organy właściwe w sprawach uregulowanych w tej ustawie. System zamówień publicznych opisuje szczegółowe procedury, według których zamawiający mogą dokonywać zakupów.

Uchwalenie nowego aktu prawnego regulującego kompleksowo udzielanie zamówień publicznych ma służyć przede wszystkim wprowadzeniu nowych rozwiązań opartych na maksymalnej efektywności i przejrzystości udzielanych zamówień publicznych, uwzględniających jednocześnie rolę zamówień publicznych w kształtowaniu polityki państwa oraz potrzebę wsparcia rozwoju małych i średnich przedsiębiorstw, a także innowacyjnych, nowoczesnych produktów i usług<sup>5</sup>.

Zamówienia publiczne to wybór najkorzystniejszej oferty pod względem cenowym i jakościowym. Zajmują niezwykle istotną pozycję w życiu gospodarczym, dlatego też stały się one przedmiotem regulacji prawnych rangi zarówno europejskiej, jak i krajowej. Zamówienia publiczne regulują także inne akty prawne, w tym dotyczące<sup>6</sup>:

- gospodarowania środkami publicznymi – ustawa o finansach publicznych<sup>7</sup>;
- zawierania umów – Kodeks cywilny<sup>8</sup>;
- postępowania administracyjnego – Kodeks postępowania administracyjnego<sup>9</sup>;
- nieuczciwej konkurencji – ustawa o zwalczaniu nieuczciwej konkurencji<sup>10</sup>;
- prawa budowlanego – ustawa Prawo budowlane<sup>11</sup>;
- cen towarów i usług – ustawa o informowaniu o cenach towarów i usług<sup>12</sup>;
- dostępu do informacji publicznej – ustawa o dostępie do informacji publicznej<sup>13</sup>;
- ochrony informacji niejawnych – ustawa o ochronie informacji niejawnych<sup>14</sup>.

Uwzględniając powyższe, należy stwierdzić, że tematyka zamówień publicznych zawiera bardzo dużo regulacji. Podstawowymi aktami prawnymi regulującymi zagadnienia z dziedziny zamówień publicznych na poziomie unijnym są dyrektywy

<sup>4</sup> Ustawa weszła w życie z dniem 1 stycznia 2021 r. na podstawie art. 1 Ustawy z dnia 11 września 2019 r. Przepisy wprowadzające ustawę Prawo zamówień publicznych (Dz.U. poz. 2020), która weszła w życie z dniem 1 stycznia 2021 r.; Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 18 maja 2021 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy Prawo zamówień publicznych, ISAP, Ustawa z dnia 11 września 2019 r. Prawo zamówień publicznych (Dz.U. z 2022 r., poz. 1710 ze zm.).

<sup>5</sup> J. Kola, *Nowe Prawo zamówień publicznych – podręcznik dla małych i średnich przedsiębiorców*, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Warszawa 2020, s. 9.

<sup>6</sup> *Prawo zamówień publicznych. Regulacje. Prawo krajowe*, <https://www.uzp.gov.pl/baza-wiedzy/prawo-zamowien-publicznych-regulacje/prawo-krajowe/inne-przepisy> [dostęp: 24.10.2022].

<sup>7</sup> Ustawa z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych (Dz.U. z 2022 r., poz. 1634).

<sup>8</sup> Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. Kodeks cywilny (Dz.U. z 2022 r., poz. 1360).

<sup>9</sup> Ustawa z dnia 14 czerwca 1960 r. Kodeks postępowania administracyjnego (Dz.U. z 2022 r., poz. 2000).

<sup>10</sup> Ustawa z dnia 16 kwietnia 1993 r. o zwalczaniu nieuczciwej konkurencji (Dz.U. z 2022 r., poz. 1233).

<sup>11</sup> Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. z 2022 r., poz. 1557).

<sup>12</sup> Ustawa z dnia 9 maja 2014 r. o informowaniu o cenach towarów i usług (Dz.U. z 2019 r., poz. 178).

<sup>13</sup> Ustawa z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (Dz.U. z 2022 r., poz. 902).

<sup>14</sup> Ustawa z dnia 5 sierpnia 2010 r. o ochronie informacji niejawnych (Dz.U. z 2019 r., poz. 742; z 2022 r., poz. 655, 1933).

i rozporządzenia. Wśród aktów prawa Unii Europejskiej należą wskazać: dyrektywy Parlamentu Europejskiego, rozporządzenia Komisji Europejskiej, decyzje Komisji Europejskiej, komunikaty Komisji Europejskiej, a także uregulowania zamieszczone w Zielonej Księdze (ang. *green paper*)<sup>15</sup>. Mając na uwadze, że:

środki pochodzące z funduszy unijnych, aby mogły zostać uznane za kwalifikowalne, muszą być ponoszone z zachowaniem zasady uczciwej konkurencji, efektywności, jawności, przejrzystości oraz równego traktowania wykonawców. Wnioskodawca i beneficjent dokonując zakupu towarów lub usług od podmiotów powiązanych z nim osobowo lub kapitałowo, powinien zachować należytą ostrożność i minimalizować ryzyko konfliktu interesów. W związku z tym, jeżeli przy udzielaniu zamówienia stwierdzone zostaną takie powiązania, które budzą wątpliwości co do zachowania wymienionych zasad oraz nie zostaną przedstawione wyjaśnienia jednoznacznie potwierdzające przestrzeganie powyższych zasad, wydatek zostanie uznany za niekwalifikowany<sup>16</sup>.

Ważnym zadaniem dla beneficjentów środków UE pozostaje przestrzeganie obowiązujących zasad udzielania zamówień publicznych. Zgodnie z art. 5 ustawy o zasadach prowadzenia polityki rozwoju beneficjent to osoba fizyczna, osoba prawna lub jednostka organizacyjna nieposiadająca osobowości prawnej, której ustawa przyznaje zdolność prawną, realizującą projekty finansowane z budżetu państwa lub ze źródeł zagranicznych na podstawie decyzji lub umowy o dofinansowanie projektu<sup>17</sup>.

## 2. SYSTEM KONTROLI I NADZORU ZAMÓWIEŃ PUBLICZNYCH

System udzielania zamówień publicznych, a także nadzoru i kontroli w zakresie obowiązujących procedur określony został w ustawie Prawo zamówień publicznych. Konstrukcja systemu kontroli zamówień publicznych ma zapobiegać nadużyciom, co jest najczęściej rozumiane jako ustalanie legalności działań podejmowanych przy wydatkowaniu środków publicznych. System kontroli, poza ustaleniem, czy dane działania zostały podjęte zgodnie lub niezgodnie z ustawą Prawo zamówień publicznych czy dyscypliną finansów publicznych, powinien przyczyniać się także do wzrostu efektywności (w tym także w perspektywie długoterminowej) wydatkowania środków publicznych, ale także – co wymaga szczególnego zaakcentowania – pomagać w realizacji długofalowych strategii rozwoju państwa. Beneficjent (jednostka sektora finansów publicznych, podmiot prywatny) realizujący projekt współfinansowany ze środków UE korzysta z dofinansowania ze środków publicznych, w związku z czym jest zobowiązany przestrzegać zasad uczciwej konkurencji i równego traktowania wykonawców. Jeśli uzyska status zamawiającego, ma obowiązek stosowania ustawy Prawo zamówień publicznych.

Beneficjent realizując projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej, korzysta z pieniędzy publicznych i jest zobowiązany do zachowania zasady uczciwej konkurencji

<sup>15</sup> Zielona Księga, [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=LEGISSUM:green\\_paper](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=LEGISSUM:green_paper) [dostęp: 24.10.2022].

<sup>16</sup> A. Wolak, *Konflikt interesów w kontekście funduszy unijnych*, <https://www.gov.pl/web/popcwsparcie/konflikt-interesow-w-kontekscie-funduszy-unijnych> [dostęp: 25.10.2022].

<sup>17</sup> Ustawa z dnia 6 grudnia 2006 r. o zasadach prowadzenia polityki rozwoju (Dz.U. z 2021 r., poz. 1057; z 2022 r., poz. 1079), art. 5.



i równego traktowania wykonawców. Oznacza to, że beneficjent, dokonując wyboru dostawcy usługi lub towaru – w zależności od wartości szacunkowej netto zamówienia – jest zobowiązany zastosować procedurę rozeznania rynku, zasadę konkurencyjności lub jedną z procedur zawartych w ustawie Prawo Zamówień Publicznych<sup>18</sup>.

Zamówienia w projekcie realizowane są w oparciu o Wytyczne, które precyzują działania, jakie należy podjąć w zależności od danego trybu konkurencyjnego. Obowiązki podmiotu prywatnego, który nie ma statusu zamawiającego w rozumieniu Prawa zamówień publicznych, zostały określone w Wytycznych w zakresie kwalifikowalności wydatków w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Europejskiego Funduszu Społecznego oraz Funduszu Spójności na lata 2014-2020. Obowiązki te są uzależnione od wartości udzielanego zamówienia<sup>19</sup>.

Jeśli wartość zamówienia nie przekracza 20 tys. zł netto, beneficjent musi pamiętać i dołożyć starań, aby wydawać środki pieniężne w sposób przejrzysty, racjonalny i efektywny. Przepisy ustawy Prawo zamówień publicznych określają, że do zamówień publicznych współfinansowanych ze środków UE w kwocie od 20 tys. do 50 tys. zł netto ma zastosowanie uproszczona procedura rozeznania rynku – należy dokonać tzw. rozeznania rynku. Ma ono na celu potwierdzenie, że wybór dostawcy/wykonawcy został dokonany w sposób przejrzysty, racjonalny i efektywny, a dana usługa, dostawa lub robota budowlana została wykonana po cenie nie wyższej niż cena rynkowa (cena = jedyne kryterium)<sup>20</sup>. W przypadku wydatków od 20 tys. do 50 tys. zł netto włącznie, tj. bez podatku od towarów i usług (VAT), beneficjenci są zobligowani przeprowadzić rozeznanie rynku i odpowiednio opublikować zapytanie ofertowe na swojej stronie internetowej lub innej powszechnie dostępnej stronie przeznaczonej do umieszczania zapytań ofertowych. Aby udokumentować spełnienie tego warunku, beneficjent powinien przedstawić wydruk zapytania ofertowego zamieszczonego we wskazanym wyżej sposób wraz z otrzymanymi ofertami lub potwierdzenie wysłania zapytania ofertowego do co najmniej trzech potencjalnych wykonawców, o ile na rynku istnieje co najmniej trzech potencjalnych wykonawców danego zamówienia. Wystarczy potwierdzenie poniesienia wydatku w oparciu o fakturę, rachunek lub inny dokument księgowy o równoważnej wartości dowodowej.

Aby wyłonić najkorzystniejszą, wystarczą również wydruki ze stron internetowych z cenami i opisami usług (jeżeli nikt nie odpowiedział na zapytanie zamieszczone na stronie lub wysłane do wykonawców). Pozyskanie jednej oferty nie spełnia wymogów rozeznania rynku. W przypadku zamówień, do których ma zastosowanie procedura rozeznania rynku, zawarcie pisemnej umowy z wykonawcą nie jest wymagane<sup>21</sup>.

W przypadku wydatków, których wartość przekracza 50 tysięcy złotych netto, obowiązuje zasada konkurencyjności, czyli wybór najkorzystniejszej oferty z zachowaniem uczciwej

<sup>18</sup> *Zamówienia w projektach*, <https://www.gov.pl/web/ncbr/zamowienia-w-projektach-power> [dostęp: 31.10.2022].

<sup>19</sup> K. Śliwak, *Udzielanie zamówienia dofinansowanego ze środków funduszy europejskich przez podmiot prywatny*, <https://codozasady.pl/p/udzielanie-zamowienia-dofinansowanego-ze-srodkow-funduszy-europejskich-przez-podmiot-prywatny> [dostęp: 3.11.2022].

<sup>20</sup> *Poznaj zasady udzielania zamówień publicznych*, [https://rpo.wrotapodlasia.pl/pl/realizuje\\_projekt\\_poznaj-zasady-udzielania-zamowien-publicznych.html](https://rpo.wrotapodlasia.pl/pl/realizuje_projekt_poznaj-zasady-udzielania-zamowien-publicznych.html) [dostęp: 31.10.2022].

<sup>21</sup> [https://rpo.wrotapodlasia.pl/pl/realizuje\\_projekt\\_poznaj-zasady-udzielania-zamowien-publicznych.html](https://rpo.wrotapodlasia.pl/pl/realizuje_projekt_poznaj-zasady-udzielania-zamowien-publicznych.html) [dostęp: 31.10.2022].

konkurencji i równego traktowania wykonawców. Beneficjenci, którzy nie są zobowiązani do stosowania przepisów Prawa zamówień publicznych, muszą przeprowadzić postępowanie zgodnie z zasadą konkurencyjności. Jednym z podstawowych wymogów jest upublicznienie zapytania ofertowego na stronie przygotowanej przez Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej – Baza konkurencyjności<sup>22</sup>.

Baza konkurencyjności to narzędzie informatyczne służące realizacji zasady konkurencyjności. To internetowa baza zapytań ofertowych (ogłoszeń), które należy upublicznic zgodnie z zasadą konkurencyjności<sup>23</sup>. Taki obowiązek istnieje od 1 stycznia 2016 r. i dotyczy wszystkich zamówień, których szacunkowa wartość przekracza 50 tys. zł netto. „Każdy beneficjent może założyć konto i bezpłatnie dodać ogłoszenie. Musi ono zawierać m.in. nazwę i dane zamawiającego, termin składania ofert, miejsce i sposób ich składania, opis przedmiotu zamówienia, kryteria oceny oferty czy listę dokumentów wymaganych od potencjalnego wykonawcy”<sup>24</sup>. Treść zapytania ofertowego musi spełniać wymogi określone w Wytycznych oraz Wytycznych opublikowanych przez instytucję zarządzającą programem operacyjnym, w ramach którego realizowany jest projekt, jeśli ta instytucja opracowała takie wytyczne<sup>25</sup>.

Poza tym obowiązkowe jest opisanie przedmiotu zamówienia oraz sposobu dokonywania oceny warunków udziału w postępowaniu (o ile zostaną przewidziane) w sposób określony w Wytycznych. Zamawiający są również zobowiązani sformułować kryteria oceny ofert w sposób zapewniający zachowanie uczciwej konkurencji oraz równe traktowanie wykonawców, przy zachowaniu szczegółowych wymogów określonych w Wytycznych. Wybór najkorzystniejszej oferty, dokonany w oparciu o ustalone w zapytaniu ofertowym kryteria oceny ofert, zamawiający ma obowiązek udokumentować protokołem. Umowę z wykonawcą i protokół postępowania o udzielenie zamówienia należy sporządzić w formie pisemnej<sup>26</sup>.

System kontroli zamówień publicznych określony został w ustawie Prawo zamówień publicznych<sup>27</sup> i stanowi istotny element funkcjonowania rynku zamówień publicznych.

Zamówienia publiczne to kluczowa forma udziału sektora publicznego w gospodarce. Według danych Komisji Europejskiej wydatki na zamówienia publiczne stanowią 19% PKB Unii Europejskiej, co daje kwotę 2,3 biliona euro rocznie. W przypadku polskiej gospodarki udział zamówień publicznych w PKB to co najmniej 10%, a kwota – około 200 miliardów złotych (tyle corocznie wydają publiczni zamawiający na towary i usługi kupowane w systemie zamówień publicznych)<sup>28</sup>.

<sup>22</sup> Baza konkurencyjności, <https://bazakonkurencyjnosci.funduszeuropejskie.gov.pl/> [dostęp: 24.10.2022].

<sup>23</sup> M. Tomczak, P. Myszczńska, *Zamówienia udzielane w ramach projektów. Podręcznik wnioskodawcy i beneficjenta programów polityki spójności 2014–2020*, Ministerstwo Inwestycji i Rozwoju, [https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/84352/zamowienia\\_udzielane\\_w\\_ramach\\_projektow\\_2020.pdf](https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/84352/zamowienia_udzielane_w_ramach_projektow_2020.pdf) [dostęp: 31.10.2022], s. 39.

<sup>24</sup> *Zasady udzielania zamówień publicznych*, <https://bof.org.pl/pl/realizuje-projekt/zasady-udzielania-zamowien-publicznych> [dostęp: 31.10.2022].

<sup>25</sup> Wytyczne Ministra Rozwoju i Finansów w zakresie kwalifikowalności wydatków w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Europejskiego Funduszu Społecznego oraz Funduszu Spójności na lata 2014–2020, [https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/97405/wytyczne\\_w\\_zakresie\\_kwalifikowalnosci\\_wydatkow\\_21\\_12\\_2020\\_1.pdf](https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/97405/wytyczne_w_zakresie_kwalifikowalnosci_wydatkow_21_12_2020_1.pdf) [dostęp: 31.10.2022].

<sup>26</sup> K. Śliwak, *Udzielanie zamówienia dofinansowanego...*, dz. cyt.

<sup>27</sup> Dz.U. z 2022 r., poz. 1710 ze zm.

<sup>28</sup> *Najważniejsze reguły zamówień publicznych*, <https://www.biznes.gov.pl/pl/portal/00223#1> [dostęp: 24.10.2022].

Konstrukcja systemu kontroli zamówień publicznych ma zapobiegać nadużyciom, co jest najczęściej rozumiane jako ustalanie legalności działań podejmowanych przy wydatkowaniu środków publicznych. System kontroli poza ustaleniem, czy dane działania zostały podjęte zgodnie czy niezgodnie z ustawą Prawo zamówień publicznych czy dyscypliną finansów publicznych, powinien przyczyniać się także do wzrostu efektywności (w tym także w perspektywie długoterminowej) wydatkowania środków publicznych, ale także – co wymaga szczególnego zaakcentowania – pomagać w realizacji długofalowych strategii rozwoju państwa. Regulacje dotyczące rynku zamówień publicznych stanowiąc mogą efektywne narzędzie do realizacji aktywnej polityki gospodarczej państwa, np. wspomagać rozwój sektora małych, średnich przedsiębiorstw, sprzyjać innowacyjności i konkurencyjności gospodarki, promować ochronę środowiska, kształtować wzorcowe relacje pomiędzy administracją państwa a przedsiębiorcami, rozwijać kulturę kooperacji (wzmacniać kapitał społeczny), wspierać proces realizacji polityki spójności.

Ustawa Prawo zamówień publicznych określa zasady i tryb udzielania zamówień publicznych, środki ochrony prawnej, kontrolę udzielania zamówień publicznych oraz organy właściwe w tych sprawach<sup>29</sup>. Zgodnie z art. 466 ust. 1 te same ustawy centralnym organem administracji rządowej właściwym w sprawach zamówień publicznych jest Prezes UZP<sup>30</sup>. Zgodnie z treścią art. 469 pkt 1 ustawy Prawo zamówień publicznych Prezes UZP czuwa nad systemem zamówień, w szczególności czuwa nad przestrzeganiem zasad udzielania zamówień i dokonuje kontroli procesu udzielania zamówień w zakresie przewidzianym ustawą.

Biorąc pod uwagę zmiany, jakim ulegały w kolejnych nowelizacjach kompetencje Prezesa UZP, trzeba uznać, że kontrola jest jedynym środkiem, który pozwala Prezesowi oddziaływać na proces udzielania zamówień publicznych. Kontrola Prezesa UZP przeprowadzona jest pod względem legalności, zgodności z obowiązującymi przepisami Pzp<sup>31</sup>.

Obowiązujące regulacje ustawy Prawo zamówień publicznych przewidują dwa rodzaje kontroli Prezesa UZP: kontrolę doraźną oraz kontrolę uprzednią. Prezes posiada kompetencje kontrolne w stosunku do wszystkich zamówień publicznych bez względu na źródło ich finansowania. Zasady prowadzenia kontroli przez Prezesa UZP zostały szczegółowo uregulowane w dziale 11 rozdziału 2 „Kontrola Prezesa Urzędu – Prawo zamówień publicznych”. Prowadząc kontrolę, Prezes UZP może<sup>32</sup>:

- żądać od kierownika zamawiającego niezwłocznego przekazania kopii dokumentów związanych z postępowaniem o udzielenie zamówienia, potwierdzonych za zgodność z oryginałem przez kierownika zamawiającego, w formie pisemnej albo w formie elektronicznej;
- żądać od kierownika zamawiającego, od pracowników zamawiającego oraz innych podmiotów udzielenia, w terminie przez niego wyznaczonym, wyjaśnień

<sup>29</sup> Ustawa z dnia 11 września 2019 r. Prawo zamówień publicznych (Dz.U. z 2022 r., poz. 1710 ze zm.).

<sup>30</sup> Tamże, art. 466.

<sup>31</sup> A. Piwowarczyk, *Procedury zamówień publicznych w projektach współfinansowanych ze środków funduszy strukturalnych*, seria: „Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach”, nr 3582, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 2017, s. 121.

<sup>32</sup> Dz.U. z 2022 r., poz. 1710 ze zm., art. 605.

w sprawach dotyczących przedmiotu kontroli, w formie pisemnej albo w formie elektronicznej;

- zasięgnąć opinii biegłego, jeżeli ustalenie lub ocena stanu faktycznego sprawy lub dokonanie innych czynności kontrolnych wymaga wiadomości specjalnych.

Zadania kontrolne Prezesa Urzędu są wykonywane przez Departament Kontroli Zamówień Publicznych, który zajmuje się przeprowadzaniem kontroli doraźnych (następczych i uprzednich) wszczynanych z urzędu lub na wniosek, a także przeprowadzaniem obligatoryjnych kontroli uprzednich. Kontrola Prezesa Urzędu ma na celu sprawdzenie zgodności postępowania o udzielenie zamówienia z przepisami ustawy Prawo zamówień publicznych. Prezes UZP nie bada więc gospodarności działań zamawiającego, celowości dokonywanych przezeń zakupów czy też jego rzetelności. Kontrola co do zasady przeprowadzana jest w siedzibie Urzędu, na podstawie przekazanej przez zamawiającego kopii dokumentacji postępowania, wyjaśnień i – w razie potrzeby – opinii biegłego i może mieć charakter kontroli uprzedniej (*ex-ante*, przed zawarciem umowy z wykonawcą) lub kontroli następczej (*ex-post*, po zawarciu umowy z wykonawcą)<sup>33</sup>.

W zakresie zamówień z udziałem środków unijnych Prezes UZP prowadzi:

- kontrole uprzednie obligatoryjne, jeżeli wartość zamówienia jest równa bądź przekracza wyrażoną w złotych równowartość kwoty 10 000 000 euro dla dostaw i usług oraz 20 000 000 euro dla robót budowlanych (art. 613 ust. 1 i 2 ustawy<sup>34</sup>);
- kontrole doraźne uprzednie lub następcze wszczynane z urzędu lub na wniosek, jeżeli zachodzi uzasadnione przypuszczenie, że w postępowaniu o udzielenie zamówienia doszło do naruszenia przepisów ustawy Prawo zamówień publicznych, które mogło mieć wpływ na wynik postępowania lub konkursu albo zawarto lub zmieniono umowę lub umowę ramową z naruszeniem przepisów ustawy (art. 607 ust. 1 i 4 tej ustawy<sup>35</sup>). Zgodnie z art. 608 ustawy Prawo zamówień publicznych kontrolę doraźną może poprzedzić postępowanie wyjaśniające, mające na celu ustalenie, czy w postępowaniu doszło do naruszenia mogącego mieć wpływ na wynik postępowania lub konkursu albo zawarto lub zmieniono umowę, lub umowę ramową z naruszeniem przepisów ustawy.

Kontrola kończy się doręczeniem zamawiającemu informacji o wyniku, w której Prezes UZP stwierdza brak naruszeń bądź wskazuje wykryte nieprawidłowości. W przypadku kontroli uprzedniej, przeprowadzanej przed zawarciem umowy z wykonawcą, Prezes UZP może dodatkowo wydać zalecenia pokontrolne usunięcia stwierdzonych naruszeń lub unieważnienia postępowania. Natomiast kontrola następcza (*ex-post*) odbywa się po zawarciu umowy z wykonawcą, dlatego niemożliwe jest wydanie po jej przeprowadzeniu zaleceń wykonania jakichkolwiek czynności w postępowaniu. W przypadku przeprowadzenia kontroli zamówienia współfinansowanego ze środków UE o wyniku kontroli – poza podmiotem (na wniosek którego kontrola została wszczęta – zawsze informowana jest właściwa instytucja zarządzająca i instytucja pośrednicząca). Obligatoryjną kontrolą uprzednią objęte są wyłącznie zamówienia lub

<sup>33</sup> *Kontrola Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych – regulacje prawne oraz instrukcje*, <https://www.uzp.gov.pl/baza-wiedzy/kontrole-prowadzone-przez-uzp/kontrola-prezesa-urzedu-zamowien-publicznych-regulacje-prawne-oraz-instrukcje2> [dostęp: 31.10.2022].

<sup>34</sup> Dz.U. z 2022 r., poz. 1710 ze zm., art. 613, ust. 1 i 2.

<sup>35</sup> Tamże, art. 607, ust. 1 i 4.

umowy ramowe o wartościach określonych w art. 613 ust. 2 ustawy Prawo zamówień publicznych, tj. 10 000 000 euro dla dostaw i usług oraz 20 000 000 euro dla robót budowlanych współfinansowane ze środków Unii Europejskiej.

Prezes UZP może odstąpić od przeprowadzenia kontroli uprzedniej na wniosek instytucji zarządzającej, jeżeli w ocenie tej instytucji postępowanie zostało przeprowadzone w sposób zgodny z przepisami ustawy. Informacje o odstąpieniu od kontroli uprzedniej Prezes UZP przekazuje niezwłocznie zamawiającemu i wnioskodawcy. Może on również odstąpić od przeprowadzenia obowiązkowej kontroli uprzedniej w przypadku udzielania zamówień w częściach, jeżeli wartość poszczególnych części zamówienia jest mniejsza niż kwoty, o których mowa w art. 613 ust. 2 ustawy Prawo zamówień publicznych<sup>36</sup>. Prezes UZP może odstąpić od przeprowadzenia kontroli uprzedniej, informując o tym zamawiającego niezwłocznie po otrzymaniu kopii dokumentacji, o której mowa w art. 615 ust. 1. Beneficjenci środków unijnych, w przypadku udzielania zamówień o wartości równej lub przekraczającej 10 000 000 euro dla dostaw i usług oraz 20 000 000 euro dla robót budowlanych, niezwłocznie po wydaniu przez Izbę wyroku lub postanowienia kończącego postępowanie odwoławcze, dotyczące wyboru najkorzystniejszej oferty, albo po upływie terminu do wniesienia odwołania, a przed zawarciem umowy, będą zobowiązani przekazać do Urzędu Zamówień Publicznych, w formie pisemnej, potwierdzone za zgodność z oryginałem przez kierownika zamawiającego, własnoręcznym podpisem, albo w formie elektronicznej, kopie dokumentacji postępowania, w celu przeprowadzenia kontroli uprzedniej (art. 615 ust 1 ustawy Prawo zamówień publicznych).

W sytuacji gdy po przekazaniu kopii dokumentacji do kontroli zostanie wniesione odwołanie lub skarga, zamawiający będzie miał obowiązek niezwłocznie poinformować o tym Prezesa UZP. W wyniku zawiadomienia o wniesionym odwołaniu lub skardze Prezes UZP wstrzyma wykonanie kontroli do czasu ostatecznego rozstrzygnięcia protestu. Doręczenie do Urzędu Zamówień Publicznych kopii dokumentacji postępowania powoduje wszczęcie kontroli uprzedniej i jednocześnie zawieszenie terminu związania ofertą. Termin ten zostaje zawieszony do czasu zakończenia kontroli, to jest do czasu doręczenia zamawiającemu informacji o wyniku kontroli. Kontrola powinna zakończyć się w terminie 14 dni od dnia doręczenia materiałów stanowiących dowody w sprawie, o których mowa w art. 615 ust 1 ustawy Prawo zamówień publicznych lub w terminie 30 dni w przypadkach szczególnie skomplikowanych, o których mowa w art. 605 ust. 1. W zależności od ustaleń kontroli, w informacji o wyniku kontroli Prezes UZP informuje, że kontrola nie wykazała naruszeń lub też wykazała naruszenia niemające wpływu na wynik postępowania, bądź też wskazuje zalecenia pokontrolne, jeżeli w toku kontroli stwierdzono, że zasadne jest unieważnienie postępowania lub usunięcie stwierdzonych naruszeń.

Zalecenie usunięcia naruszeń wydawane jest wtedy, gdy w toku kontroli stwierdzone zostaje naruszenie mające wpływ na wynik postępowania, którego usunięcie na tym etapie postępowania (tj. przed zawarciem umowy) jest jeszcze możliwe.

---

<sup>36</sup> Tamże.

Zalecenie unieważnienia postępowania dotyczy naruszeń uniemożliwiających zawarcie ważnej umowy w sprawie zamówienia publicznego, których usunięcie jest już niewykonalne. Na wniosek Prezesa UZP kierownik zamawiającego pisemnie informuje o sposobie wykonania zaleceń pokontrolnych (art. 616 ust. 5 ustawy Prawo zamówień publicznych).

Zamawiający może wnieść zastrzeżenia do wyników kontroli bez względu na rodzaj stwierdzonych naruszeń. Zamawiający może wnieść umotywowane zastrzeżenia do wyników kontroli doraźnej w terminie 7 dni od dnia doręczenia informacji o wyniku kontroli. Prezes Urzędu rozpatrzy zastrzeżenia w terminie 15 dni od ich otrzymania, a w przypadku ich nieuwzględnienia – przekaze je do zaopiniowania Krajowej Izbie Odwoławczej. Krajowa Izba Odwoławcza w terminie 15 dni wyrazi, w formie uchwały, opinię, która będzie wiążąca dla Prezesa Urzędu. O ostatecznym rozpatrzeniu zastrzeżeń Prezes Urzędu niezwłocznie zawiadamia kontrolowanego zamawiającego. Ostatecznym rozpatrzeniem zastrzeżeń jest ich uwzględnienie przez Prezesa Urzędu lub – w razie nieuwzględnienia – wydanie opinii przez Krajową Izbę Odwoławczą<sup>37</sup>.

Do czasu doręczenia informacji o wyniku kontroli uprzedniej zamówień współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej kontrolowany zamawiający nie może zawrzeć umowy z wybranym wykonawcą. Prezes UZP w terminie 14 dni (30 dni w sprawach szczególnie skomplikowanych) od dnia przesłania kopii dokumentacji postępowania doręcza zamawiającemu informację o wyniku kontroli uprzedniej.

Informacja ta zawiera co najmniej:

- określenie kontrolowanego postępowania;
- informację o stwierdzeniu naruszeń lub ich braku;
- zalecenia pokontrolne (o ile stwierdzono, że zasadne jest unieważnienie postępowania lub usunięcie stwierdzonych naruszeń).

Do czasu doręczenia informacji o wyniku kontroli uprzedniej zamawiający nie może zawrzeć umowy o zamówienie publiczne, zaś w przypadku stwierdzenia naruszeń kierownik zamawiającego informuje Prezesa UZP o sposobie wykonania zaleceń (jeżeli otrzymał wniosek w tym zakresie). W oparciu o dane publikowane w Sprawozdaniu Prezesa UZP z funkcjonowania systemu zamówień publicznych w 2021 r.<sup>38</sup> do Prezesa UZP wpłynęło 492 wnioski o kontrolę. Prezes UZP rozpatrzył 494 wnioski o kontrolę. Wnioski te kierowali do niego przede wszystkim wykonawcy oraz instytucje zaangażowane we wdrażanie funduszy unijnych w Polsce, ale także m.in. organy ścigania oraz podmioty nieuczestniczące w danych postępowaniach o udzielenie zamówień, w tym osoby prywatne, radni, sygnaliści, organizacje zrzeszające przedstawicieli określonych zawodów).

<sup>37</sup> *Kontrola doraźna*, <https://www.uzp.gov.pl/baza-wiedzy/kontrola-prowadzone-przez-uzp/kontrola-prezesa-urzedu-zamowien-publicznych-regulacje-prawne-oraz-instrukcje/kontrola-dorazna> [dostęp: 31.10.2022].

<sup>38</sup> Sprawozdanie Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych z funkcjonowania systemu zamówień publicznych w 2021 r., Urząd Zamówień Publicznych, Warszawa 2022, <https://www.gov.pl/web/uzp/sprawozdanie-prezesa-urzedu-zamowien-publicznych-z-funkcjonowania-systemu-zamowien-publicznych-w-2021-r> [dostęp: 4.11.2022].

W wyniku rozpatrzenia ww. wniosków Prezes Urzędu:

- w 151 sprawach przeprowadził wstępną kontrolę, w tym w 38 sprawach wszczęto dalszą kontrolę doraźną w przypadku uzasadnionego przypuszczenia, że doszło do naruszenia przepisów ustawy Pzp 2004, które mogło mieć lub miało wpływ na wynik postępowania lub konkursu, albo zawarto lub zmieniono umowę lub umowę ramową z naruszeniem przepisów ustawy Pzp 2004, natomiast w 113 sprawach kontrole zostały zakończone informacją o braku podstaw do dalszego prowadzenia kontroli;
- w 320 sprawach odmówił wszczęcia kontroli podając szczegółowe uzasadnienie faktyczne i prawne odnoszące się do zarzutów wnioskodawców, odmowa wszczęcia kontroli w 77 sprawach poprzedzona została przeprowadzeniem postępowania wyjaśniającego (wszczętego na podstawie przepisów ustawy Prawo zamówień publicznych z 2004 r.);
- zakończył 23 sprawy, które nie podlegały merytorycznemu rozpatrzeniu<sup>39</sup>.

W przypadku wykrycia w trakcie realizacji czynności kontrolnych lub w toku prowadzonych postępowań wyjaśniających, nieprawidłowości stanowiących naruszenie ustawy o odpowiedzialności za naruszenie dyscypliny finansów publicznych Prezes UZP zawiadamiał o stwierdzonym naruszeniu właściwego rzeczownika dyscypliny finansów publicznych. Zawiadomienia do rzeczownika dyscypliny finansów publicznych skierowano w odniesieniu do 21 spraw objętych w 2021 r. kontrolą doraźną, a w przypadku 10 na skutek przeprowadzenia postępowania wyjaśniającego lub wstępnej kontroli (łącznie 31 zawiadomień). W oparciu o dane publikowane w Sprawozdaniu Prezesa UZP z funkcjonowania systemu zamówień publicznych w 2021 r. najczęściej zawiadamiano rzeczownika o stwierdzeniu naruszeń dyscypliny finansów publicznych polegających na:

- bezpodstawnym unieważnieniu postępowania (10 zawiadomień);
- błędnym szacowaniu wartości zamówienia polegającym na podziale zamówienia lub zaniżeniu jego wartości w celu ominięcia stosowania ustawy Pzp do jego udzielenia (6 zawiadomień);
- niezasadnym stosowaniu trybu negocjacji bez ogłoszenia albo trybu zamówienia z wolnej ręki (4 zawiadomień);
- nieprawidłowym badaniu spełniania przez wykonawców warunków udziału w postępowaniu (2 zawiadomienia);
- nieprzekazaniu ogłoszenia o zamówieniu publicznym lub udzieleniu zamówienia do publikacji do właściwego publikatora – Dziennika Urzędowego Unii Europejskiej (2 zawiadomienia);
- zawiadamiano także o bezpodstawnym zaniechaniu stosowania ustawy Pzp (2 zawiadomienia);
- przeprowadzeniu postępowania na podstawie przepisów nieobowiązujących w chwili wszczęcia postępowania (1 zawiadomienie);
- nieuprawnionej zmianie umowy (1 zawiadomienie);
- opisaniu przedmiotu zamówienia z naruszeniem zasad uczciwej konkurencji (2 zawiadomienia);
- zaniechaniu odrzucenia oferty (1 zawiadomienie);

<sup>39</sup> Tamże.

- otwarciu ofert bez zachowania zasady jawności poprzez organizację sesji otwarcia ofert zamkniętej dla publiczności (1 zawiadomienie).

W wyniku rozpatrzenia 9 zawiadomień rzecznik poinformował Prezesa UZP o skierowaniu wniosku o ukaranie osoby obwinionej do komisji orzekającej z powodu:

- bezpodstawnego unieważnienia postępowania (4 sprawy);
- niezasadnego stosowania trybu zamówienia z wolnej ręki (2 kontrole);
- opisanie przedmiotu zamówienia z naruszeniem zasad uczciwej konkurencji (2 kontrole);
- otwarcia ofert z naruszeniem zasady jawności (1 zawiadomienie).

W 7 sprawach rzecznicy dyscypliny finansów publicznych odmówili wszczęcia postępowania wyjaśniającego:

- ze względu na przedawnienie karalności czynu – 1 przypadek;
- z uwagi na brak znamion naruszenia dyscypliny finansów publicznych – 2 przypadki;
- z uwagi na okoliczność wykluczającą z mocy ustawy orzekanie o naruszeniu dyscypliny finansów publicznych – 1 przypadek;
- ze względu na niepopętnienie zarzucanego czynu – 1 przypadek;
- ze względu na brak podstaw do przypisania winy sprawcy – 1 przypadek;
- z uwagi na przesłankę nikomego stopnia szkodliwości dla finansów publicznych – 1 przypadek.

### 3. NIEPRAWIDŁOWOŚCI W ZAKRESIE UDZIELANIA ZAMÓWIEŃ PUBLICZNYCH – WYBRANE PRZYKŁADY

Ze względu na wielkość rynku zamówień publicznych i liczbę prowadzonych rocznie zamówień nieuniknione jest wystąpienie nieprawidłowości przy udzielaniu zamówień.

„Jeżeli niekorzystny wpływ na budżet UE wynika z naruszenia przepisów, określa się go jako »nieprawidłowość«<sup>40</sup>. W przypadku umyślnego zachowania, takiego jak działanie lub zaniechanie odnoszące się do wykorzystywania lub przedstawiania nieprawdziwych, niepoprawnych lub niepełnych oświadczeń lub dokumentów lub nieujawnienia informacji z naruszeniem szczególnego obowiązku, zachowanie takie stanowi »nadużycie finansowe«<sup>41</sup>. W związku z tym nieprawidłowość może być wynikiem błędnej interpretacji przepisu, podczas gdy nadużycie finansowe jest wynikiem

<sup>40</sup> Zgodnie z definicją zawartą w art. 1 Rozporządzenia Rady (WE, Euratom) nr 2988/95 z dnia 18 grudnia 1995 r. w sprawie ochrony interesów finansowych Wspólnot Europejskich (Dz.U. L 312 z 23.12.1995), s. 1.

<sup>41</sup> Zgodnie z definicją zawartą w art. 3 dyrektywy w sprawie zwalczania za pośrednictwem prawa karnego nadużyć na szkodę interesów finansowych Unii. W odniesieniu do dochodów pochodzących z zasobów własnych z tytułu VAT w dyrektywie w sprawie zwalczania za pośrednictwem prawa karnego nadużyć na szkodę interesów finansowych Unii nałożono na państwa członkowskie obowiązek penalizowania przestępstw przeciwko wspólnemu systemowi VAT, jeżeli są one związane z terytorium dwóch lub większej liczby państw członkowskich Unii i wiążą się z wystąpieniem całkowitej szkody w wysokości co najmniej 10 mln EUR (art. 2 ust. 2 dyrektywy).



umyślnego naruszenia przepisu<sup>42</sup>. Zgodnie z art. 2 pkt 7 rozporządzenia Rady (WE) nr 1083/2006 z dnia 11 lipca 2006 r. ustanawiającego przepisy ogólne dotyczące Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Europejskiego Funduszu Społecznego oraz Funduszu Spójności i uchylającego rozporządzenie (WE) nr 1260/1999, za nieprawidłowość należy uważać „jakkolwiek naruszenie przepisu prawa wspólnotowego wynikające z działania lub zaniechania podmiotu gospodarczego, które powoduje lub mogłoby spowodować szkodę w budżecie ogólnym Unii Europejskiej w drodze finansowania nieuzasadnionego wydatku z budżetu ogólnego”<sup>43</sup>. „Zgodnie ze stanowiskiem Komisji Europejskiej (KE) za nieprawidłowość należy uznać również sytuację, w której wystąpiło naruszenie jakichkolwiek przepisów krajowych, niezależnie od tego, czy przepisy prawa krajowego są bardziej restrykcyjne od przepisów prawa wspólnotowego”<sup>44</sup>.

Nieprawidłowość oznacza każde naruszenie prawa unijnego lub prawa krajowego dotyczącego stosowania prawa unijnego, wynikające z działania lub zaniechania podmiotu gospodarczego zaangażowanego we wdrażanie funduszy unijnych (realizację projektu), które ma lub może mieć szkodliwy wpływ na budżet Unii poprzez obciążenie budżetu Unii nieuzasadnionym wydatkiem. Podmiotem gospodarczym, według prawa unijnego, jest każda osoba fizyczna lub prawna lub inny podmiot biorący udział we wdrażaniu funduszy unijnych, z wyjątkiem państwa członkowskiego wykonującego swoje uprawnienia władzy publicznej<sup>45</sup>.

Nieprawidłowości określane są jako odstępstwa od obowiązujących procedur udzielania zamówień publicznych.

W celu zminimalizowania ryzyka nieprawidłowego wydatkowania środków z funduszy strukturalnych i Funduszu Spójności pomocne może okazać się przeanalizowanie rodzajów nieprawidłowości, które odzwierciedlają naruszenie przepisów prawa. Według Sprawozdania Komisji dla Parlamentu Europejskiego i Rady – 32 Sprawozdanie roczne dotyczące ochrony interesów finansowych Unii Europejskiej i zwalczania nadużyć finansowych (2020 r.) najczęściej wykrywane rodzaje nieprawidłowości w stosunku do nieprawidłowości związanych z nadużyciami finansowymi w przypadku projektów finansowanych w ramach okresu programowania 2014–2020 to m.in.: nieprawidłowe, brakujące fałszywe lub sfałszowane dokumenty potwierdzające naruszenie postanowień umownych, kwalifikowalność i naruszenie przepisów dotyczących zamówień publicznych, naruszenia w zakresie etyki i uczciwości<sup>46</sup> oraz podwójnego finansowania.

<sup>42</sup> Sprawozdanie Komisji dla Parlamentu Europejskiego i Rady – 32 Sprawozdanie roczne dotyczące ochrony interesów finansowych Unii Europejskiej i zwalczania nadużyć finansowych (2020 r.), Komisja Europejska, Bruksela 20.09.2021, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0578&from=EN> [dostęp: 31.10.2022].

<sup>43</sup> Art. 2 pkt 7 Rozporządzenia Rady (WE) nr 1083/2006 z dnia 11 lipca 2006 r. ustanawiającego przepisy ogólne dotyczące Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Europejskiego Funduszu Społecznego oraz Funduszu Spójności i uchylające rozporządzenie (WE) nr 126/1999 (Dz.U. L 210 z 31.7.2006), s. 36.

<sup>44</sup> K. Dziadek, *Kontrola jako narzędzie wykrywania nieprawidłowości w wykorzystaniu funduszy unijnych*. „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Finanse. Rynki Finansowe. Ubezpieczenia” 2011, nr 42, s. 112.

<sup>45</sup> *Czym są nieprawidłowości*, [https://rpo.slaskie.pl/czytaj/czym\\_sa\\_nieprawidlowosci](https://rpo.slaskie.pl/czytaj/czym_sa_nieprawidlowosci) [dostęp: 25.10.2022].

<sup>46</sup> Kategoria ta obejmuje kwestie związane z „konfliktem interesów” i „korupcją”.

Tabela 1. Rodzaje nieprawidłowości wykrytych w przypadkach związanych i niezwiązanych z nadużyciami finansowymi – okres programowania 2014–2020

	Nieprawidłowości niezwiązane z nadużyciami finansowymi	Nieprawidłowości związane z nadużyciami finansowymi
Naruszenie przepisów dotyczących zamówień publicznych	39%	15%
Nieprawidłowe, brakujące, fałszywe lub sfałszowane dokumenty potwierdzające	12%	45%
Naruszenie postanowień umownych	24%	18%
Kwalifikowalność	9%	17%
Nieprawidłowe, brakujące, sfałszowane księgi	4%	5%
Etyka i uczciwość	0%	5%
Wielokrotne finansowanie	0%	1%

Źródło: Sprawozdanie Komisji dla Parlamentu Europejskiego i Rady – 32 Sprawozdanie roczne dotyczące ochrony interesów finansowych Unii Europejskiej i zwalczania nadużyć finansowych (2020 r.), Komisja Europejska, Bruksela 20.09.2021, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0578&from=EN> [dostęp: 31.10.2022].

W odniesieniu do nieprawidłowości niezwiązanych z nadużyciami finansowymi najważniejszą część stanowią naruszenia przepisów dotyczących zamówień publicznych.

Zasadniczo ryzyko nieprawidłowości i nadużyć finansowych wiąże się z:

- ograniczeniami konkurencji (w związku z ograniczeniem informacji, wykluczeniem lub zniechęcaniem potencjalnych oferentów, brakiem przejrzystego wyboru lub przejrzystej oceny, zмовą);
- zmianami zamówień dokonywanymi po ich udzieleniu;
- niedociągnięciami w realizacji;
- zawyżaniem kosztów<sup>47</sup>.

Na podstawie danych prezentowanych przez Urząd ds. Zwalczania Nadużyć Finansowych (OLAF<sup>48</sup>) można stwierdzić, że przy wydatkowaniu środków w ramach polityki spójności obszary wrażliwe na wystąpienie nieprawidłowości, w tym najczęściej występujące nadużycia finansowe, związane są z<sup>49</sup>:

- procesem udzielania zamówień publicznych, w szczególności: niezastosowanie ustawy Prawo zamówień publicznych, zastosowanie niewłaściwego trybu zamówienia publicznego (stosowanie trybów poza konkurencyjnych), niedochowanie warunków związanych z udzieleniem zamówienia publicznego, np. błędne ogłoszenie lub brak publikacji ogłoszenia o zamówieniu (brak publikacji ogłoszenia o zmianie warunków zamówienia), nierówne traktowanie wykonawców (żądanie dokumentów, które nie były niezbędne do przeprowadzenia postępowania), nieuprawnione zmiany istotnych warunków umowy z wykonawcą; występowaniem zmów przetargowych;

<sup>47</sup> Sprawozdanie Komisji dla Parlamentu Europejskiego i Rady – 32 Sprawozdanie roczne dotyczące ochrony interesów finansowych Unii Europejskiej i zwalczania nadużyć finansowych (2020 r.), dz. cyt.

<sup>48</sup> OLAF (ang. *European Anti-Fraud Office*) – Europejski Urząd ds. Przeciwdziałania Nadużyciom.

<sup>49</sup> *Czym są nieprawidłowości*, dz. cyt.

- fałszowaniem lub brakiem dokumentacji potwierdzającej prawidłowość poniesienia wydatku (faktury, dokumenty potwierdzające wykonanie pracy), tj. przyznaniem dofinansowania nieuprawnionemu beneficjentowi, w szczególności wskutek przedstawienia przez beneficjenta fałszywych dokumentów lub oświadczeń;
- refundacją wydatków niekwalifikowalnych, w tym w szczególności: podwójne deklarowanie tego samego wydatku, zrefundowanie wydatku podlegającego finansowaniu w ramach innego programu współfinansowanego ze środków publicznych, wydatków niezwiązanych z realizowanym projektem, wydatków niezasadzonych (związanych z realizowanym projektem, lecz zbędnych), wydatków zawyżonych, nieuwzględnienie przychodów uzyskiwanych przez beneficjenta w związku z realizowanym projektem;
- nieujawnieniem konfliktu interesów;
- zakładaniem fikcyjnych przedsiębiorstw jedynie w celu wyłudzenia dotacji;
- przedstawianiem we wniosku o płatność niekompletnej, nieprawidłowej lub sfałszowanej dokumentacji potwierdzającej poniesienie wydatków;
- brakiem realizacji przez beneficjenta działań przewidzianych w projekcie;
- realizacją projektu niezgodnie z obowiązującymi przepisami prawa, np. realizacja przedsięwzięcia bez pozwoleń (decyzji) wymaganych przepisami prawa budowlanego.

Tabela 2. Ryzyka związane z zamówieniami publicznymi

Ryzyko nieprawidłowości i nadużyć finansowych w 2021 r. oraz w kolejnych latach wiąże się z:	
ograniczeniami konkurencji (w związku z ograniczeniami informacji, wykluczeniem lub zniechęceniem potencjalnych oferentów, brakiem przejrzystego wyboru lub przejrzystej oceny, znową)	Jeżeli chodzi o ograniczenia konkurencji, może dochodzić do ograniczenia otwartości procedury w wyniku występowania nieprawidłowości związanych ze sposobem, treścią lub czasem publikacji ogłoszenia o zamówieniu, które ma być kierowane do wszystkich potencjalnych oferentów. Może to wynikać z zaniżania szacunkowej wartości zamówienia lub ze sztucznego dzielenia zamówień. Może dochodzić do bezpodstawnego ograniczania liczby potencjalnych oferentów w drodze nadmiernych lub dyskryminacyjnych wymogów wobec oferentów. Ponadto instytucje zamawiające mogą w ramach tego samego zamówienia bezpodstawnie grupować roboty budowlane, dostawy lub usługi, które zwykle są oferowane przez innych wykonawców (sztuczne grupowanie). Inne ewentualne zaniechania obowiązków dotyczą specyfikacji technicznej, której zakres jest zbyt wąski lub która wprost odnosi się do konkretnej marki. Udział w procedurze mogą utrudniać niejasno sformułowane lub zmieniające się warunki. Niewystarczająca dokumentacja procesu oceny oraz niejasne lub nieprawidłowe kryteria udzielania zamówienia mogą skutkować brakiem przejrzystości oceny. Może dochodzić do sytuacji, w których zamówienia są udzielane wykonawcom, którzy nie spełniają kryteriów. Z drugiej strony może dochodzić do bezpodstawnego wykluczania niektórych wykonawców. Konkurencja może być eliminowana w wyniku znowy, w tym w wyniku współpracy między oferentami lub między oferentami i instytucją zamawiającą.

Ryzyko nieprawidłowości i nadużyć finansowych w 2021 r. oraz w kolejnych latach wiąże się z:	
zmianami zamówień dokonywanymi po ich udzieleniu	Zamówienia mogą być zmieniane po ich udzieleniu. Zamówienie może różnić się od tego, co zapisano w specyfikacji istotnych warunków zamówienia, już na etapie złożenia pierwszego podpisu lub zmiany w zamówieniu mogą pojawić się podczas jego realizacji. Gdyby takie zmiany uwzględniano już w specyfikacji istotnych warunków zamówienia, pozostali wykonawcy mogliby przedstawić lepsze oferty i wygrać przetarg. Ponadto tego typu zmiany mogą przynosić wykonawcy dodatkowe zyski ze względu na możliwość użycia tańszych/mniejszej ilości materiałów lub mniejszą ilość robót budowlanych do wykonania za tę samą cenę lub też ze względu na dodatkowe dostawy lub roboty budowlane oferowane po wyższej cenie. W obowiązujących już zamówieniach można wprowadzać zmiany lub można bezpodstawnie udzielać dodatkowych zamówień aktualnemu wykonawcy, bezpośrednio lub po przeprowadzeniu procedury negocjacyjnej bez uprzedniej publikacji ogłoszenia o zamówieniu.
niedociągnięcia w realizacji	(Ukierunkowanie na sektor opieki zdrowotnej) Niedociągnięcia w realizacji mogą mieć różną formę. Mogą one powodować poważne konsekwencje odczuwane przez placówki opieki zdrowotnej. Na przykład załączona dokumentacja może nie odpowiadać faktycznej realizacji projektu w praktyce. Nieprawidłowości mogą również wiązać się z ponoszeniem wydatków, które nie przynoszą oczekiwanej poprawy w zakresie zapewniania świadczeń zdrowotnych. Na przykład może okazać się, że beneficjent nie korzysta lub rzadko korzysta ze sprzętu medycznego sfinansowanego w ramach projektu, sprzęt jest wykorzystywany w celach handlowych wbrew założeniom finansowania itp.
zawyżaniem kosztów	(Ukierunkowanie na sektor opieki zdrowotnej) Może dochodzić do uiszczania wygórowanych cen za sprzęt medyczny. Wnioski o zwrot kosztów mogą obejmować koszty poniesione z tytułu niekwalifikowalnych dostaw lub działań. Projekt może obejmować wyłącznie nowy sprzęt medyczny, podczas gdy faktycznie poniesione wydatki mogą dotyczyć niekwalifikowalnego sprzętu używanego (za który pobiera się wygórowaną cenę tak, jakby był to sprzęt nowy). Kolejne potencjalne ryzyko stanowi ryzyko podwójnego finansowania.

Źródło: opracowanie na podstawie: Sprawozdanie Komisji dla Parlamentu Europejskiego i Rady – 32 Sprawozdanie roczne..., dz. cyt.

W praktyce najczęściej występującą nieprawidłowością (wykres 1) jest niewłaściwe stosowanie przepisów ustawy Prawo zamówień publicznych<sup>50</sup>, a w szczególności dotyczących:

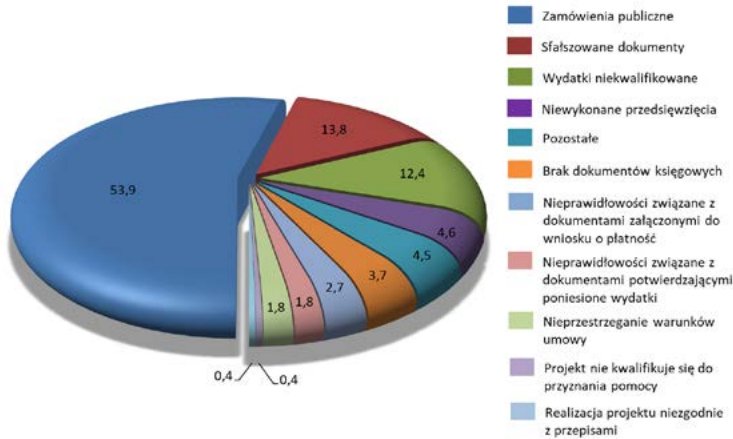
- zasad konkurencji i upowszechniania informacji o zamówieniu;
- działań związanych z przygotowaniem dokumentacji (np. brak dokumentacji projektowej w chwili zamieszczenia ogłoszenia o zamówieniu publicznym, nieprzekazanie oferentom robót specyfikacji istotnych warunków zamówienia w terminie określonym w ustawie);
- wyboru najkorzystniejszej oferty.

Występującym nadużyciem finansowym było fałszowanie dokumentów – działanie takie występowało w odniesieniu do wniosków o dofinansowanie projektu, w przypadku których beneficjenci przedstawiali nieprawdziwe dane lub załączali sfałszowane dokumenty uzupełniające (różnego typu oświadczenia, zaświadczenia)<sup>51</sup>.

<sup>50</sup> Ustawa z dnia 11 września 2019 r. Prawo zamówień publicznych (Dz.U. z 2019 r., poz. 1843 ze zm.; Dz.U. z 2022 r., poz. 1710 ze zm.).

<sup>51</sup> A Walenia, *Nieprawidłowości w wykorzystaniu europejskich funduszy rolnych i ich wpływ na realizację Wspólnej Polityki Rolnej w Polsce*, [w:] *Globalizacja. Integracja. Konkurencyjność i współczesne dylematy*, red. A. Grynia, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Wilno 2020, s. 486.

Tego typu działania traktowane są jako podejrzenia popełnienia oszustwa na szkodę budżetu UE<sup>52</sup>.



Wykres 1. Rodzaje zgłoszonych do Komisji Europejskiej nieprawidłowości dotyczących środków UE (%)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: M. Wilczyńska, A. Walenia, *Nieprawidłowości w wykorzystaniu środków z budżetu Unii Europejskiej z przeznaczeniem na politykę spójności, „Aviation and Security Issues” 2022, nr 1(1), DOI: 10.55676/asi.v1i1.10, s. 44.*

Jeśli chodzi o wydatki niekwalifikowalne – najczęściej wykrywane są przypadki finansowania przez beneficjentów działań, które nie są związane z realizacją przedsięwzięcia oraz nie zostały określone w umowie o dofinansowanie. W przypadku stwierdzenia tego typu nieprawidłowości beneficjenci nie mogą liczyć na refundację wydatków ze środków unijnych. Takie przypadki traktowane są jako potwierdzenie przez beneficjenta nieprawdziwych informacji i w konsekwencji uznawane są za działania mające na celu wyłudzenie środków UE, a więc popełnienie przestępstwa.

W procesie realizacji przedsięwzięć współfinansowanych ze środków UE można wskazać następujące przyczyny powstawania nieprawidłowości:

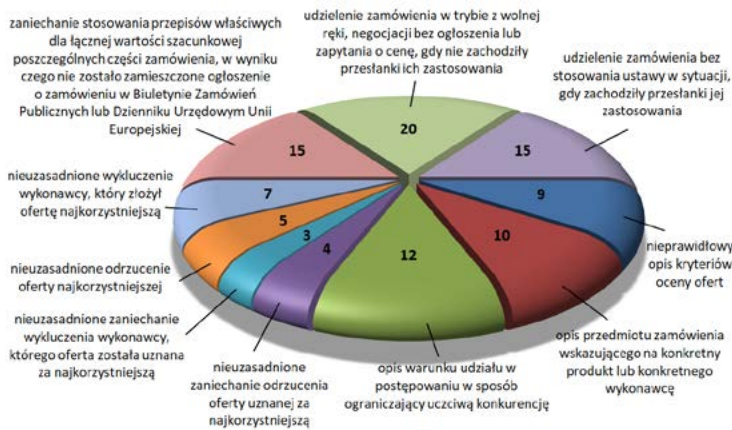
- niezajomość przepisów prawnych, a w szczególności przepisów prawa zamówień publicznych oraz dokumentów dotyczących wdrażania programu operacyjnego,
- nieprzebranie przez beneficjentów zasad określonych w umowie o dofinansowanie,
- zmienność przepisów prawa,
- nierzetelność lub niedokładność przedkładanych przez beneficjenta dokumentów, sporządzanie nierzetelnych sprawozdań z realizacji projektu oraz wniosków o płatność (brak dokumentacji, błędy rachunkowe)<sup>53</sup>.

<sup>52</sup> P. Makuch, *Organizacja systemu nakładania korekt finansowych oraz postępowanie z nieprawidłowościami stwierdzonymi w toku kontroli procedur zawierania umów w NFOŚiGW*, Departament Kontroli Zamówień Publicznych NFOŚiGW, Warszawa 2015, s. 78–79.

<sup>53</sup> M. Wilczyńska, A. Walenia, *Nieprawidłowości w wykorzystaniu środków...*, dz. cyt., s. 45.

W odniesieniu do nieprawidłowości niezwiązanych z nadużyciami finansowymi najważniejszą część stanowią naruszenia przepisów dotyczących zamówień publicznych. Najczęściej występujące nieprawidłowości w procesie zamówień publicznych stwierdzone w wyniku przeprowadzanych kontroli doraźnych przez Prezesa UZP (wykres 2), mające lub mogące mieć wpływ na wynik postępowania o udzielenie zamówień współfinansowanych ze środków UE, to np.:

- udzielenie zamówienia bez stosowania ustawy, w sytuacji gdy zachodziły przesłanki jej zastosowania (15%);
- udzielenie zamówienia w trybie z wolnej ręki, negocjacji bez ogłoszenia lub zapytania o cenę, gdy nie zachodziły przesłanki ich zastosowania (20%);
- niezamieszczenie ogłoszenia o zamówieniu w Biuletynie Zamówień Publicznych lub Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej (15%);
- niezasadne wykluczenie wykonawcy, który złożył ofertę najkorzystniejszą (7%).

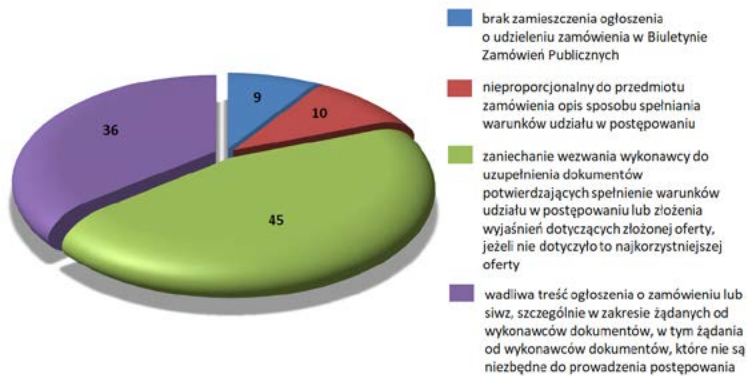


Wykres 2. Stwierdzone w toku kontroli doraźnych Prezesa UZP nieprawidłowości mające lub mogące mieć wpływ na wynik postępowania o udzielenie zamówień współfinansowanych ze środków UE (% nieprawidłowości)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: sprawozdania z działalności kontrolnej Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych za lata 2016–2021.

W wyniku przeprowadzonych przez Prezesa UZP kontroli najczęściej stwierdzone naruszenia przepisów ustawy Prawo zamówień publicznych, niemające wpływu na wynik postępowania zamówień współfinansowanych ze środków UE (wykres 3), to głównie błędy formalne typu:

- wadliwa treść ogłoszeń o zamówieniu lub SIWZ, szczególnie w zakresie żądanych od wykonawców dokumentów, w tym żądania od wykonawców dokumentów, które nie są niezbędne do prowadzenia postępowania (36%);
- zaniechanie wezwania wykonawcy do uzupełnienia dokumentów potwierdzających spełnienie warunków udziału w postępowaniu lub złożenia wyjaśnień dotyczących złożonej oferty, jeżeli nie dotyczyło to najkorzystniejszej oferty (45%).



Wykres 3. Stwierdzone w toku kontroli Prezesa UZP naruszenia przepisów ustawy Prawo zamówień publicznych, które nie mają wpływu na wynik postępowania zamówień współfinansowanych ze środków UE (% nieprawidłowości)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: sprawozdania z działalności kontrolnej Prezesa UZP za lata 2016–2021.

W razie stwierdzenia nieprawidłowości w wyniku przeprowadzenia kontroli Prezes UZP:

- zawiadamia rzecznika dyscypliny finansów publicznych, jeżeli w toku kontroli stwierdzono nieprawidłowości stanowiące naruszenie dyscypliny finansów publicznych w rozumieniu ustawy o odpowiedzialności za naruszenie dyscypliny finansów publicznych<sup>54</sup>;
- może nałożyć karę pieniężną, jeżeli zamawiający jest podmiotem, o którym mowa w art. 4 pkt 3, w tym wykonujących działalność sektorową, oraz o których mowa w art. 5 ust. 1 pkt 2 i 3 ustawy Prawo zamówień publicznych i w toku kontroli stwierdzono naruszenia wymienione w art. 619 wyżej wymienionej ustawy;
- może wystąpić do sądu o unieważnienie umowy w całości lub w części, jeżeli w toku kontroli stwierdzono naruszenia, o których mowa w art. 457 ust. 1 i 5 ustawy Prawo zamówień publicznych<sup>55</sup>.

W praktyce najczęściej popełnianym nadużyciem finansowym jest naruszenie przepisów ustawy Prawo zamówień publicznych oraz fałszowanie dokumentów lub składanie oświadczeń niezgodnych z prawdą. Źródłem oszustw finansowych mogą być nie tylko działania beneficjentów, ale także osób odpowiedzialnych za podejmowanie decyzji w instytucjach uczestniczących we wdrażaniu programu operacyjnego. Za nadużycia finansowe mogą być uznawane także takie działania, jak: podjęcie decyzji o dofinansowaniu projektu, który nie spełnia wymogów formalnoprawnych, niedokładne przeprowadzenie wymaganej weryfikacji wniosku o dofinansowanie projektu lub wniosku o płatność, dokonanie płatności pomimo niezrealizowania

<sup>54</sup> Ustawa z dnia 17 grudnia 2004 r. o odpowiedzialności za naruszenie dyscypliny finansów publicznych (Dz.U. z 2021 r., poz. 289).

<sup>55</sup> Ustawa z dnia 11 września 2019 r. Prawo zamówień publicznych (Dz.U. z 2022 r., poz. 1710).

przez beneficjenta kolejnego etapu przedsięwzięcia<sup>56</sup>. Informacje o wszelkich podejrzeniach nadużycia przekazywane powinny być policji oraz prokuraturze i wówczas stają się przedmiotem postępowań prowadzonych przez właściwe organy ścigania. „Jeśli chodzi o obszary, w których najczęściej identyfikowane są nadużycia, to są: infrastruktura, badania i rozwój, środowisko, inwestycje dotyczące technologii informatycznych (IT)”<sup>57</sup>.

W 2020 r. obszarami polityki, których nieprawidłowości dotyczyły w największym stopniu, były badania naukowe i innowacje, sieci komunikacyjne, treści i technologie oraz współpraca międzynarodowa i rozwój<sup>58</sup>.

#### 4. ZAKOŃCZENIE

Analizując system zamówień publicznych, należy mieć na uwadze, że decyzje podejmowane w trakcie postępowania o udzielenie zamówienia przez zamawiającego i wykonawcę są regulowane przez prawo i wywierają nie tylko skutki prawne, ale także ekonomiczne. Prawidłowo i rzetelnie funkcjonujący system zamówień publicznych zapewnia bezpieczeństwo ekonomiczne państwa. Ma on między innymi zapobiec wydatkowaniu środków publicznych w sposób nieprzemyślany, pochopny, nieuczciwy. W każdej gospodarce zamówienia publiczne odgrywają szczególną rolę. W praktyce trudno wyobrazić sobie funkcjonowanie państw i gospodarek światowych bez odpowiednich regulacji związanych z wydatkowaniem środków będących w gestii podmiotów nimi dysponujących. Rynek zamówień publicznych, którego wartość od lat utrzymuje się na bardzo wysokim poziomie, ma niebagatelne znaczenie dla rozwoju potencjału polskiej gospodarki. Problematyka nieprawidłowości w procesie udzielania zamówień publicznych związanych z realizacją projektów współfinansowanych środkami z budżetu Unii Europejskiej należy do istotnych zagadnień organizacyjnych i prawnych obowiązujących w państwach członkowskich. Interesy finansowe Unii Europejskiej pozostają w bezpośrednim związku z interesami państw członkowskich i narażone są na ciągłe ryzyko związane z różnymi formami nieprawidłowości, które wywierają negatywny wpływ na budżet UE. Najczęściej występującą nieprawidłowością było naruszenie przepisów ustawy Prawo zamówień publicznych, a w szczególności: zasad konkurencji i upowszechniania informacji o zamówieniu, działań związanych z przygotowaniem dokumentacji (np. brak dokumentacji projektowej w chwili zamieszczenia ogłoszenia o zamówieniu publicznym, nieprzekazanie oferentom robót specyfikacji istotnych warunków zamówienia w terminie określonym w ustawie), wyboru najkorzystniejszej oferty. Zasadniczo ryzyko nieprawidłowości

<sup>56</sup> A. Walenia, *Nadużycia finansowe w obszarze polityki spójności a ochrona interesów budżetowych Unii Europejskiej*, „Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu” 2020, nr 11(64), s. 133–147.

<sup>57</sup> M. Szymański, *Kontrola i audyt. Zwalczanie nadużyć finansowych w funduszach UE: Ewolucja systemu ochrony budżetu Unii – część I*, [w:] „Kontrola Państwowa” 2021, t. 66, nr 3(398), s. 11.

<sup>58</sup> Sprawozdanie Komisji dla Parlamentu Europejskiego i Rady. Sprawozdanie roczne dotyczące ochrony interesów finansowych Unii Europejskiej i zwalczania nadużyć finansowych (2020 r.), Komisja Europejska, Bruksela, dnia 20.09.2021, COM(2021) 578 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0578&from=EN> [dostęp: 31.10.2022].



i nadużyć finansowych wiąże się z: ograniczeniami konkurencji (w związku z ograniczeniem informacji, wykluczeniem lub zniechęcaniem potencjalnych oferentów, brakiem przejrzystego wyboru lub przejrzystej oceny, znową), zmianami zamówień dokonywanymi po ich udzieleniu, niedociągnięciami w realizacji, zawyżaniem kosztów. W procesie realizacji przedsięwzięć współfinansowanych ze środków UE można wskazać następujące przyczyny powstawania nieprawidłowości: niezajomość przepisów prawnych, a w szczególności przepisów prawa zamówień publicznych oraz dokumentów dotyczących wdrażania programu operacyjnego, nieprzestrzeganie przez beneficjentów zasad określonych w umowie o dofinansowanie, zmienność przepisów prawa, nierzetelność lub niedokładność przedkładanych przez beneficjenta dokumentów, sporządzanie nierzetelnych sprawozdań z realizacji projektu oraz wniosków o płatność (brak dokumentacji, błędy rachunkowe). Dlatego też, aby przeciwdziałać takim niepożądanym praktykom, wprowadzono wiele regulacji prawnych i opracowanych zostało wiele procedur, które mają ograniczać i zniwelować skutki występujących nieprawidłowości. W przypadku wykrycia nieprawidłowości, w tym w szczególności oszustwa finansowego, beneficjenci muszą się liczyć z nałożeniem sankcji. Oczywiście dotkliwość i rodzaj kary są uzależnione od wagi nieprawidłowości oraz jej skutków dla dalszej realizacji projektu.

## BIBLIOGRAFIA

### Artykuły i monografie

Borowiec A., *System kontroli zamówień publicznych w Polsce w świetle badań empirycznych*, „Przegląd Organizacji” 2015, nr 10(909).

Dziadek K., *Kontrola jako narzędzie wykrywania nieprawidłowości w wykorzystaniu funduszy unijnych*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Finanse. Rynki Finansowe. Ubezpieczenia” 2011, nr 42.

Kola J., *Nowe Prawo zamówień publicznych – podręcznik dla małych i średnich przedsiębiorców*, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Warszawa 2020.

Makuch P., *Organizacja systemu nakładania korekt finansowych oraz postępowanie z nieprawidłowościami stwierdzonymi w toku kontroli procedur zawierania umów w NFOŚiGW*, Departament Kontroli Zamówień Publicznych NFOŚiGW, Warszawa 2015.

Piwowarczyk A., *Procedury zamówień publicznych w projektach współfinansowanych ze środków funduszy strukturalnych*, seria: „Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach”, nr 3582, Uniwersytet Śląski, Katowice 2017.

Sprawozdanie Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych z funkcjonowania systemu zamówień publicznych w 2021 r., Urząd Zamówień Publicznych, Warszawa 2022.

Szymański M., *Kontrola i audyt. Zwalczanie nadużyć finansowych w funduszach UE: Evolucja systemu ochrony budżetu Unii – część I*, „Kontrola Państwowa” 2021, t. 66, nr 3(398), DOI: 10.53122/ISSN.0452-5027/2021.1.19.

Walenia A., *Nadużycia finansowe w obszarze polityki spójności a ochrona interesów budżetowych Unii Europejskiej*, „Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu” 2020, nr 11(64).

Walenia A., *Nieprawidłowości w wykorzystaniu europejskich funduszy rolnych i ich wpływ na realizację Wspólnej Polityki Rolnej w Polsce*, [w:] *Globalizacja. Integracja. Konkurencyjność i współczesne dylematy*, red. A. Grynia, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Wilno 2020.

Wilczyńska M., Walenia A., *Nieprawidłowości w wykorzystaniu środków z budżetu Unii Europejskiej z przeznaczeniem na politykę spójności*, „Aviation and Security Issues” 2022, nr 1(1), DOI: 10.55676/asi.v1i1.10.

### Akty i dokumenty prawne

---

Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 18 maja 2021 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo zamówień publicznych, ISAP, Ustawa z dnia 11 września 2019 r. Prawo zamówień publicznych (Dz.U. z 2022 r., poz. 1710 ze zm.).

Rozporządzenia Rady (WE) nr 1083/2006 z dnia 11 lipca 2006 r. ustanawiające przepisy ogólne dotyczące Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Europejskiego Funduszu Społecznego oraz Funduszu Spójności i uchylające rozporządzenie (WE) nr 126/1999 (Dz.U. L 210 z 31.7.2006).

Rozporządzenia Rady (WE, Euratom) nr 2988/95 z dnia 18 grudnia 1995 r. w sprawie ochrony interesów finansowych Wspólnot Europejskich (Dz.U. L 312 z 23.12.1995).

Ustawa z dnia 14 czerwca 1960 r. Kodeks postępowania administracyjnego (Dz.U. z 2022 r., poz. 2000).

Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. Kodeks cywilny (Dz.U. z 2022 r., poz. 1360).

Ustawa z dnia 16 kwietnia 1993 r. o zwalczaniu nieuczciwej konkurencji (Dz.U. z 2022 r., poz. 1233).

Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. z 2022 r., poz. 1557).

Ustawa z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (Dz.U. z 2022 r., poz. 902).

Ustawa z dnia 17 grudnia 2004 r. o odpowiedzialności za naruszenie dyscypliny finansów publicznych (Dz.U. z 2021 r., poz. 289).

Ustawa z dnia 6 grudnia 2006 r. o zasadach prowadzenia polityki rozwoju (Dz.U. z 2021 r., poz. 1057; z 2022 r., poz. 1079).

Ustawa z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych (Dz.U. z 2022 r., poz. 1634).

Ustawa z dnia 5 sierpnia 2010 r. o ochronie informacji niejawnych (Dz.U. z 2019 r., poz. 742; z 2022 r. poz. 655, 1933).

Ustawa z dnia 9 maja 2014 r. o informowaniu o cenach towarów i usług (Dz.U. z 2019 r., poz. 178).

Ustawa z dnia 11 września 2019 r. Prawo zamówień publicznych (Dz.U. z 2022 r., poz. 1710 ze zm.).

### Źródła internetowe

---

*Baza konkurencyjności*, <https://bazakonkurencyjnosci.funduszeuropejskie.gov.pl/> [dostęp: 24.10.2022].

*Czym są nieprawidłowości*, [https://rpo.slaskie.pl/czytaj/czym\\_sa\\_nieprawidlowosci](https://rpo.slaskie.pl/czytaj/czym_sa_nieprawidlowosci) [dostęp: 25.10.2022].

*Kontrola doraźna*, <https://www.uzp.gov.pl/baza-wiedzy/kontrola-prowadzone-przez-uzp/kontrola-prezesa-urzedu-zamowien-publicznych-regulacje-prawne-oraz-instrukcje/kontrola-dorazna> [dostęp: 31.10.2022].

*Kontrola Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych – regulacje prawne oraz instrukcje*, <https://www.uzp.gov.pl/baza-wiedzy/kontrola-prowadzone-przez-uzp/kontrola-prezesa-urzedu-zamowien-publicznych-regulacje-prawne-oraz-instrukcje2> [dostęp: 31.10.2022].

*Najważniejsze reguły zamówień publicznych*, <https://www.biznes.gov.pl/pl/portal/00223#1> [dostęp: 24.10.2022].

*Poznaj zasady udzielania zamówień publicznych*, [https://rpo.wrotapodlasia.pl/pl/realizuje\\_projekt/poznaj-zasady-udzielania-zamowien-publicznych.html#\\_9b416i](https://rpo.wrotapodlasia.pl/pl/realizuje_projekt/poznaj-zasady-udzielania-zamowien-publicznych.html#_9b416i) [dostęp: 3.11.2022].

*Prawo zamówień publicznych. Regulacje. Prawo krajowe*, <https://www.uzp.gov.pl/baza-wiedzy/prawo-zamowien-publicznych-regulacje/prawo-krajowe/inne-przepisy> [dostęp: 24.10.2022].

Sprawozdanie Komisji dla Parlamentu Europejskiego i Rady. Sprawozdanie roczne dotyczące ochrony interesów finansowych Unii Europejskiej i zwalczania nadużyć finansowych (2020 r.), Komisja Europejska, Bruksela, dnia 20.09.2021, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0578&from=EN> [dostęp: 31.10.2022].

Sprawozdanie Komisji dla Parlamentu Europejskiego i Rady – 32 Sprawozdanie roczne dotyczące ochrony interesów finansowych Unii Europejskiej i zwalczania nadużyć finansowych (2020 r.), Komisja Europejska Bruksela dnia 20.09.2021, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0578&from=EN> [dostęp: 31.10.2022].

Sprawozdanie Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych z funkcjonowania systemu zamówień publicznych w 2021 r., Urząd Zamówień Publicznych, Warszawa 2022, <https://www.gov.pl/web/uzp/sprawozdanie-prezesa-urzedu-zamowien-publicznych-z-funkcjonowania-systemu-zamowien-publicznych-w-2021-r> [dostęp: 4.11.2022].

Śliwak K., *Udzielanie zamówienia dofinansowanego ze środków funduszy europejskich przez podmiot prywatny. Co do zasady – prawo nie tylko dla przedsiębiorców*, Wardyński i Wspólnicy 2022, <https://codozasady.pl/p/udzielanie-zamowienia-dofinansowanego-ze-srodkow-funduszy-europejskich-przez-podmiot-prywatny> [dostęp: 31.10.2022].

Tomczak M., Myszczyńska P., *Zamówienia udzielane w ramach projektów. Podręcznik wnioskodawcy i beneficjenta programów polityki spójności 2014-2020*, Ministerstwo Inwestycji i Rozwoju, [https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/99885/podrecznika\\_wnioskodawcy\\_zamowienia\\_udzielane\\_w\\_ramach\\_projektow.pdf](https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/99885/podrecznika_wnioskodawcy_zamowienia_udzielane_w_ramach_projektow.pdf) [dostęp: 31.10.2022].

Wolak A., *Konflikt interesów w kontekście funduszy unijnych*, <https://www.gov.pl/web/popcwsparcie/konflikt-interesow-w-kontekscie-funduszy-unijnych> [dostęp: 25.10.2022].

Wytyczne Ministra Rozwoju i Finansów w zakresie kwalifikowalności wydatków w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Europejskiego Funduszu Społecznego oraz Funduszu Spójności na lata 2014-2020 w rozdziale 6.5 Zamówienia udzielane w ramach projektów, [https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/97405/wytyczne\\_w\\_zakresie\\_kwalifikowalnosci\\_wydatkow\\_21\\_12\\_2020\\_1.pdf](https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/97405/wytyczne_w_zakresie_kwalifikowalnosci_wydatkow_21_12_2020_1.pdf) [dostęp: 31.10.2022].

*Zamówienia w projektach*, <https://www.gov.pl/web/ncbr/zamowienia-w-projektach-power> [dostęp: 31.10.2022].

*Zasady udzielania zamówień publicznych*, <https://bof.org.pl/pl/realizuje-projekt/zasady-udzielania-zamowien-publicznych> [dostęp: 24.10.2022].

**Edyta SZCZEPANIUK**

 Lotnicza Akademia Wojskowa  
 e-mail: e.szczepaniuk@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0002-6707-2987

DOI: 10.55676/asi.v3i1.32

## WYBRANE ASPEKTY CYBERBEZPIECZEŃSTWA W LOTNICTWIE CYWILNYM

### SELECTED ASPECTS OF CYBERSECURITY IN CIVIL AVIATION

#### Streszczenie

Lotnictwo cywilne jest jednym z najważniejszych elementów globalnej infrastruktury transportowej, który odgrywa kluczową rolę w transporcie pasażerów i towarów. Rozwój nowych technologii i aktualne kierunki transformacji cyfrowej sprawiają, że coraz więcej obszarów lotnictwa cywilnego jest krytycznie uzależnionych od bezpiecznego funkcjonowania systemów informatycznych. Zależności te zwiększają ryzyko cyberataków, które mogą prowadzić do poważnych konsekwencji dla sektora lotniczego i bezpieczeństwa pasażerów. W związku z tym, cyberbezpieczeństwo jest jednym z kluczowych wyzwań dla lotnictwa cywilnego oraz stanowi istotne zagadnienie badawcze. Celem artykułu było przedstawienie problematyki cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym, z uwzględnieniem zagrożeń, regulacji prawnych oraz wymagań krajowego systemu cyberbezpieczeństwa RP. Na potrzeby realizacji przyjętego celu wykorzystano analizę i syntezę literatury przedmiotu, aktów prawnych oraz danych statystycznych. Wyniki badań dowodzą, że cyberbezpieczeństwo w lotnictwie cywilnym jest zagadnieniem interdyscyplinarnym, które wymaga podejścia systemowego i uwzględnienia aspektów bezpieczeństwa i ochrony. W artykule zaproponowano klasyfikację zagrożeń dla cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym, która może być rozwijana zarówno w obszarze eksponowanych zagrożeń, jak i dodatkowych kryteriów podziału. Analiza danych statystycznych wykazała, że w ostatnim czasie zwiększyła się ilość naruszeń danych, ataków *ransomware* i ataków DDoS na lotnictwo cywilne. W związku z rosnącym ryzykiem cyberataków podjęto szereg działań na rzecz cyberbezpieczeństwa. W artykule zaprezentowano ramy prawne cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym, które obejmują regulacje międzynarodowe, regionalne i krajowe. Przy czym, kluczowe są również dokumenty strategiczne, normy, standardy i rozwiązania branżowe. Lotnictwo cywilne jest także elementem krajowego systemu cyberbezpieczeństwa RP, co determinuje konieczność realizacji określonych wymagań przez zaangażowane podmioty.

**Słowa kluczowe:** cyberbezpieczeństwo, cyberzagrożenia, krajowy system cyberbezpieczeństwa, lotnictwo cywilne, ramy prawne

#### Abstract

Civil aviation is one of the most important elements of the global transport infrastructure, which plays a crucial role in transporting passengers and goods. The development of new technologies and current directions in digital transformation mean that an increasing number of areas within civil aviation are critically dependent on the secure functioning of computer systems. These dependencies increase the risk of cyberattacks, which can lead to serious consequences for the aviation sector and passenger safety. Therefore, cybersecurity is one of the significant challenges for civil aviation and is an important research topic. The article aims to present the issues of cybersecurity in civil aviation, taking into account the threats, legal framework, and requirements of the national cybersecurity system of the Republic of Poland. In order to achieve the adopted research objective, the analysis and synthesis of the literature on the subject, legal acts, and statistical data were used. The research results prove that cybersecurity in civil aviation is an interdisciplinary issue that requires a systemic approach and considers both safety and security aspects. The article proposes a classification of threats to cybersecurity in civil aviation, which can be developed both in the area of exposed threats and additional division criteria. Statistical data analysis has shown that recently there has been an increase in the number of data breaches, ransomware attacks, and DDoS attacks on civil aviation. Due to the growing risk of cyberattacks, a number of cybersecurity measures have been taken. The paper presents the legal framework of cybersecurity in civil aviation, which includes international, regional, and national regulations. Strategic documents, norms, standards, and industry solutions are also of key importance. Civil aviation is also an element of the national cybersecurity system of the Republic of Poland, which determines the need to meet specific requirements by the entities involved.

**Keywords:** cybersecurity, cyberthreats, national cybersecurity system, civil aviation, legal framework

## 1. WSTĘP

Rozwój nowych technologii i transformacja cyfrowa stanowią jeden z priorytetów wielu państw i organizacji międzynarodowych. Informatyzacja stwarza znaczące możliwości w zakresie rozwoju nowoczesnych sektorów gospodarki i usprawnienia procesów biznesowych w organizacjach. Opisywane trendy są także widoczne w sektorze lotniczym, który dynamicznie rozwija się w wyniku rosnącego popytu na usługi lotnicze oraz postępującej automatyzacji i cyfryzacji. Mając na uwadze aktualne kierunki transformacji cyfrowej, można przypuszczać, że w najbliższych latach coraz więcej obszarów lotnictwa cywilnego będzie krytycznie uzależnionych od bezpiecznego funkcjonowania systemów teleinformatycznych.

Analiza globalnego środowiska bezpieczeństwa pozwala dostrzec tendencje rozwojowe cyberzagrożeń dla lotnictwa cywilnego. Na problem ten zwróciła uwagę Europejska Agencja Unii Europejskiej ds. Cyberbezpieczeństwa (ENISA), która w raporcie dotyczącym incydentów cybernetycznych opublikowała dane o zagrożeniach w branży lotniczej za lata 2021–2022<sup>1</sup>. Odnosząc się do lat wcześniejszych, Europejska Organizacja ds. Bezpieczeństwa Żeglugi Powietrznej (EUROCONTROL) podała, że w 2020 r., liczba cyberataków w sektorze wzrosła o 530% w stosunku do roku poprzedniego<sup>2</sup>. Warto przy tym zaznaczyć, że cyberzagrozenia dla lotnictwa cywilnego mogą wpływać zarówno na jakość i efektywność świadczonych usług, jak i prowadzić do destabilizacji infrastruktury krytycznej oraz stanowić zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi.

Współcześnie wiele instytucji, państw i organizacji dostrzega potrzebę intensyfikacji działań na rzecz cyberbezpieczeństwa. Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO) podjęła inicjatywy w omawianym obszarze, do których można zaliczyć np. opracowanie Strategii Cyberbezpieczeństwa Lotnictwa<sup>3</sup> oraz Planu działań w zakresie cyberbezpieczeństwa<sup>4</sup>. Problematyka ta znalazła się także w obszarze zainteresowań Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA), która opracowała harmonogram działań na rzecz cyberbezpieczeństwa oraz zainicjowała powstanie Europejskiej Platformy Współpracy Strategicznej (ESCP) skupiającej interesariuszy branży lotniczej, przedstawicieli państw i instytucji Unii Europejskiej. Efektem tej współpracy było opracowanie europejskiej Strategii Cyberbezpieczeństwa w Lotnictwie<sup>5</sup>. Z zarysowanego kontekstu wynika, iż problematyka cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym jest jednym z wyzwań sektora lotniczego, co uzasadnia potrzebę badań dotyczących niniejszej problematyki.

Celem artykułu było przedstawienie problematyki cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym, z uwzględnieniem zagrożeń, regulacji prawnych oraz wymagań krajowego

<sup>1</sup> Zob. „ENISA Transport Threat Landscape”, ENISA, 2023, <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-transport-threat-landscape> [dostęp: 29.03.2023].

<sup>2</sup> „Think Paper #12: Aviation under attack: Faced with a rising tide of cybercrime, is our industry resilient enough to cope?”, EUROCONTROL EATM-CERT Services, 2021, <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-07/eurocontrol-think-paper-12-aviation-under-cyber-attack.pdf> [dostęp: 29.03.2023].

<sup>3</sup> Zob. „Aviation Cybersecurity Strategy”, ICAO, October 2019.

<sup>4</sup> Zob. „Cybersecurity Action Plan”, ICAO, January 2022.

<sup>5</sup> Zob. „Strategy for Cybersecurity in Aviation”, ESCP, First Issue, September 2019.

systemu cyberbezpieczeństwa RP. Na potrzeby realizacji przyjętego celu wykorzystano analizę i syntezę literatury przedmiotu, aktów prawnych oraz danych statystycznych.

## 2. ISTOTA CYBERBEZPIECZEŃSTWA W LOTNICTWIE CYWILNYM

Według ICAO cyberbezpieczeństwo obejmuje zbiór technologii, kontroli i środków oraz procesów i praktyk zaprojektowanych w celu zapewnienia poufności, integralności, dostępności, a także ogólnej ochrony systemów, sieci, programów, urzędów, informacji i danych przed atakiem, uszkodzeniem, nieautoryzowanym dostępem, użyciem i/lub eksploatacją<sup>6</sup>. W przywołanej definicji zwrócono uwagę na rozwiązania proceduralno-organizacyjne, teleinformatyczne i fizyczne ukierunkowane na zapewnienie atrybutów bezpieczeństwa informacji oraz ochronę przed zagrożeniami.

Problematyka cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym wymaga kompleksowego podejścia uwzględniającego następujące aspekty:

1. Akty prawne, dokumenty strategiczne, normy i standardy – prawo powszechnie obowiązujące ma kluczowe znaczenie, ponieważ określa ramy prawne oraz wymagania w zakresie cyberbezpieczeństwa. Dokumenty strategiczne wskazują wizję, priorytety i perspektywy rozwoju lotnictwa cywilnego w aspekcie ochrony przed cyberzagrożeniami. Natomiast normy i standardy ujednolicają dobre praktyki, które mogą przyczynić się do zwiększenia poziomu cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym. Mając na uwadze powyższe, istotne jest, aby regulacje odpowiadały aktualnym i przyszłym wyzwaniom w zakresie cyberbezpieczeństwa w sektorze lotniczym.
2. Systemy i urządzenia wykorzystywane w lotnictwie cywilnym – są to rozwiązania o krytycznym znaczeniu dla operacji lotniczych, zarządzania portami lotniczymi oraz zapewniają łączność, przetwarzanie i udostępnianie danych między poszczególnymi podmiotami i systemami. Obejmują one m.in. systemy zarządzania ruchem lotniczym, systemy nawigacyjne oraz systemy informatyczne dedykowane dla pasażerów, takie jak np. systemy rezerwacji biletów lotniczych. Elementy te mogą być obiektem cyberataków, stąd też istotne znaczenie ma analiza ich podatności, zarządzanie ryzykiem i wdrożenie rozwiązań minimalizujących ryzyko. W literaturze przedmiotu wskazuje się także trendy technologiczne, jak np. inteligentne porty lotnicze<sup>7</sup>. Koncepcja ta bazuje głównie na technologii IoT, która posiada wiele problemów związanych z bezpieczeństwem<sup>8</sup>. W związku z tym, zagadnienie to wymaga intensyfikacji badań naukowych.

<sup>6</sup> Zob. „Cybersecurity Action Plan”, dz. cyt.

<sup>7</sup> Zob. J. Thums, L. Künzel, M. Klumpp, M. Bardmann, C. Ruiner, *Future air transportation and digital work at airports – Review and developments*, „Transportation Research Interdisciplinary Perspectives” 2023, nr 19, <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100808> [dostęp: 13.04.2023].

<sup>8</sup> Zob. N. Koroniotis, N. Moustafa, F. Schiliro, P. Gauravaram, H. Janicke, *A Holistic Review of Cybersecurity and Reliability Perspectives in Smart Airports*, „IEEE Access” 2020, nr 8, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3036728> [dostęp: 13.04.2023], s. 209802–209834; H. Szczepaniuk, E. Szczepaniuk, *Cybersecurity Management within the Internet of Things*, [w:] *IoT Security Paradigms and Applications Research and Practices*, red. S.K. Sharma, B. Bhushan, N.C. Debnath, Taylor & Francis, Boca Raton 2021, s. 25–41.

3. Polityki, procedury i zarządzanie bezpieczeństwem – lotnictwo cywilne jest złożonym systemem obejmującym wiele podmiotów, które powinny wdrożyć dedykowane procedury i rozwiązania w zakresie cyberbezpieczeństwa, odpowiednie do specyfiki prowadzonej działalności. Istotnym aspektem jest aktualizacja polityk i procedur oraz zapewnienie ich zgodności z przepisami prawnymi oraz wymaganiami bezpieczeństwa lotniczego, w tym z normami i standardami branżowymi. Do kluczowych rozwiązań wewnętrznych można zaliczyć np. dokumenty określające zasady kontroli dostępu, procedury zarządzania incydentami bezpieczeństwa oraz procedury zarządzania ryzykiem. Ponadto, w literaturze przedmiotu<sup>9</sup> oraz dokumentach<sup>10</sup> zwraca się uwagę na potrzebę włączenia zagadnień cyberbezpieczeństwa do koncepcji Zintegrowanych Systemów Zarządzania Bezpieczeństwem w Lotnictwie Cywilnym.
4. Zabezpieczenia fizyczne, techniczne i teleinformatyczne – podstawową funkcją zabezpieczeń jest minimalizowanie ryzyka zagrożeń oraz ograniczenie możliwości nieuprawnionego dostępu do budynków, pomieszczeń, urządzeń i systemów. Warto przy tym zaznaczyć, iż w wielu normach i standardach do zabezpieczeń zalicza się także omówione wcześniej rozwiązania proceduralno-organizacyjne oraz zagadnienia bezpieczeństwa osobowego będące przedmiotem dalszej charakterystyki<sup>11</sup>. Innymi słowy, poszczególne zabezpieczenia są wzajemnie komplementarne oraz implementowane łącznie zwiększają skuteczność ochrony przed zagrożeniami. Do przykładowych rozwiązań można zaliczyć: kontrolę dostępu, systemy detekcji ruchu, systemy IDS/IPS zabezpieczenia biometryczne oraz szyfrowanie danych i transmisji.
5. Czynniki ludzkie – potrzeba zwiększenia świadomości i kompetencji w obszarze cyberbezpieczeństwa wynika z rosnącą liczbą cyberataków wykorzystujących podatność czynnika ludzkiego na zagrożenia. W literaturze przedmiotu ukształtowało się pojęcie cyberhigieny, które odnosi się do zbioru zasad i zachowań zwiększających bezpieczeństwo użytkowników indywidualnych oraz mających pozytywny wpływ na organizację<sup>12</sup>. Istotnym aspektem jest więc włączenie zagadnień cyberbezpieczeństwa do kultury bezpieczeństwa w organizacjach. ICAO podkreśla, że ustanowienie kultury cyberbezpieczeństwa, jako integralnej części kultury organizacji sprzyja poprawie ogólnych wyników w zakresie ochrony przed cyberzagrożeniami<sup>13</sup>. Kluczowym elementem w tym obszarze jest np. wdrożenie programów edukacyjnych, regularnych kursów i szkoleń dla pracowników<sup>14</sup>.

<sup>9</sup> Zob. M. Khatun, F. Wagner, R. Jung, M. Glaß, *Identification of Interface related Factors between Safety Management System and Cybersecurity Management System for Highly Automated Driving Vehicles*, [w:] *Proceedings of the 25th International Conference on Enterprise Information Systems*, red. J. Filipe, M. Śmiątek, A. Brodsky, S. Hammoudi, SciTePress, Prague 2023, s. 21–30.

<sup>10</sup> Zob. „Krajowy Program Bezpieczeństwa w Lotnictwie Cywilnym”, ULC, Warszawa 2020.

<sup>11</sup> Zob. PN-EN ISO 27001:2017-06, „Technika informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Systemy zarządzania bezpieczeństwem informacji – Wymagania”, PKN, Warszawa 2017.

<sup>12</sup> E. Szczepaniuk, H. Szczepaniuk, *Analysis of cybersecurity competencies: Recommendations for telecommunications policy*, „Telecommunications Policy” 2022, nr 46(3), <https://doi.org/10.1016/j.tel-pol.2021.102282> [dostęp: 13.04.2023].

<sup>13</sup> „Cybersecurity Culture in Civil Aviation”, ICAO, January 2022, <https://www.icao.int/aviationcybersecurity/Documents/Cybersecurity%20Culture%20in%20Civil%20Aviation.EN.pdf> [dostęp: 2.04.2023].

<sup>14</sup> M. Zmigrodzka, *Cybersecurity – One of the Greatest Challenges for Civil Aviation in the 21st Century*, „Safety & Defense” 2020, nr 6(2), <https://doi.org/10.37105/sd.73> [dostęp: 13.04.2023], s. 33–41.



6. Współpraca międzynarodowa – lotnictwo cywilne jest jednym z najistotniejszych sektorów transportu międzynarodowego, który wymaga współpracy w zakresie cyberbezpieczeństwa między państwami, organizacjami i innymi podmiotami, jak np. linie lotnicze, porty lotnicze, dostawcy usług teleinformatycznych i ośrodki naukowo-badawcze. Przykładowo współpraca może obejmować opracowanie dokumentów strategicznych, standardów i innych regulacji, wymianę informacji i doświadczeń, współpracę operacyjną i koordynację działań, walkę z cyberprzestępczością oraz realizację wspólnych szkoleń, ćwiczeń i symulacji na potrzeby zwiększenia zdolności reagowania na incydenty.

Podsumowując, cyberbezpieczeństwo w lotnictwie cywilnym jest dziedziną interdyscyplinarną, która wymaga podejścia systemowego i uwzględnienia zarówno aspektów bezpieczeństwa (ang. *safety*), jak i ochrony (ang. *security*). Przy czym, środowisko bezpieczeństwa jest zmienne, stąd zasadne jest ciągłe doskonalenie istniejących rozwiązań i uwzględnienie dynamiki zagrożeń w cyberprzestrzeni. W literaturze przedmiotu podkreśla się, iż kluczowe w tym zakresie jest prowadzenie systematycznej oceny ryzyka cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym, ponieważ umożliwia ono identyfikację zagrożeń i ocenę prawdopodobieństwa ich wystąpienia, a także ograniczenie ryzyka do poziomu akceptowalnego za pomocą zabezpieczeń<sup>15</sup>. Rozwój cyfryzacji i automatyzacji w lotnictwie cywilnym sprawia, że cyberbezpieczeństwo jest warunkiem zapewnienia dostępności i integralności operacji lotniczych oraz ochrony przed cyberzagrożeniami.

### 3. ZAGROŻENIA DLA CYBERBEZPIECZEŃSTWA W LOTNICTWIE CYWILNYM

W ustawie o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa zagrożenie cyberbezpieczeństwa zdefiniowano jako „potencjalną przyczynę incydentu bezpieczeństwa”<sup>16</sup>. Natomiast pojęcie »incydent« oznacza „zdarzenie, które ma lub może mieć niekorzystny wpływ na cyberbezpieczeństwo”<sup>17</sup>. Biorąc pod uwagę charakterystykę przedstawioną w poprzedniej sekcji, można przyjąć, że zagrożeniem dla cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym będzie każde zdarzenie, które narusza lub może naruszyć atrybuty bezpieczeństwa informacji systemów wykorzystywanych w lotnictwie cywilnym, w tym także dane i usługi oferowane przez te systemy.

Zagrożenia dla cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym obejmują szerokie spektrum zjawisk, które mogą być przyczyną incydentów bezpieczeństwa. W związku z ich złożoną specyfiką w tabeli 1 zaproponowano klasyfikację zagrożeń dla cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym. Typologia obejmuje różne kryteria podziału i przykłady zagrożeń, a także referencje do przykładowych publikacji odnoszących się do wymienionych zagrożeń dla cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym.

<sup>15</sup> A.A. Elmarady, K. Rahouma, *Studying Cybersecurity in Civil Aviation, Including Developing and Applying Aviation Cybersecurity Risk Assessment*, „IEEE Access” 2021, nr 9, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3121230> [dostęp: 13.04.2023], s. 143997–144016.

<sup>16</sup> Ustawa z dnia 5 lipca 2018 r. o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa (Dz.U. z 2018 r., poz. 1560).

<sup>17</sup> Tamże.

Tabela 1 nie wyczerpuje problematyki klasyfikacji zagrożeń dla cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym, ale obejmuje wybrane ich przykłady wyszczególnione w oparciu o różne kryteria podziału. Zagrożenia mogą być przykładowo analizowane także według: skutków<sup>18</sup>, aktorów zagrożeń<sup>19</sup>, wybranych modeli (np. metodyka ATT&CK MITRE<sup>20</sup>) lub konkretnych urządzeń i systemów lotnictwa cywilnego<sup>21</sup>. Warto przy tym zaznaczyć, że zastosowanie konkretnej typologii jest determinowane w szczególności celem prowadzonej identyfikacji oraz specyfiką organizacji i stosowanych w niej systemów. Ogólnie można przyjąć, iż identyfikacja zagrożeń jest niezbędnym elementem zarządzania ryzykiem, wspomaga podejmowanie decyzji w zakresie wyboru odpowiedniej strategii ochronnej, sprzyja rozpoznaniu podatności urządzeń i systemów, wpływa na kształtowanie kultury organizacyjnej oraz jest stosowana w inżynierii oprogramowania.

Tabela 1. Klasyfikacja zagrożeń dla cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym

Kryterium klasyfikacji	Klasyfikacja i przykłady zagrożeń	Przykłady referencji
Lokalizacja źródła	- zewnętrzne – intencjonalny atak z zewnątrz na systemy informacyjne lotnictwa, np. atak zagłuszający (ang. <i>Jamming</i> ), - wewnętrzne – zagrożenia umyślne i nieumyślne, np. błąd ludzki, nieuprawnione udostępnienie danych wrażliwych, przekroczenie uprawnień	Cieślak <sup>22</sup> Felski <sup>23</sup>
Przyczyna, źródło	- naturalne – katastrofy naturalne, ekstremalne warunki pogodowe, które mogą powodować np. zakłócenia w telekomunikacji lotniczej, - techniczne – awarie techniczne np. systemów i urządzeń telekomunikacji lotniczej, - działalność człowieka – zagrożenia umyślne i nieumyślne, m.in. fałszowanie sygnału i podszywanie się (ang. <i>Spoofing</i> ), np. ataki na systemy nawigacji satelitarnej	Bielawski <sup>24</sup> Cieślak <sup>25</sup>
Obiekt ataku	- ataki na systemy kontroli ruchu lotniczego, - ataki na systemy nawigacyjne, - ataki na systemy Internetu Rzeczy itp.	Habler i in. <sup>26</sup>

<sup>18</sup> Zob. L. Zeng, B. Wang, J. Tian, Z. Wang, *Threat impact analysis to air traffic control systems through flight delay modeling*, „Computers & Industrial Engineering” 2021, nr 162, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107731> [dostęp: 13.04.2023].

<sup>19</sup> Zob. E. Habler, R. Bitton, A. Shabtai, *Evaluating...*, dz. cyt.

<sup>20</sup> Zob. X. Yu, H. Man, X. Jiyu, *Impact of Emerging Network Attack and Defense Technologies on Civil Aviation Information Systems*, 2021 IEEE 3rd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology, Changsha, 2021, <https://doi.org/10.1109/ICCASIT53235.2021.9633537> [dostęp: 13.04.2023], s. 1170–1174.

<sup>21</sup> Zob. M.R. Manesh, N. Kaabouch, *Analysis of vulnerabilities, attacks, countermeasures and overall risk of the Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) system*, „International Journal of Critical Infrastructure Protection” 2017, nr 19, <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2017.10.002> [dostęp: 13.04.2023], s. 16–31.

<sup>22</sup> Zob. E. Cieślak, *Bezpieczeństwo cybernetyczne w lotnictwie cywilnym*, „SECRETUM. Służby specjalne, bezpieczeństwo, informacja” 2016, nr 2(5), s. 71–82.

<sup>23</sup> Zob. A. Felski, *Strategie monitorowania zagrożeń systemu EGNOS*, [w:] *Wybrane aspekty zabezpieczenia nawigacji lotniczej*, cz. 2, red. J. Ćwiklak, LAW, Dęblin 2020, s. 67–82.

<sup>24</sup> Zob. R. Bielawski, *Bezpieczeństwo bezałogowych systemów powietrznych w środowisku zakłóceń*, „O Bezpieczeństwie i Obronności” 2019, nr 2, s. 193–212.

<sup>25</sup> Zob. E. Cieślak, *Bezpieczeństwo...*, dz. cyt.

<sup>26</sup> Zob. E. Habler, R. Bitton, A. Shabtai, *Evaluating the Security of Aircraft Systems*, <https://arxiv.org/pdf/2209.04028.pdf> [dostęp: 13.04.2023].

Atrybuty bezpieczeństwa informacji	- ataki na poufność – np. atak MITM (ang. <i>Man in the Middle</i> ) na systemy komunikacji radiowej, - ataki na integralność – np. atak <i>SQL Injection</i> w formularzu rezerwacji biletów lotniczych, - ataki na dostępność – np. atak DDoS (ang. <i>Distributed Denial of Service</i> ) na systemy kontroli ruchu lotniczego; atak <i>Ransomware</i> na systemy IT portu lotniczego	Handler <sup>27</sup> Ishtiaq i in. <sup>28</sup> Kumar i in. <sup>29</sup> Zhang i in. <sup>30</sup>
Model STRIDE	- <i>Spoofing</i> – podszywanie się, np. <i>Phishing</i> ; fałszowanie sygnałów GPS, - <i>Tampering</i> – manipulacja, modyfikacja, np. sabotaż systemów sterowania lotem; włamania do systemu kontroli lotów w celu modyfikacji parametrów; atak <i>SQL Injection</i> , - <i>Repudiation</i> – odrzucenie, zaprzeczenie, np. atak typu <i>Replay</i> przeprowadzony w celu ukrycia śladów ataku, - <i>Information disclosure</i> – ujawnienie informacji, np. atak na systemy rezerwacji biletów, atak XSS (ang. <i>Cross-Site Scripting</i> ) w celu uzyskania i ujawnienia danych osobowych, - <i>Denial of Service</i> – odmowa usługi, np. atak DDoS na serwery w celu uniemożliwienia obsługi ruchu lotniczego, - <i>Elevation of privileges</i> – podniesienie uprawnień, np. nieuprawnione uzyskanie dostępu do systemów; atak typu przepełnienie bufora (ang. <i>buffer overflow</i> ) w celu przejścia kontroli nad systemem	Alqushayr <sup>31</sup> Tsao i in. <sup>32</sup>
Model TCP/IP (lub model OSI)	- ataki w warstwie aplikacji – np. łamanie haseł; atak słownikowy (ang. <i>dictionary attack</i> ) na systemy przetwarzania danych pasażerów, - ataki w warstwie transportowej – np. atak MITM, atak DDoS, atak SYN flood, - ataki w warstwie Internet – np. IP <i>Spoofing</i> , - ataki w warstwie dostępu do sieci – np. GPS <i>Spoofing</i>	Siergiejczyk i in. <sup>33</sup> Tsao i in. <sup>34</sup>

Źródło: opracowanie własne.

Odnosząc się do współczesnego środowiska bezpieczeństwa sektora lotniczego, istotnym źródłem informacji są dane dotyczące incydentów bezpieczeństwa. Jako przykład można tu wskazać interaktywną mapę odnotowanych cyberataków<sup>35</sup>, która jest opracowana i aktualizowana przez Europejski Zespół Reagowania na Incydenty Komputerowe w Zarządzaniu Ruchem Lotniczym (EATM-CERT), czyli jednostkę

<sup>27</sup> Zob. S. Handler, E. Schroeder, F. Schroeder, T. Herr, *Countering Ransomware: Lesson from Aircraft Hijacking*, <https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep35077.pdf> [dostęp: 14.04.2023].

<sup>28</sup> Zob. S. Ishtiaq, N.A. Abd Rahman, *Cybersecurity Vulnerabilities and Defence Techniques in Aviation Industry*, [w:] *International Conference on Integrated Intelligent Computing Communication & Security*, Atlantis Press 2021, <https://doi.org/10.2991/ahis.k.210913.071> [dostęp: 13.04.2023], s. 559–567.

<sup>29</sup> Zob. M. Surendra Kumar, G.S. Kasbekar, A. Maity, *Identification of GPS Spoofing as a Drone Cyber-vulnerability and Evaluation of Efficacy of Asynchronous GPS spoofing*, „IFAC-PapersOnLine” 2022, nr 55(22), <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.03.066> [dostęp: 13.04.2023], s. 394–399.

<sup>30</sup> Zob. R. Zhang, G. Liu, J. Liu, J.P. Nees, *Analysis of Message Attacks in Aviation Data-Link Communication*, „IEEE Access” 2018, nr 6, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2767059> [dostęp: 13.04.2023], s. 455–463.

<sup>31</sup> Zob. D.F. Alqushayri, *Cybersecurity Vulnerability Analysis and Countermeasures of Commercial Aircraft Avionic Systems*, <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1519&context=edt> [dostęp: 17.04.2023].

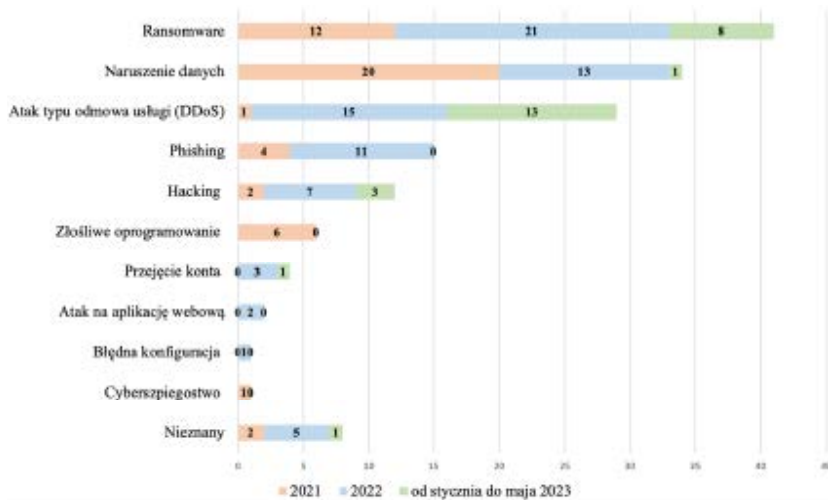
<sup>32</sup> Zob. K.-Y. Tsao, T. Girdler, V.G. Vassilakis, *A survey of cyber security threats and solutions for UAV communications and flying ad-hoc networks*, „Ad Hoc Networks” 2022, nr 133, <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2022.102894> [dostęp: 13.04.2023].

<sup>33</sup> Zob. M. Siergiejczyk, E. Dudek, *Problematyka bezpieczeństwa informacyjnego w systemach wymiany danych lotniczych*, „Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport” 2017, t. 118, s. 235–246.

<sup>34</sup> Zob. K.-Y. Tsao, T. Girdler, V.G. Vassilakis, *A survey...*, dz. cyt.

<sup>35</sup> EATM-CERT Aviation Cyber Events Map, <https://www.google.com/maps/d/embed?mid=1ptVlma0CZqo-PiN-zsomzbrVQDRS7BXGk> [dostęp: 6.06.2023].

powołaną przez EUROCONTROL. Na podstawie przeglądu cyberataków zamieszczonych na mapie opracowano rysunek 1, który przedstawia zagregowane dane o cyberatakach w sektorze lotniczym w latach 2021–2022 oraz od stycznia do maja 2023 r.



Rys. 1. Incydenty bezpieczeństwa w sektorze lotniczym

Źródło: opracowanie własne na podstawie: EATM-CERT..., dz. cyt.

Zgodnie z rysunkiem 1 w okresie od stycznia 2021 r. do maja 2023 r. odnotowano łącznie 153 incydenty bezpieczeństwa w sektorze lotniczym. W analizowanym okresie najwięcej zgłoszono ataków: *ransomware* (26,8%), naruszenia danych (22,2%) oraz DDoS (19%). Porównując natomiast dwa pełne lata, w 2022 r. zrealizowano o 175% więcej ataków *ransomware* w stosunku do roku poprzedniego. Atak ten polega na zaszyfrowaniu plików przechowywanych na dysku lokalnym lub w lokalizacji sieciowej oraz na żądaniu wpłacenia środków finansowych w zamian za podanie klucza deszyfrującego. Jako przykład można tu wskazać atak *ransomware* na Agencję ds. Bezpieczeństwa Żeglugi Powietrznej w Afryce i na Madagaskarze (ASECNA)<sup>36</sup>. Kolejny z wymienionych incydentów związany z naruszeniem danych dotyczy nieuprawnionego dostępu do informacji wrażliwych, któremu często towarzyszy ich udostępnienie. Przykładem jest atak na tureckie linie lotnicze Pegasus Airlines, który doprowadził do ujawnienia 23 milionów plików o łącznym rozmiarze 6,5 TB<sup>37</sup>. Ataki DDoS są następnym, istotnym zagrożeniem dla branży lotniczej. Warto przy tym zaznaczyć, że w 2022 r. nastąpił wzrost tych ataków o 1500% w porównaniu do 2021 r. Do przykładowych incydentów można zaliczyć ataki na porty lotnicze w Słowacji i w Bułgarii<sup>38</sup>. Inne istotne rodzaje ataków w latach 2021 – marzec 2023 to *phishing* (9,8%) oraz *hacking* (7,8%). Najmniej incydentów dotyczyło złośliwego oprogramowania (3,9%), przejęcia konta (2,6%),

<sup>36</sup> Tamże.

<sup>37</sup> Tamże.

<sup>38</sup> Tamże.

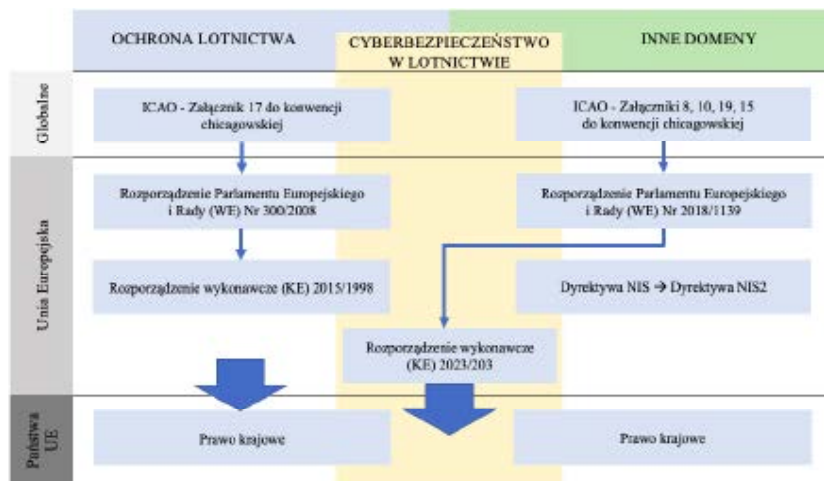
ataków na aplikacje webowe (1,3%), błędnej konfiguracji (0,7%) oraz cyberszpiegostwa (0,7%). Przy czym, około 5,2% ataków zaklasyfikowano jako „nieznany”.

Podsumowując rozważania zawarte w niniejszej części artykułu, można stwierdzić, iż w ostatnich latach nasiliły się cyberzagrożenia dla lotnictwa cywilnego. Odnotowane w ostatnim czasie incydenty cyberbezpieczeństwa dotyczyły głównie ataków: *ransomware*, naruszenia danych oraz DDoS. Tego typu działania są motywowane w szczególności względami finansowymi, uzyskaniem dostępu do danych wrażliwych oraz w przypadku niektórych zagrożeń także czynnikami politycznym, religijnym i ideologicznym. Z punktu widzenia bezpieczeństwa narodowego i obronności szczególnie niebezpieczne są także ataki typu APT, których celem jest często działalność cyberszpiegowska lub osłabienie zdolności danego państwa.

#### 4. RAMY PRAWNE CYBERBEZPIECZEŃSTWA W LOTNICTWIE CYWILNYM

W ostatnich latach konieczne stało się podjęcie działań na rzecz cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym, ze względu na rosnące zagrożenia związane z cyberatakami. Skala tych zagrożeń i ich potencjalnych skutków skłoniła interesariuszy lotnictwa cywilnego do wdrożenia inicjatyw mających na celu poprawę cyberbezpieczeństwa w sektorze<sup>39</sup>. Regulacje prawne stanowią istotny element funkcjonowania lotnictwa cywilnego, bowiem mogą określać obowiązki w zakresie wdrożenia konkretnych rozwiązań.

Na rysunku 2 przedstawiono główne akty prawne odnoszące się do cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym z uwzględnieniem perspektywy międzynarodowej, unijnej i krajowej.



Rys. 2. Ramy prawne cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym

Źródło: opracowanie na podstawie: „Strategy for Cybersecurity in Aviation”, dz. cyt.

<sup>39</sup> E. Cieślak, *Bezpieczeństwo...*, dz. cyt., s. 8.

Zgodnie z rysunkiem 2 wymagania prawne w zakresie cyberbezpieczeństwa są zawarte zarówno w regulacjach dotyczących ochrony lotnictwa, jak i w aktach prawnych dotyczących innych dziedzin. Odnosząc się do poszczególnych przepisów, w załączniku 17 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym (konwencja chicagowska), dodano normę 4.9.1 oraz zalecenie 4.9.2. W normie określono konieczność identyfikacji w dokumentach krajowych krytycznych systemów technologii ICT i danych, które są wykorzystywane w lotnictwie cywilnym, a także opracowanie i wdrożenie środków wynikających z oceny ryzyka oraz zapewniających ochronę tych systemów i danych przed bezprawną ingerencją. Natomiast zalecenie odnosi się do zapewnienia atrybutów bezpieczeństwa informacji i ochrony zidentyfikowanych systemów krytycznych i danych. Jako zalecane środki wskazano np. zapewnienie bezpieczeństwa na etapie projektowania systemu, ochronę łańcucha dostaw, separację sieci, ochronę bądź ograniczenie możliwości zdalnego dostępu<sup>40</sup>. Ponadto w europejskiej Strategii Cyberbezpieczeństwa w Lotnictwie zaznaczono, iż kompleksowe podejście do omawianej problematyki może wymagać uwzględnienia postanowień dotyczących poufności, integralności i dostępności, także w innych załącznikach do konwencji chicagowskiej, tj. 8, 10, 19 i 15<sup>41</sup>.

Do innych dokumentów ICAO można zaliczyć Strategię Cyberbezpieczeństwa Lotnictwa, która określa filary cyberbezpieczeństwa, tj.: współpraca międzynarodowa, zarządzanie, ustawodawstwo i regulacje, polityka cyberbezpieczeństwa, udostępnianie informacji, zarządzanie incydentami i planowanie awaryjne oraz budowanie potencjału, szkolenia i kultura cyberbezpieczeństwa<sup>42</sup>. Założenia określone w Strategii zostały doprecyzowane w Planie działań w zakresie cyberbezpieczeństwa. W dokumencie tym dla każdego z filarów wymienionych w Strategii przyjęto 32 działania, które zostały podzielone na 51 zadań zalecanych do realizacji<sup>43</sup>. Problematyka cyberbezpieczeństwa została podkreślona także w rezolucjach Zgromadzenia ICAO. Najnowszym dokumentem w omawianym zakresie jest rezolucja A41-19 z 2022 r., która określa zestaw działań w zakresie przeciwdziałania zagrożeniom cybernetycznym dla lotnictwa cywilnego<sup>44</sup>.

Przechodząc do regulacji unijnych, kluczowym dokumentem jest Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 300/2008, które jako jeden z głównych celów wskazało opracowanie podstaw do interpretacji załącznika 17 do konwencji chicagowskiej w odniesieniu do normy i zalecenia w zakresie cyberbezpieczeństwa<sup>45</sup>. Kolejnym dokumentem jest Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2015/1998 ustanawiające szczegółowe środki w celu wprowadzenia w życie wspólnych norm

<sup>40</sup> Załącznik 17 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, „Ochrona międzynarodowego lotnictwa cywilnego przed Aktami Bezprawnej Ingerencji”, ICAO, marzec 2020.

<sup>41</sup> „Strategy for Cybersecurity in Aviation”, dz. cyt.

<sup>42</sup> „Aviation Cybersecurity Strategy...”, dz. cyt.

<sup>43</sup> Zob. „Cybersecurity Action Plan”, dz. cyt.

<sup>44</sup> Resolution A41-19: Addressing Cybersecurity in Civil Aviation, ICAO, <https://www.icao.int/aviationcybersecurity/Documents/A41-19.pdf> [dostęp: 24.04.2023].

<sup>45</sup> Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 300/2008 z dnia 11 marca 2008 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie ochrony lotnictwa cywilnego i uchylające rozporządzenie (WE) nr 2320/2002 (OJ L 97, 9.4.2008).

ochrony lotnictwa cywilnego<sup>46</sup>. Rozporządzenie to było kilkakrotnie nowelizowane, przy czym istotne środki bezpieczeństwa cybernetycznego wprowadziło Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/1583<sup>47</sup>. W regulacji jednym z podstawowych założeń jest identyfikacja systemów technologii ICT i danych krytycznych oraz ich ochrona przed cyberzagrożeniami. Inną istotną regulacją jest Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139, które określa wspólne zasady lotnictwa cywilnego oraz doprecyzowuje zadania Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA). W rozporządzeniu podkreślono m.in. konieczność współpracy oraz stosowania środków uwzględniających zależności między różnymi obszarami bezpieczeństwa lotniczego oraz bezpieczeństwem lotniczym, cyberbezpieczeństwem, a także innymi technicznymi obszarami uregulowań dotyczących lotnictwa<sup>48</sup>. Zasady zarządzania ryzykiem w bezpieczeństwie informacji zdefiniowano w Rozporządzeniu wykonawczym Komisji (UE) 2023/203. Regulacja wprowadza wymagania dotyczące systemu zarządzania bezpieczeństwem informacji, oceny ryzyka, postępowania z ryzykiem, zarządzania incydentami bezpieczeństwa oraz podkreśla potrzebę ciągłego doskonalenia<sup>49</sup>.

Kontynuując charakterystykę regulacji unijnych, kluczowe znaczenie ma także tzw. Dyrektywa NIS<sup>50</sup> i jej zrewidowana wersja tzw. Dyrektywa NIS2<sup>51</sup>. Dokumenty te zobowiązały państwa członkowskie do wdrożenia rozwiązań w dziedzinie cyberbezpieczeństwa, w tym także w lotnictwie cywilnym. Wśród istotnych założeń jest

<sup>46</sup> Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2015/1998 z dnia 5 lipca 2015 r. ustanawiające szczegółowe środki w celu wprowadzenia w życie wspólnych podstawowych norm ochrony lotnictwa cywilnego (OJ L 299.1, 14.11.2015).

<sup>47</sup> Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/1583 z dnia 25 września 2019 r. zmieniające rozporządzenie wykonawcze (UE) 2015/1998 ustanawiające szczegółowe środki w celu wprowadzenia w życie wspólnych podstawowych norm ochrony lotnictwa cywilnego w odniesieniu do środków w zakresie cyberbezpieczeństwa (OJ L 246, 26.9.2019).

<sup>48</sup> Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 z dnia 4 lipca 2018 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie lotnictwa cywilnego i utworzenia Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego oraz zmieniające rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 2111/2005, (WE) nr 1008/2008, (UE) nr 996/2010, (UE) nr 376/2014 i dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/30/UE i 2014/53/UE, a także uchylające rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 552/2004 i (WE) nr 216/2008 i rozporządzenie Rady (EWG) nr 3922/91 (PE/2/2018/REV/1).

<sup>49</sup> Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2023/203 z dnia 27 października 2022 r. ustanawiające zasady stosowania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 w kwestii wymagań dotyczących zarządzania ryzykiem związanym z bezpieczeństwem informacji o potencjalnym wpływie na bezpieczeństwo lotnicze w odniesieniu do organizacji objętych zakresem stosowania rozporządzeń Komisji (UE) nr 1321/2014, (UE) nr 965/2012, (UE) nr 1178/2011, (UE) 2015/340, rozporządzeń wykonawczych Komisji (UE) 2017/373 i (UE) 2021/664 oraz właściwych organów objętych zakresem stosowania rozporządzeń Komisji (UE) nr 748/2012, (UE) nr 1321/2014, (UE) nr 965/2012, (UE) nr 1178/2011, (UE) 2015/340, rozporządzeń wykonawczych Komisji (UE) 2017/373, (UE) nr 139/2014 i (UE) 2021/664 oraz zmieniające rozporządzenia Komisji (UE) nr 1178/2011, (UE) nr 748/2012, (UE) nr 965/2012, (UE) nr 139/2014, (UE) nr 1321/2014, (UE) 2015/340 oraz rozporządzenia wykonawcze Komisji (UE) 2017/373 i (UE) 2021/664 (OJ L 31, 2.2.2023).

<sup>50</sup> Zob. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1148 z dnia 6 lipca 2016 r. w sprawie środków na rzecz wysokiego wspólnego poziomu bezpieczeństwa sieci i systemów informatycznych na terytorium Unii (OJ L 191/1, 19.7.2016).

<sup>51</sup> Zob. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2555 z dnia 14 grudnia 2022 r. w sprawie środków na rzecz wysokiego wspólnego poziomu cyberbezpieczeństwa na terytorium Unii, zmieniająca rozporządzenie (UE) nr 910/2014 i dyrektywę (UE) 2018/1972 oraz uchylająca dyrektywę (UE) 2016/1148 (dyrektywa NIS2) (OJ L 333, 27.12.2022).

obowiązek wdrożenia krajowych regulacji zapewniających zgodność z przepisami unijnymi, w tym odnoszących się m.in. do kwestii zarządzania ryzykiem, zarządzania incydentami i zarządzania ciągłością działania<sup>52</sup>.

Przechodząc do ostatniego poziomu regulacji wyszczególnionych na rysunku 2, obejmuje on prawo krajowe uchwalone w poszczególnych państwach. Jako przykład można tu wskazać ustawę o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa, która implementuje do krajowego systemu prawnego przywołaną wcześniej dyrektywę NIS. W związku z tym, że jest to pierwszy akt prawny rangi ustawowej regulujący kompleksowo kwestie cyberbezpieczeństwa, zostanie on szerzej omówiony w następnej części artykułu.

Wymienione w publikacji regulacje dowodzą złożoności systemu prawnego dotyczącego cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym. Warto przy tym zaznaczyć, że nie wyczerpują one w całości omawianego zagadnienia, ale określają ogólne ramy prawne. Wśród innych wartych uwagi można wskazać m.in. reguły EASA, np. RMT.0648, odnosząca się do cyberbezpieczeństwa statków powietrznych<sup>53</sup>, bądź RMT.0720, wprowadzająca zasady zarządzania ryzykiem<sup>54</sup>. Istotne są także normy, standardy i inne dokumenty związane z przemysłem lotniczym. Wartymi uwagi są np. dokumenty Europejskiej Organizacji ds. Bezpieczeństwa Żeglugi Powietrznej (EUROCONTROL)<sup>55</sup>, Międzynarodowego Zrzeszenia Przewoźników Powietrznych (IATA)<sup>56</sup> czy Organizacji Służb Cywilnej Żeglugi Powietrznej (CANSO)<sup>57</sup>. W praktyce wdrażania rozwiązań w zakresie cyberbezpieczeństwa stosowane są także normy i standardy opracowane przez organizacje niezwiązane z branżą lotniczą, np. przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ISO) bądź Narodowy Instytut Standaryzacji i Technologii (NIST).

## 5. LOTNICTWO CYWILNE JAKO ELEMENT KRAJOWEGO SYSTEMU CYBERBEZPIECZEŃSTWA RP

Dyrektywa NIS jest regulacją unijną, która w istotnym stopniu wpłynęła na funkcjonowanie krajowych rozwiązań w zakresie cyberbezpieczeństwa. W dyrektywie wskazano sektory objęte jej przepisami, wśród których jest m.in. transport lotniczy. Jak już wspomniano w poprzedniej sekcji, aktem prawnym implementującym w Polsce unijny dokument jest ustawa o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa. Ustawa była kilkakrotnie nowelizowana, przy czym w przyszłości można spodziewać się

<sup>52</sup> D. Markopoulou, V. Papakonstantinou, P. Hert, *The new EU cybersecurity framework: The NIS Directive, ENISA's role and the General Data Protection Regulation*, „Computer Law & Security Review” 2019, nr 35(6), <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2019.06.007> [dostęp: 27.04.2023].

<sup>53</sup> Zob. „Aircraft cybersecurity”, RMT.0648, Issue 1, EASA, 2016, <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/terms-of-reference-and-group-compositions/tor-rmt0648> [dostęp: 27.04.2023].

<sup>54</sup> Zob. „Cybersecurity risks”, RMT.0720, Issue 1, EASA, <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/terms-of-reference-and-group-compositions/tor-rmt0720> [dostęp: 27.04.2023].

<sup>55</sup> Zob. np. „ATM Cybersecurity Maturity Model Level 1”, EUROCONTROL, 2017, <https://www.eurocontrol.int/publication/atm-cybersecurity-maturity-model> [dostęp: 27.04.2023].

<sup>56</sup> Zob. np. „IOSA Standards Manual (ISM)”, Edition 16, IATA, 2023.

<sup>57</sup> Zob. np. „CANSO Standard of Excellence in Cybersecurity”, CANSO, 2020.



następnej nowelizacji z uwagi na konieczność zapewnienia zgodności z Dyrektywą NIS2. Niemniej, ustawa w aktualnym kształcie jest wciąż obowiązująca, a jej nowelizacja powinna nastąpić najpóźniej w październiku 2024 r.

Analizując problematykę lotnictwa cywilnego w kontekście krajowego systemu cyberbezpieczeństwa, warto zaznaczyć, że system ten ma złożoną strukturę, która obejmuje np. organy właściwe ds. cyberbezpieczeństwa, operatorów usług kluczowych, dostawców usług cyfrowych, Zespoły Reagowania na incydenty bezpieczeństwa komputerowego, instytuty badawcze, Polską Agencję Żeglugi Powietrznej<sup>58</sup>. Głównym celem systemu jest:

zapewnienie cyberbezpieczeństwa na poziomie krajowym, w tym niezakłóconego świadczenia usług kluczowych i usług cyfrowych, przez osiągnięcie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa systemów informacyjnych służących do świadczenia tych usług oraz zapewnienie obsługi incydentów<sup>59</sup>.

W kontekście powyższych rozważań i lotnictwa cywilnego istotne znaczenie ma pojęcie usługi kluczowej, które oznacza usługę mającą „kluczowe znaczenie dla utrzymania krytycznej działalności społecznej lub gospodarczej, wymienioną w wykazie usług kluczowych”<sup>60</sup>. W rozporządzeniu wydanym na podstawie delegacji ustawowej i stanowiącym wykaz usług kluczowych wymieniono następujące ich rodzaje w transporcie lotniczym: transport lotniczy pasażerski, transport lotniczy towarów oraz działalność usługowa wspomagająca transport lotniczy realizowana przez: zarządzającego lotniskiem, przedsiębiorcę posiadającego status zarejestrowanego agenta, przedsiębiorcę posiadającego status agenta obsługi naziemnej bądź instytucję zapewniającą służby żeglugi powietrznej<sup>61</sup>.

Podmiotem odpowiedzialnym za cyberbezpieczeństwo wymienionych wyżej usług jest operator usługi kluczowej. Identyfikacja operatorów następuje w wyniku decyzji administracyjnej wydanej przez organ właściwy ds. cyberbezpieczeństwa. W przypadku transportu lotniczego organem uprawnionym jest minister właściwy ds. transportu, czyli aktualnie Minister Infrastruktury. Za operatora usługi kluczowej może być uznany: przewoźnik lotniczy, zarządzający lotniskiem, przedsiębiorca bądź instytucja zapewniająca służby żeglugi powietrznej. Operator posiada obowiązki wynikające z ustawy, które realizuje w terminie 3, 6 lub 12 miesięcy od dnia doręczenia decyzji administracyjnej (tabela 2).

<sup>58</sup> Dz.U. z 2018 r., poz. 1560.

<sup>59</sup> Tamże.

<sup>60</sup> Tamże.

<sup>61</sup> Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 11 września 2018 r. w sprawie wykazu usług kluczowych oraz progów istotności skutku zakłócającego incydentu dla świadczenia usług kluczowych (Dz.U. z 2018 r., poz. 1806).

Tabela 2. Obowiązki operatora usługi kluczowej

Termin	Obowiązki
3 miesiące	<ul style="list-style-type: none"> <li>- systematyczne szacowanie ryzyka oraz zarządzanie tym ryzykiem,</li> <li>- zarządzanie incydentami,</li> <li>- wyznaczenie osoby odpowiedzialnej za utrzymanie kontaktów z podmiotami KSC,</li> <li>- zapewnienie dostępu do wiedzy,</li> <li>- zgłaszanie incydentów poważnych,</li> <li>- powołanie struktur wewnętrznych lub zawarcie umowy z podmiotem zewnętrznym w celu świadczenia usług cyberbezpieczeństwa</li> </ul>
6 miesięcy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- wdrożenie zabezpieczeń organizacyjnych i technicznych, które są adekwatne do oszacowanego ryzyka oraz uwzględniają aktualny stan wiedzy,</li> <li>- gromadzenie informacji o zagrożeniach i podatnościach,</li> <li>- implementacja działań zapobiegawczych i ograniczających skutki incydentów,</li> <li>- stosowanie środków łączności, które zapewniają bezpieczną i niezakłóconą komunikację,</li> <li>- przygotowanie, wdrożenie i aktualizacja dokumentacji cyberbezpieczeństwa (dokumentacja normatywna i operacyjna)</li> </ul>
12 miesięcy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- przygotowanie pierwszego audytu bezpieczeństwa (kolejne realizowane są co najmniej raz na 2 lata),</li> <li>- przekazanie sprawozdania z audytu na wniosek organu właściwego ds. cyberbezpieczeństwa, dyrektora RCB, Szefa ABW</li> </ul>

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Dz.U. z 2018 r., poz. 1560.

Zgodnie z tabelą 2 podmioty sektora lotniczego uznane za operatora usługi kluczowej są zobowiązane do realizacji określonych zadań w zakresie cyberbezpieczeństwa. Istotnym obowiązkiem jest wdrożenie systemu zarządzania bezpieczeństwem informacji (SZBI) obejmującego system, który jest wykorzystywany do świadczenia usługi kluczowej. Do innych należą np.: zarządzanie ryzykiem, wdrożenie zabezpieczeń, zarządzanie incydentami, audyt bezpieczeństwa, ustanowienie struktur organizacyjnych, opracowanie dokumentacji normatywnej i operacyjnej oraz zapewnienie dostępu do wiedzy.

W realizacji wymienionych obowiązków pomocne są normy i standardy. Przykładowo w rozporządzeniu odnoszącym się do dokumentacji normatywnej i operacyjnej<sup>62</sup> wskazano, iż dokumentacja SZBI powinna być wytworzona zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie ISO/IEC 27001<sup>63</sup>, natomiast dokumentacja dotycząca zarządzania ciągłością działania w oparciu o normę ISO 22301<sup>64</sup>. Warto także zwrócić uwagę na zbiór polskich standardów opublikowanych jako Narodowe Standardy Cyberbezpieczeństwa (NSC). Dokumenty te zostały opracowane na podstawie amerykańskich standardów NIST i są rekomendowane do stosowania przez podmioty krajowego systemu cyberbezpieczeństwa RP. NSC obejmują zagadnienia dotyczące np.: zarządzania

<sup>62</sup> Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 16 października 2018 r. w sprawie rodzajów dokumentacji dotyczącej cyberbezpieczeństwa systemu informacyjnego wykorzystywanego do świadczenia usługi kluczowej (Dz.U. z 2018 r., poz. 2080).

<sup>63</sup> Zob. PN-EN ISO 27001:2017-06, dz. cyt.

<sup>64</sup> Zob. PN-EN ISO 22301:2020-04, „Bezpieczeństwo i odporność – Systemy zarządzania ciągłością działania – Wymagania”, PKN, Warszawa 2021.

ryzykiem<sup>65</sup>, wdrożenia zabezpieczeń<sup>66</sup>, postępowania z incydentami bezpieczeństwa<sup>67</sup>, planowania awaryjnego<sup>68</sup> i bezpieczeństwa systemów sterownia przemysłowego<sup>69</sup>.

Podsumowując, unijna dyrektywa NIS i implementująca ją ustawa o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa stanowią ważne przedsięwzięcie w kierunku zapewnienia cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym. Implementacja przyjętych wymagań może przyczynić się do ochrony przed cyberatakami i zminimalizowania ryzyka zakłóceń w transporcie lotniczym. Jednocześnie, podmioty sektora staną w przyszłości w obliczu wyzwań związanych z dostosowaniem wewnętrznych rozwiązań do nowych regulacji prawnych, czyli dyrektywy NIS2, oraz, jak można przypuszczać, znowelizowanej ustawy o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa.

## 6. WNIOSKI

W artykule przedstawiono terminologię, klasyfikację zagrożeń oraz ramy prawne cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym. Ponadto odniesiono się do krajowego systemu cyberbezpieczeństwa RP z uwzględnieniem charakterystyki operatorów usług kluczowych w sektorze lotniczym. Przegląd literatury przedmiotu dowodzi, że problematyka ochrony przed cyberzagrożeniami stanowi istotne wyzwanie dla sektora lotniczego. W kontekście powyższych rozważań sformułowano następujące wnioski i rekomendacje:

1. Zapewnienie cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym wymaga perspektywy systemowej i uwzględnienia aspektów prawnych, proceduralno-organizacyjnych, technicznych, fizycznych oraz związanych z czynnikiem ludzkim. Zasadne jest więc przyjęcie kompleksowego podejścia do problematyki cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym, które uwzględni obszar bezpieczeństwa (ang. *safety*) i ochrony (ang. *security*). Specyfika złożoności sektora uzasadnia także potrzebę współpracy i koordynacji między państwami, organizacjami i innymi podmiotami powiązanyymi z sektorem lotnictwa.
2. Zagrożenia dla cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym obejmują szerokie spektrum zjawisk mogących prowadzić do incydentów bezpieczeństwa. W artykule zaproponowano klasyfikację, która może być rozwijana zarówno w obszarze eksponowanych zagrożeń, jak i dodatkowych kryteriów podziału. Warto przy tym zaznaczyć, że identyfikacja zagrożeń jest wykorzystywana np. na potrzeby zarządzania ryzykiem, analizy podatności, inżynierii bezpieczeństwa bądź projektowania

<sup>65</sup> NSC 800-39, „Zarządzanie ryzykiem bezpieczeństwa informacji (wer.1.0)”, Pełnomocnik Rządu ds. cyberbezpieczeństwa, Warszawa 2022.

<sup>66</sup> NSC 800-53, „Zabezpieczenia i ochrona prywatności systemów informatycznych oraz organizacji (wer.2.0)”, Pełnomocnik Rządu ds. cyberbezpieczeństwa, Warszawa 2021.

<sup>67</sup> NSC 800-61, „Podręcznik postępowania z incydentami naruszenia bezpieczeństwa komputerowego (wer.1.0)”, Pełnomocnik Rządu ds. cyberbezpieczeństwa, Warszawa 2021.

<sup>68</sup> NSC 800-34, „Poradnik Planowania Awaryjnego (wer.1.0)”, Pełnomocnik Rządu ds. cyberbezpieczeństwa, Warszawa 2021.

<sup>69</sup> NSC 800-82, „Przewodnik w zakresie bezpieczeństwa systemów sterowania przemysłowego (wer.1.0)”, Pełnomocnik Rządu ds. cyberbezpieczeństwa, Warszawa 2022.

i implementacji zabezpieczeń. Innymi słowy, zakres analizy zagrożeń jest determinowany w szczególności przyjętym celem oraz specyfiką organizacji.

3. Przegląd odnotowanych w ostatnim czasie incydentów bezpieczeństwa wskazuje na tendencje rozwojowe cyberzagrożeń. Jednocześnie automatyzacja i cyfryzacja rozwiązań o krytycznym znaczeniu dla lotnictwa cywilnego prowadzi do wzrostu ilości potencjalnych obiektów cyberataków. Mając na uwadze aktualne kierunki transformacji cyfrowej, niezbędne jest monitorowanie i doskonalenie istniejących rozwiązań. Kluczowe są także inwestycje na badania i rozwój w dziedzinie cyberbezpieczeństwa lotnictwa cywilnego. Rekomendowana jest więc współpraca przemysłu lotniczego, uczelni wyższych i instytutów badawczych w obszarze nowych technologii, metod i praktyk zwiększających skuteczność ochrony przed cyberatakami. Potencjał wykazują takie rozwiązania jak np. Blockchain, sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe, dlatego też zasadne jest kontynuowanie badań nad ich rozwojem na potrzeby cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym.
4. Przegląd regulacji prawnych dotyczących cyberbezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym pozwala przyjąć ogólny ich podział na przepisy międzynarodowe, regionalne i krajowe. Kluczową rolę odgrywają także normy i standardy, w tym także rozwiązania branżowe. Biorąc pod uwagę ich różnorodność, problematyczne wydaje się opracowanie dokumentów wewnętrznych, które zapewnią zgodność z wszystkimi wymaganiami prawnymi. Na problem ten zwrócono uwagę w raporcie Ministerstwa Infrastruktury, w którym operatorzy usług kluczowych z branży lotniczej jako wyzwanie wskazali zapewnienie zgodności z ustawą o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa, w powiązaniu z przepisami z innych obszarów<sup>70</sup>. Odnosząc się do zasygnalizowanych problemów, uzasadnione jest zatem dążenie do harmonizacji przepisów.
5. Ustawa o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa nałożyła obowiązki na wiele podmiotów sektora lotniczego. Wśród istotnych należy wskazać operatorów usług kluczowych, którzy zostali zobowiązani do wdrożenia odpowiedniej dokumentacji, zabezpieczeń i rozwiązań organizacyjnych. Wyniki badań opublikowane w raporcie Ministerstwa Infrastruktury wykazały, że operatorzy usług kluczowych do głównych wyzwań zaliczyli: ograniczenia finansowe, szkolenia, budowanie świadomości, problemy z pozyskaniem personelu, wyzwania technologiczne i organizacyjne, pogodzenie potrzeb biznesowych i cyberbezpieczeństwa<sup>71</sup>. Mając na uwadze wymienione wyżej problemy, zasadne jest podjęcie badań naukowych uwzględniających przyszłe wyzwania związane z wdrożeniem Dyrektywy NIS2 w sektorze.

<sup>70</sup> „Dojrzałość w obszarze cyberbezpieczeństwa w sektorze transportu w Polsce. Raport 2022”, Ministerstwo Infrastruktury, s. 43.

<sup>71</sup> Tamże, s. 42.

## BIBLIOGRAFIA

## Artykuły i monografie

Bielawski R., *Bezpieczeństwo bezałogowych systemów powietrznych w środowisku zakłóceń*, „O Bezpieczeństwie i Obronności” 2019, nr 2.

Cieślak E., *Bezpieczeństwo cybernetyczne w lotnictwie cywilnym*, „SECRETUM. Służby specjalne, bezpieczeństwo, informacja” 2016, wyd. 2.

Elmarady A.A., Rahouma K., *Studying Cybersecurity in Civil Aviation, Including Developing and Applying Aviation Cybersecurity Risk Assessment*, „IEEE Access” 2021, nr 9, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3121230>.

Felski A., *Strategie monitorowania zagrożeń systemu EGNOS*, [w:] *Wybrane aspekty zabezpieczenia nawigacji lotniczej*, cz. 2, red. J. Ćwiklak, LAW, Dęblin 2020.

Ishtiaq S., Abd Rahman N.A., *Cybersecurity Vulnerabilities and Defence Techniques in Aviation Industry*, [w:] *International Conference on Integrated Intelligent Computing Communication & Security*, Atlantis Press, 2021, <https://doi.org/10.2991/ahis.k.210913.071>.

Khatun M., Wagner F., Jung R., Glaß M., *Identification of Interface related Factors between Safety Management System and Cybersecurity Management System for Highly Automated Driving Vehicles*, [w:] *Proceedings of the 25th International Conference on Enterprise Information Systems*, red. J. Filipe, M. Śmiałek, A. Brodsky, S. Hammoudi, SciTePress, Prague 2023.

Koroniotis N., Moustafa N., Schiliro F., Gauravaram P., Janicke H., *A Holistic Review of Cybersecurity and Reliability Perspectives in Smart Airports*, „IEEE Access” 2020, nr 8, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3036728>.

Markopoulou D., Papakonstantinou V., Hert P., *The new EU cybersecurity framework: The NIS Directive, ENISA's role and the General Data Protection Regulation*, „Computer Law & Security Review” 2019, nr 35(6), <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2019.06.007>.

Siergiejczyk M., Dudek E., *Problematyka bezpieczeństwa informacyjnego w systemach wymiany danych lotniczych*, „Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport” 2017, t. 118.

Surendra Kumar M., Kasbekar G., Maity A., *Identification of GPS Spoofing as a Drone Cyber-vulnerability and Evaluation of Efficacy of Asynchronous GPS spoofing*, „IFAC-PapersOnLine” 2022, nr 55(22), <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.03.066>.

Szczepaniuk E., Szczepaniuk H., *Analysis of cybersecurity competencies: Recommendations for telecommunications policy*, „Telecommunications Policy” 2022, nr 46(3), <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2021.102282>.

Szczepaniuk H., Szczepaniuk E., *Cybersecurity Management within the Internet of Things*, [w:] *IoT Security Paradigms and Applications Research and Practices*, red. S.K. Sharma, B. Bhushan, N.C. Debnath, Taylor & Francis Group, Boca Raton 2021.

Thums J., Künzel L., Klumpp M., Bardmann M., Ruiner C., *Future air transportation and digital work at airports – Review and developments*, „Transportation Research Interdisciplinary Perspectives” 2023, nr 19, <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100808>.

Tsao K.-Y., Girdler T., Vassilakis V.G., *A survey of cyber security threats and solutions for UAV communications and flying ad-hoc networks*, „Ad Hoc Networks” 2022, nr 133, <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2022.102894>.

Yu X., Man H., Jiyu X., *Impact of Emerging Network Attack and Defense Technologies on Civil Aviation Information Systems*, 2021 IEEE 3rd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology, Changsha, 2021, <https://doi.org/10.1109/ICCSIT53235.2021.9633537>.

Zeng L., Wang B., Tian J., Wang Z., *Threat impact analysis to air traffic control systems through flight delay modeling*, „Computers & Industrial Engineering” 2021, nr 162, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.10773>.

Zhang R., Liu G., Liu J., Nees P.J., *Analysis of Message Attacks in Aviation Data-Link Communication*, „IEEE Access” 2018, nr 6, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2767059>.

Żmigrodzka M., *Cybersecurity – One of the Greatest Challenges for Civil Aviation in the 21st Century*, „Safety & Defense” 2020, nr 6(2), <https://doi.org/10.37105/sd.73>.

#### Akty prawne, normy, standardy i dokumenty strategiczne

„Aviation Cybersecurity Strategy”, ICAO, October 2019.

„CANSO Standard of Excellence in Cybersecurity”, CANSO, 2020.

„Cybersecurity Action Plan”, ICAO, January 2022.

„Dojrzałość w obszarze cyberbezpieczeństwa w sektorze transportu w Polsce. Raport 2022”, Ministerstwo Infrastruktury.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1148 z dnia 6 lipca 2016 r. w sprawie środków na rzecz wysokiego wspólnego poziomu bezpieczeństwa sieci i systemów informatycznych na terytorium Unii (O.J. EU L 191/1, 19.7.2016).

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2555 z dnia 14 grudnia 2022 r. w sprawie środków na rzecz wysokiego wspólnego poziomu cyberbezpieczeństwa na terytorium Unii, zmieniająca rozporządzenie (UE) nr 910/2014 i dyrektywę (UE) 2018/1972 oraz uchylająca dyrektywę (UE) 2016/1148 (dyrektywa NIS 2) (OJ L 333, 27.12.2022).

„IOSA Standards Manual (ISM)”, Edition 16, IATA, 2023.

„Krajowy Program Bezpieczeństwa w Lotnictwie Cywilnym”, Ministerstwo Infrastruktury, Urząd Lotnictwa Cywilnego, Warszawa 2020.

NSC 800-34, „Poradnik Planowania Awaryjnego (wer.1.0)”, Pełnomocnik Rządu ds. cyberbezpieczeństwa, Warszawa 2021.

NSC 800-39, „Zarządzanie ryzykiem bezpieczeństwa informacji (wer.1.0)”, Pełnomocnik Rządu ds. cyberbezpieczeństwa, Warszawa 2022.

NSC 800-53, „Zabezpieczenia i ochrona prywatności systemów informatycznych oraz organizacji (wer.2.0)”, Pełnomocnik Rządu ds. cyberbezpieczeństwa, Warszawa 2021.

NSC 800-61, „Podręcznik postępowania z incydentami naruszenia bezpieczeństwa komputerowego (wer.1.0)”, Pełnomocnik Rządu ds. cyberbezpieczeństwa, Warszawa 2021.

NSC 800-82, „Przewodnik w zakresie bezpieczeństwa systemów sterowania przemysłowego (wer.1.0)”, Pełnomocnik Rządu ds. cyberbezpieczeństwa, Warszawa 2022.

PN-EN ISO 22301:2020-04, „Bezpieczeństwo i odporność – Systemy zarządzania ciągłością działania – Wymagania”, PKN, Warszawa 2021.

PN-EN ISO 27001:2017-06, „Technika informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Systemy zarządzania bezpieczeństwem informacji – Wymagania”, PKN, Warszawa 2017.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 z dnia 4 lipca 2018 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie lotnictwa cywilnego i utworzenia Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego oraz zmieniające rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 2111/2005, (WE) nr 1008/2008, (UE) nr 996/2010, (UE) nr 376/2014 i dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/30/UE i 2014/53/UE, a także uchylające rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 552/2004 i (WE) nr 216/2008 i rozporządzenie Rady (EWG) nr 3922/91 (PE/2/2018/REV/1).

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 300/2008 z dnia 11 marca 2008 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie ochrony lotnictwa cywilnego i uchylające rozporządzenie (WE) nr 2320/2002 (OJ L 97, 9.4.2008).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 11 września 2018 r. w sprawie wykazu usług kluczowych oraz progów istotności skutku zakłócającego incydentu dla świadczenia usług kluczowych (Dz.U. z 2018 r., poz. 1806).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 16 października 2018 r. w sprawie rodzajów dokumentacji dotyczącej cyberbezpieczeństwa systemu informacyjnego wykorzystywanego do świadczenia usługi kluczowej (Dz.U. z 2018 r., poz. 2080).

Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2015/1998 z dnia 5 listopada 2015 r. ustanawiające szczegółowe środki w celu wprowadzenia w życie wspólnych podstawowych norm ochrony lotnictwa cywilnego (OJ L 299.1, 2015).

Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2019/1583 z dnia 25 września 2019 r. zmieniające rozporządzenie wykonawcze (UE) 2015/1998 ustanawiające szczegółowe środki w celu wprowadzenia w życie wspólnych podstawowych norm ochrony lotnictwa cywilnego w odniesieniu do środków w zakresie cyberbezpieczeństwa (OJ L 246, 26.9.2019).

Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2023/203 z dnia 27 października 2022 r. ustanawiające zasady stosowania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 w kwestii wymagań dotyczących zarządzania ryzykiem związanym z bezpieczeństwem informacji o potencjalnym wpływie na bezpieczeństwo lotnicze w odniesieniu do organizacji objętych zakresem stosowania rozporządzeń Komisji (UE) nr 1321/2014, (UE) nr 965/2012, (UE) nr 1178/2011, (UE) 2015/340, rozporządzeń wykonawczych Komisji (UE) 2017/373 i (UE) 2021/664 oraz właściwych

organów objętych zakresem stosowania rozporządzeń Komisji (UE) nr 748/2012, (UE) nr 1321/2014, (UE) nr 965/2012, (UE) nr 1178/2011, (UE) 2015/340, rozporządzeń wykonawczych Komisji (UE) 2017/373, (UE) nr 139/2014 i (UE) 2021/664 oraz zmieniające rozporządzenia Komisji (UE) nr 1178/2011, (UE) nr 748/2012, (UE) nr 965/2012, (UE) nr 139/2014, (UE) nr 1321/2014, (UE) 2015/340 oraz rozporządzenia wykonawcze Komisji (UE) 2017/373 i (UE) 2021/664 (OJ L 31, 2.2.2023).

„Strategy for Cybersecurity in Aviation”, First Issue, ESCP, September 2019.

Ustawa z dnia 5 lipca 2018 r. o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa (Dz.U. z 2018 r., poz. 1560).

Załącznik 17 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, „Ochrona międzynarodowego lotnictwa cywilnego przed Aktami Bezprawnej Ingerencji”, ICAO, marzec 2020.

### Źródła internetowe

*Aircraft cybersecurity*, RMT.0648, Issue 1, EASA, 2016, <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/terms-of-reference-and-group-compositions/tor-rmt0648>.

Alqushayri D.F., *Cybersecurity Vulnerability Analysis and Countermeasures of Commercial Aircraft Avionic Systems*, <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1519&context=edt>.

*ATM Cybersecurity Maturity Model Level 1*, EUROCONTROL, 2017, <https://www.eurocontrol.int/publication/atm-cybersecurity-maturity-model>.

*Cybersecurity Culture in Civil Aviation*, ICAO, January 2022, <https://www.icao.int/aviationcybersecurity/Documents/Cybersecurity%20Culture%20in%20Civil%20Aviation.EN.pdf>.

*Cybersecurity risks*, Issue 1, RMT.0720, EASA, <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/terms-of-reference-and-group-compositions/tor-rmt0720>.

Habler E., Bitton R., Shabtai A., *Evaluating the Security of Aircraft Systems*, <https://arxiv.org/pdf/2209.04028.pdf>.

EATM-CERT Aviation Cyber Events Map, <https://www.google.com/maps/d/embed?mid=1ptVlma0CZqoPiN-zsomzbRVQDRS7BXGk>.

*ENISA Transport Threat Landscape*, European Union Agency for Cybersecurity, 2023, <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-transport-threat-landscape>.

Handler S., Schroeder E., Schroeder F., Herr T., *Countering Ransomware: Lesson from Aircraft Hijacking*, <https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep35077.pdf>.

*Resolution A41-19: Addressing Cybersecurity in Civil Aviation*, ICAO, <https://www.icao.int/aviationcybersecurity/Documents/A41-19.pdf>.

*Think Paper #12: Aviation under attack: Faced with a rising tide of cybercrime, is our industry resilient enough to cope?*, EUROCONTROL EATM-CERT Services, 2021, <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-07/eurocontrol-think-paper-12-aviation-under-cyber-attack.pdf>.



**Zbigniew CIEKANOWSKI**

Akademia Bialska im. Jana Pawła II w Białej Podlaskiej  
e-mail: zbigniew@ciekanowski.pl  
ORCID: 0000-0002-0549-894X

**Patryk OCHYRA**

Menadżerska Akademia Nauk Stosowanych w Warszawie  
e-mail: patryk.ochyra@op.pl  
ORCID: 0000-0001-8991-4068

**Andrzej MARJAŃSKI**

Uniwersytet WSB Merito w Toruniu  
Wydział Studiów Stosowanych w Łodzi  
e-mail: amarjanski@dremar.pl  
ORCID: 0000-0001-6534-2632

**Sławomir ŻURAWSKI**

Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie  
e-mail: slawomir.zurawski@onet.pl  
ORCID: 0000-0001-9527-3391

DOI: 10.55676/asi.v3i1.40

## DZIAŁALNOŚĆ RATOWNICZYCH ORGANIZACJI POZARZĄDOWYCH W POLSCE NA PRZYKŁADZIE TATRZAŃSKIEGO OCHOTNICZEGO POGOTOWIA RATUNKOWEGO

ACTIVITIES OF NON-GOVERNMENTAL RESCUE ORGANIZATIONS IN POLAND  
ON THE EXAMPLE OF TATRA MOUNTAINS VOLUNTEER RESCUE SERVICE

### Streszczenie

Celem niniejszego artykułu była charakterystyka działalności organizacji pozarządowych na przykładzie Tatrzańskiego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego. Za cel obrano również określenie wpływu działalności tychże organizacji na budowanie bezpieczeństwa wewnętrznego państwa oraz poczucia bezpieczeństwa obywateli. W pierwszej części opisano organizacje pozarządowe, ich rolę dla współczesnych państw, ramy prawne, w jakich funkcjonują, oraz określono ich definicje. Kolejno wyodrębnione zostały organizacje działające jako społeczne organizacje ratownicze, przedstawiono ich charakterystykę, przykładowe podmioty, a także ich udział w zarządzaniu kryzysowym. W głównej części skupiono się na ratownictwie górskim, omawiając jego działalność, biorąc za przykład interwencje podejmowane przez Tatrzańskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe w 2022 r. Główny problem

### Abstract

The purpose of this article is to characterize the activities of non-governmental organizations on the example of the Tatra Mountains Volunteer Rescue Service. The purpose was also to determine the impact of the activities of these organizations, on building the internal security of the state and the sense of security of citizens. The first part describes non-governmental organizations, their role for modern states and the legal framework in which they operate, as well as defining them. Subsequently, organizations operating as social rescue organizations are distinguished, their characteristics, example entities, as well as their participation in crisis management are presented. The main part focuses on mountain rescue, discussing its activities, taking as an example the interventions undertaken by the Tatra Voluntary Rescue Service in 2022. The main problem was formulated: How does the

przedstawiono w formie pytania: Jaki wpływ ma działalność społecznych organizacji ratunkowych na budowanie bezpieczeństwa wewnętrznego państwa oraz poczucia bezpieczeństwa obywateli? Dla tak sformułowanego problemu badawczego przyjęto następującą hipotezę badawczą: Przypadki incydentów rejestrowanych w ostatnich latach oraz efektywna działalność TOPR wobec zaistniałych incydentów jest niezbitym dowodem na wpływ tego rodzaju organizacji na poziom bezpieczeństwa wewnętrznego państwa oraz poczucia bezpieczeństwa obywateli. W celu uzyskania odpowiedzi na postawiony problem badawczy posłużono się metodami jakościowymi. W ramach badania skorzystano z najnowszych statystyk dotyczących działalności społecznych organizacji ratunkowych przedstawionych w dokumentach i raportach w latach 2018–2022, a także przeprowadzono analizę w oparciu o artykuły naukowe z ostatnich lat. Informacje pozyskane zostały również z krajowych aktów prawnych.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo, fundacje, organizacje, ratownictwo, sektor

activity of social rescue organizations affect the construction of internal security of the state and the sense of security of citizens? For the research problem formulated in this way, the following research hypothesis was adopted: The incidents recorded in recent years and the effective activity of TOPR in the face of the incidents that have occurred, is clear evidence of the impact of this type of organization on the level of internal security of the state and the sense of security of citizens. Qualitative methods were used to obtain answers to the research problem posed. The study made use of the latest statistics on the activities of social emergency organizations presented in documents and reports in 2018–2022, and an analysis based on scientific articles from recent years was conducted. Information was also obtained from national legal acts.

**Keywords:** security, foundations, organizations, rescue, sector

## 1. WSTĘP

Bezpieczeństwo jest podstawowym stanem, które zapewnia poczucie pewności i daje gwarancję na możliwość swobodnego rozwoju, zarówno dla ludzi, jak i państw. Bardzo ważną rolę w budowaniu bezpieczeństwa mają organizacje pozarządowe, funkcjonujące w tzw. trzecim sektorze. Organizacje te działając w ramach tego sektora, jednocześnie same go tworzą, stanowią przy tym jeden z fundamentów społeczeństwa obywatelskiego. Społeczeństwa, które działa na zasadzie wolności zrzeszania się w różnego rodzaju związki, stowarzyszenia, fundacje czy ruchy obywatelskie. Celem niniejszego artykułu było scharakteryzowanie roli organizacji pozarządowych, przedstawiając warunki prawne, w jakich funkcjonują, a przede wszystkim skupienie się na społecznych organizacjach ratowniczych i ich roli w budowaniu poczucia bezpieczeństwa wśród obywateli czy kształtowaniu bezpieczeństwa wewnętrznego państwa, w oparciu o przykład działalności Tatrzańskiego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego (TOPR). W artykule została podjęta charakterystyka trzeciego sektora, jego rola dla państw we współczesnym świecie oraz zostały przedstawione jego definicje. Wyodrębniono również różne kategorie organizacji pozarządowych na zasadzie obszaru ich działania, a także przedstawiono ich wykorzystanie w zarządzaniu kryzysowym państwa. Skupiono się również na organizacjach pozarządowych, określonych mianem społecznych organizacji ratowniczych, wymieniając tego typu organizacje i określając ich unormowanie prawne. Podjęto charakterystykę działalności Tatrzańskiego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego, przy wykorzystaniu dostępnych statystyk obejmujących 2022 rok, badając, jaką rolę pełni tego typu działalność organizacji pozarządowych w budowaniu bezpieczeństwa wewnętrznego państwa oraz poczucia bezpieczeństwa wśród obywateli.

## 2. ROLA ORGANIZACJI POZARZĄDOWYCH

Zapewnienie bezpieczeństwa swoim obywatelom jest jednym z podstawowych zadań państwa i aby realizować to zadanie, państwo musi dostrzegać możliwości jego utrzymywania za pomocą różnego rodzaju rozwiązań, takich jak działalność organizacji pozarządowych. We współczesnym świecie państwa posiadają systemy społeczno-gospodarcze, które składają się z różnych sektorów, wzajemnie ze sobą funkcjonujących. Dzieli się je na sektor pierwszy (publiczny), sektor drugi (prywatny) oraz trzeci sektor (społeczny). Mianem sektora określane są wszelkie organizacje, które przy całej ich złożoności i różnicach podlegają podobnym regulacjom prawnym i obejmuje je podobna polityka fiskalna<sup>1</sup>.

Organizacje wywodzące się z sektora społecznego, określane są różnymi terminami, takimi jak: organizacje obywatelskie, pozarządowe, społeczne, niezależne czy wolontarystyczne<sup>2</sup>. Terminami tymi określane są podmioty, które nie wchodzi w skład aparatu państwowego, a celem ich działalności nie jest zysk. Wyłonienie sektora trzeciego wynika z zauważalnych różnic wobec sektora pierwszego (publicznego) oraz drugiego (prywatnego) w zakresie odmiennych celów działalności oraz aktywne podmioty organizacji wchodzących w ich skład. Podmioty funkcjonujące w sektorze pierwszym charakteryzują się działaniem głównie na rzecz realizacji celów publicznych, z kolei w sektorze drugim występują podmioty prywatne i realizują cele prywatne, mają więc one charakter rynkowy. W trzecim sektorze, w którym występują organizacje pozarządowe, mające jednocześnie charakter prywatnych podmiotów, realizowane są działania na rzecz realizacji celów społecznych. Cele realizowane przez organizacje pozarządowe, a jednocześnie prywatny charakter podmiotów funkcjonujących w tym sektorze, pokazuje, jakie są różnice pomiędzy pierwszym i drugim sektorem, jak również to, że organizacje pozarządowe charakteryzuje aktywność zarówno na polu publicznym, jak i prywatnym. Budowanie działalności o charakterze *non-profit* wiąże się z większymi wyzwaniami niż budowanie organizacji o charakterze rynkowym, gdyż tego typu podmioty często uzależnione są od wolontariuszy czy darczyńców<sup>3</sup>.

W literaturze zajmującej się badaniem podmiotów funkcjonujących w trzecim sektorze stosuje się wobec nich terminy takie jak „organizacja *non-profit*” czy „organizacja pozarządowa”. Termin „organizacja *non-profit*” odnosi się do sektora rynkowego, zaznaczając jej charakter, nie nastawiony na zysk, zaś termin „organizacja pozarządowa” ma na celu nakreślenie charakteru w stosunku do sektora publicznego<sup>4</sup>.

Już w połowie dwudziestego wieku można spotkać się z określeniem „organizacja pozarządowa”, które zostało użyte na forum Organizacji Narodów Zjednoczonych.

<sup>1</sup> E. Leś, *Od filantropii do pomocniczości. Studium porównawcze rozwoju i działalności organizacji społecznych*, Dom Wydawniczy Elipsa, Warszawa 2000, s. 16.

<sup>2</sup> J. Schmidt, *Rozwój organizacji pozarządowych. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Akademickie SEDNO, Warszawa 2012, s. 14.

<sup>3</sup> Z. Lee., H. Bourne, *Managing Dual Identities in Nonprofit Rebranding: An Exploratory Study*, „Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly” 2017, vol. 46, z. 4, s. 797.

<sup>4</sup> M. Janoś-Kresoła, *Organizacje pozarządowe na rynku usług społecznych w Polsce*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2013, s. 58–67.

Początkowo organizacje tego typu były uzależnione od rządów państw, zmierzając do uniezależnienia się przy pomocy skonsolidowania się z organizacjami typu *non-profit*, które w tamtym czasie były odrębnym typem organizacji. Konsolidacja ta pozwoliła na odłączenie się organizacji pozarządowych od powiązań z sektorem publicznym czy instytucjami politycznymi i pozwoliła na realizowanie swoich celów samodzielnie<sup>5</sup>. Forum Organizacji Narodów Zjednoczonych pozwoliło również na zdefiniowanie pojęcia „organizacja pozarządowa” w następujący sposób:

Każda obywatelska, wolontarystyczna grupa typu non profit, która jest zorganizowana na szczeblu lokalnym, narodowym lub międzynarodowym. Zorientowana na wykonywanie zadań i prowadzona przez ludzi o podobnych zainteresowaniach. Organizacje pozarządowe dostarczają różnorodnych usług o charakterze filantropijnym, przedstawiają rządowi obawy obywateli, monitorują politykę i zachęcają do uczestnictwa w życiu społecznym. Dostarczają analiz, ekspertyz, służą jako wczesny mechanizm ostrzegawczy, pomagają monitorować i wprowadzać międzynarodowe porozumienia. Niektóre organizacje pozarządowe poruszają specyficzne kwestie, takie jak prawa człowieka, środowisko czy też zdrowie<sup>6</sup>.

W polskim ustawodawstwie definicję organizacji pozarządowych określa ustawa z dnia 23 kwietnia 2003 r., która określa tym mianem organizacje:

- niebędące jednostkami sektora finansów publicznych, w rozumieniu ustawy o finansach publicznych;
- niedziałające w celu osiągnięcia zysku;
- osoby prawne lub jednostki organizacyjne nieposiadające osobowości prawnej, którym odrębna ustawa przyznaje zdolność prawną, w tym fundacje i stowarzyszenia<sup>7</sup>.

Liczba organizacji pozarządowych w Polsce jest bardzo duża; według Głównego Urzędu Statystycznego w 2020 r. liczba aktywnie działających organizacji *non-profit* wynosiła 95,2 tys. Na taką liczbę składały się organizacje o charakterze stowarzyszeń i organizacji społecznych, społeczne podmioty wyznaniowe, fundacje czy organizacje samorządu gospodarczego i zawodowego. Największą liczbę stanowiły stowarzyszenia oraz podobne organizacje społeczne, a drugie pod względem liczebności były fundacje. Organizacji *non-profit*, które posiadają status organizacji pożytku publicznego, zarejestrowanych było 9,3 tys.<sup>8</sup> Liczbę zarejestrowanych i niezarejestrowanych organizacji *non-profit* w 2020 r. przedstawia wykres 1.

<sup>5</sup> I. Drabik, *Rola i znaczenie organizacji pozarządowych w zarządzaniu kryzysowym*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie” 2015, nr 20, s. 153.

<sup>6</sup> K. Rogaczewska, *Organizacje pozarządowe w polityce międzynarodowej*, UW, Wrocław 2015, s. 5.

<sup>7</sup> Ustawa z dnia 24 kwietnia 2003 r. o działalności pożytku publicznego i o wolontariacie (Dz.U. z 2003 r., nr 96, poz. 873), art. 3.

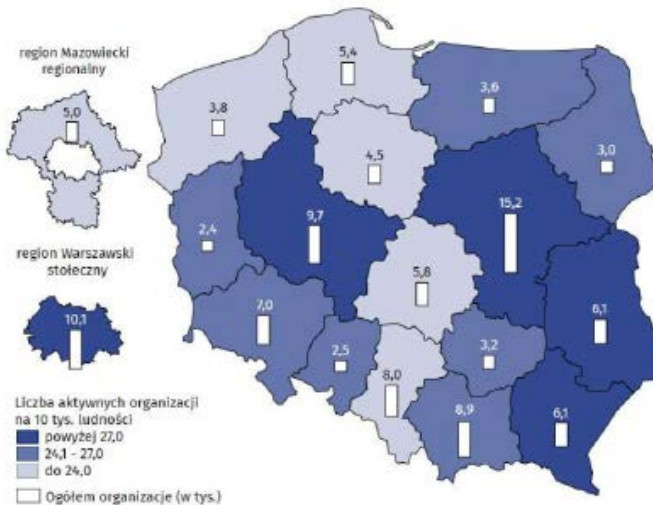
<sup>8</sup> <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/gospodarka-spoeczna-wolontariat/gospodarka-spoeczna-trzeci-sektor/dzialalnosc-stowarzyszen-i-podobnych-organizacji-spoecznych-fundacji-spoecznych-podmiotow-wyznaniowych-oraz-samorzadu-gospodarczego-i-zawodowego-w-2020-r-wyniki-wstepne,3,9.html> [dostęp: 8.03.2023].



Wykres 1. Liczba zarejestrowanych i niezarejestrowanych organizacji *non-profit* w 2020 r.

Źródło: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/gospodarka-spoeczna-wolontariat/gospodarka-spoeczna-trzeci-sektor/dzialalnosc-stowarzyszen-i-podobnych-organizacji-spoecznych-fundacji-spoecznych-podmiotow-wyznaniowych-oraz-samorzadu-gospodarczego-i-zawodowego-w-2020-r-wyniki-wstepne,3,9.html> [dostęp: 8.03.2023].

Natomiast na rysunku 1 przedstawiono liczbę rejestrowanych organizacji *non-profit* aktywnych w 2020 r. wg województw.



Rys. 1. Liczba rejestrowanych organizacji *non-profit* aktywnych w 2020 r. wg województw

Źródło: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/gospodarka-spoeczna-wolontariat/gospodarka-spoeczna-trzeci-sektor/dzialalnosc-stowarzyszen-i-podobnych-organizacji-spoecznych-fundacji-spoecznych-podmiotow-wyznaniowych-oraz-samorzadu-gospodarczego-i-zawodowego-w-2020-r-wyniki-wstepne,3,9.html> [dostęp: 8.03.2023].

Organizacje pozarządowe, których liczba według statystyk jest bardzo duża, wykonują działalność w ramach bardzo zróżnicowanych dziedzin. Według badań z 2020 r. największą liczbę spośród organizacji *non-profit* stanowiły te, które zajmowały się turystyką, rekreacją oraz sportem i hobby. Następną pod względem liczebności grupę stanowiły podmioty zajmujące się ratownictwem. Na trzecim miejscu plasowały się organizacje, które realizują działania w dziedzinie kultury i sztuki.

Wśród wielu dziedzin obejmowanych działalnością poszczególnych organizacji pozarządowych występują te, które mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo państwa. Jedną z ich kluczowych ról jest służenie obywatelom dzięki między innymi wykorzystywaniu swoich zasobów<sup>9</sup>. Biorąc pod uwagę, jaką siłę stanowią organizacje pozarządowe w Polsce oraz fakt, że sektor, w którym one funkcjonują, ciągle się rozwija, można zauważyć, jaki stanowią potencjał, który może być wykorzystany na rzecz budowania bezpieczeństwa państwa. Sam fakt, że niemal co dziesiąta organizacja pozarządowa w Polsce w 2020 r. miała charakter ratunkowy, świadczy o tym, że trzeci sektor może korzystnie wpływać na poczucie bezpieczeństwa wśród obywateli. Wiele z tych organizacji jest częścią zarządzania kryzysowego Polski i stanowią istotny element tego systemu. Do organizacji funkcjonujących w ramach trzeciego sektora, które jednocześnie są elementem zarządzania kryzysowego, należą ochotnicze straże pożarne, organizacje społeczno-wychowawcze czy społeczne organizacje ratownicze, których charakterystyka zostanie nakreślona w kolejnej części artykułu<sup>10</sup>.

### 3. SPOŁECZNE ORGANIZACJE RATOWNICZE W POLSCE

Celem działalności organizacji rządowych, samorządowych, a także pozarządowych jest wykorzystywanie i przygotowanie wszelkich sił pomocniczych i ratunkowych do zorganizowanej i zintegrowanej działalności w ramach spójnego systemu ratownictwa. Celem, który skłania te organizacje do zintegrowania swoich działań, jest ochrona i obrona obywateli przed pojawiającymi się zagrożeniami<sup>11</sup>. Wykonywanie zadań w ramach bezpieczeństwa powszechnego obejmuje zarówno organizacje i instytucje rządowe, samorządowe, jak również organizacje działające w trzecim sektorze – organizacje pozarządowe. Organizacje funkcjonujące w ramach trzeciego sektora aktywnie uczestniczą w działaniach na rzecz bezpieczeństwa oraz ochrony zarówno państwa, jak i obywateli, wykorzystując przy tym swoje siły i środki. Istotną kwestią działalności organizacji pozarządowych jest fakt, że dysponują one dużym potencjałem oraz profesjonalizmem, który może być wymiernie wykorzystywany na rzecz bezpieczeństwa i ochrony, na każdej płaszczyźnie<sup>12</sup>.

<sup>9</sup> H.J. Bryce, *Financial and Strategic Management for Nonprofit Organizations, Fourth Edition*, De Gruyter, Berlin 2017, s. 9.

<sup>10</sup> A. Morawski, *Rola organizacji pozarządowych w procesie zarządzania kryzysowego*, „Kwartalnik Naukowy OAP UW »e-Politikon«” 2013, nr 6, s. 194–198.

<sup>11</sup> E. Zgajewska-Rytelewska, *Trzeci sektor w zarządzaniu kryzysowym*, „Kultura Bezpieczeństwa Nauka – Praktyka – Refleksje” 2017, nr 28, s. 240.

<sup>12</sup> J. Schmidt, *Rozwój...*, dz. cyt., s. 9–11.

Wiele z organizacji pozarządowych występujących w Polsce działa w ramach systemu zarządzania kryzysowego, realizując przy tym istotne zadania na rzecz budowania bezpieczeństwa wewnętrznego. Pewien podział organizacji pozarządowych, działających w ramach zarządzania kryzysowego, został przedstawiony przez Antoniego Morawskiego. Skategoryzował on część organizacji pozarządowych działających w ramach zarządzania kryzysowego, opisując przy tym ich rolę w tym systemie. Do pierwszej kategorii zostały przypisane ochotnicze straże pożarne, na które składa się Związek Ochotniczych Straży Pożarnych RP oraz ochotnicze straże pożarne niezrzeszone w związku. Drugą kategorię stanowią społeczne organizacje ratownicze, w których skład wchodzi takie podmioty, jak m.in.: Tatrzańskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe, Górskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe, Wodne Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe czy Polski Czerwony Krzyż. Do trzeciej kategorii, którą stanowią organizacje społeczno-wychowawcze, należą m.in. Związek Harcerstwa Polskiego oraz Związek Strzelecki. Ostatnią, czwartą kategorię stanowią organizacje charytatywne oraz organizacje posiadające unikalne zasoby, takie jak: Polska Akcja Humanitarna, Caritas Polska czy Fundacja Wielkiej Orkiestry Świątecznej Pomocy<sup>13</sup>.

Tabela 1. Typologia organizacji pozarządowych w kontekście udziału w zarządzaniu kryzysowym

Ochotnicze Straże Pożarne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Związek Ochotniczych Straży Pożarnych RP</li> <li>• Ochotnicze Straże Pożarne niezrzeszone w związku</li> </ul>
Społeczne organizacje ratownicze	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tatrzańskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe</li> <li>• Górskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe</li> <li>• Wodne Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe</li> <li>• Ratownictwo Wodne Rzeczypospolitej</li> <li>• Mazurska Służba Ratownicza</li> <li>• Polski Czerwony Krzyż</li> <li>• Malta – Służba Medyczna</li> <li>• Maltańska Służba Medyczna – Pomoc Maltańska</li> </ul>
Organizacje społeczno-wychowawcze	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Związek Harcerstwa Polskiego</li> <li>• Związek Harcerstwa Rzeczypospolitej</li> <li>• Stowarzyszenie Harcerstwa Katolickiego „Zawisza” – Federacja Skautingu Europejskiego</li> <li>• ZS Strzelec OSW</li> <li>• Związek Strzelecki „Strzelec” – Organizacja Społeczno-Wychowawcza</li> <li>• Związek Strzelecki</li> <li>• Związek Strzelecki „Strzelec”</li> <li>• Związek Strzelecki Rzeczypospolitej</li> </ul>
Organizacje charytatywne oraz organizacje posiadające unikalne zasoby	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fundacja Wielkiej Orkiestry Świątecznej Pomocy</li> <li>• Polska Akcja Humanitarna</li> <li>• Polski Czerwony Krzyż</li> <li>• Caritas Polska</li> <li>• Aeroklub Polski</li> <li>• Polski Związek Krótkofalowców</li> </ul>

Źródło: A. Morawski, *Wykorzystanie...*, dz. cyt., s. 47.

<sup>13</sup> A. Morawski, *Wykorzystanie potencjału organizacji pozarządowych w procesie zarządzania kryzysowego*, UW, Warszawa 2014, s. 47.

Podmiotami działającymi w ramach sektora trzeciego, które wspierają system zarządzania kryzysowego, są organizacje należące do społecznych organizacji ratowniczych. Wyszczególnienie tych podmiotów możemy znaleźć w Ustawie z dnia 8 września 2006 r. o Państwowym Ratownictwie Medycznym, która wymienia takie jednostki jak podmioty uprawnione do wykonywania ratownictwa górskiego, czy chociażby podmioty uprawnione do wykonywania ratownictwa wodnego<sup>14</sup>. Rola społecznych organizacji ratowniczych została również określona w Ustawie z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym, w której przedstawiciele tychże organizacji zostali ujęci jako członkowie gminnych i powiatowych zespołów zarządzania kryzysowego<sup>15</sup>.

Do kategorii społecznych organizacji ratowniczych należą wyspecjalizowane podmioty ratownicze, które swoją działalność są w stanie prowadzić tam, gdzie Państwowe Ratownictwo Medyczne często nie jest w stanie, a więc w obszarach górskich czy na wodzie. Podmiotami takimi są głównie GOPR, WOPR oraz TOPR.

Działalność regulująca działania Wodnego Ochotniczego Pogotowia Ratowniczego określa Ustawa z dnia 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie osób przebywających na obszarach wodnych, która określa m.in.:

- 1) warunki bezpieczeństwa osób pływających, kąpiących się lub uprawiających sport, lub rekreację na obszarach wodnych;
- 2) podmioty uprawnione do wykonywania ratownictwa wodnego, zakres ich obowiązków i uprawnień oraz zasady finansowania ich działalności;
- 3) podmioty odpowiedzialne za zapewnienie bezpieczeństwa osobom pływającym, kąpiącym się lub uprawiającym sport, lub rekreację na obszarach wodnych;
- 4) nadzór i kontrolę nad ratownictwem wodnym;
- 5) zasady i tryb usuwania, przechowywania, wydawania oraz orzekania przepadku statku lub innego obiektu pływającego przeznaczonego lub używanego do uprawiania sportu lub rekreacji, zwanego dalej „innym obiektem pływającym”<sup>16</sup>.

Aktem prawnym regulującym działalność górskich społecznych organizacji ratowniczych jest Ustawa z dnia 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie i ratownictwie w górach i na zorganizowanych terenach narciarskich, która określa m.in.:

- 1) podmioty uprawnione do wykonywania ratownictwa górskiego i ratownictwa na zorganizowanych terenach narciarskich, zakres ich obowiązków i uprawnień oraz zasady finansowania ich działalności;
- 2) obowiązki osób przebywających w górach oraz na zorganizowanych terenach narciarskich, a w szczególności uprawiających sport, rekreację lub turystykę;
- 3) podmioty odpowiedzialne za zapewnienie bezpieczeństwa osobom przebywającym w górach i na zorganizowanych terenach narciarskich;
- 4) warunki bezpieczeństwa osób przebywających w górach oraz na zorganizowanych terenach narciarskich, a w szczególności uprawiających tam sport, rekreację lub turystykę;
- 5) nadzór i kontrolę nad ratownictwem górskim<sup>17</sup>.

<sup>14</sup> Ustawa z dnia 8 września 2006 r. o Państwowym Ratownictwie Medycznym (Dz.U. z 2006 r., nr 191, poz. 1410), art. 15.

<sup>15</sup> Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Dz.U. z 2007 r., nr 89, poz. 590), art. 19.

<sup>16</sup> Ustawa z dnia 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie osób przebywających na obszarach wodnych (Dz.U. z 2011 r., nr 208, poz. 1240), art. 1.

<sup>17</sup> Ustawa z dnia 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie i ratownictwie w górach i na zorganizowanych terenach narciarskich (Dz.U. z 2011 r., nr 208, poz. 1241), art. 1.



Kwestia ratownictwa górskiego jest bardziej klarowna od ratownictwa wodnego, gdyż w ramach niego występują tylko dwa podmioty zajmujące się tą dziedziną, a są to: Górskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe oraz Tatrzańskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe. Wymienione organizacje, których głównym celem jest niesienie pomocy na terenach wodnych czy górskich, mają przede wszystkim charakter ratowniczy. Do ich głównych zadań należy udzielanie kwalifikowanej pierwszej pomocy, ewakuacja osób poszkodowanych do miejsc, w których możliwe będzie udzielenie im pomocy przez Państwowe Ratownictwo Medyczne, a także przyjmowanie zgłoszeń. Bardzo ważną kwestią dla działań realizowanych w ramach zaistniałych sytuacji kryzysowych stanowi wyposażenie sprzętowe, które posiadają wymienione organizacje, zwiększające możliwości efektywnego zwalczania zaistniałych sytuacji zagrażających bezpieczeństwu państwa czy obywateli.

Organizacje społeczne działające w ramach trzeciego sektora, których cele zbieżne są z interesami państwa w kontekście zapewniania bezpieczeństwa, często dostrzegane są w ramach występujących już zagrożeń, jednakże należy pamiętać, że ich rola jest równie istotna w codziennej działalności. Potencjał tychże organizacji widoczny jest w ramach etapu zarządzania kryzysowego, jakim jest reagowanie, ale wykonują one także działania na etapie zapobiegania i odbudowy. Współczesne środowisko, w którym regularnie występują znane, jak i nowo powstające zagrożenia, zarówno dla bezpieczeństwa zewnętrznego, jak i świata, przekonują, że rola trzeciego sektora, a w związku z tym społeczeństwa obywatelskiego, będzie rosła, a jego wzrost i siła bezpośrednio będą przyczyniać się do budowania bezpieczeństwa państwa<sup>18</sup>.

#### 4. DZIAŁALNOŚĆ TOPR W LATACH 2018–2022

Górskie ukształtowanie terenu wiąże się z różnego rodzaju niebezpieczeństwami, które są wynikiem jego charakteru, jak i działalności człowieka na tym obszarze, m.in. działalności turystycznej. Szczególny charakter górskich obszarów powoduje trudności dla służb ratunkowych działających głównie w sprzyjających warunkach terenowych. Skuteczna działalność ratunkowa w tym obszarze wiąże się z wypełnieniem wymogów związanych ze szczególnymi kwalifikacjami podmiotu czy ludzi, w zakresie działalności w górach, czy też jaskiniach. W wyniku występujących trudności oraz wymogów związanych z tego typu działalnością powstały organizacje ratunkowe, które posiadają atrybuty, zasoby i środki, których nie mają podstawowe podmioty funkcjonujące w Polsce, zajmujące się ratownictwem. Organizacjami tymi są Górskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe oraz Tatrzańskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe. Wyróżniają się one funkcjonowaniem w innych formach prawnych czy stopniach legalności, jednakże celem tychże organizacji, tak jak podstawowych podmiotów ratunkowych, jest niesienie pomocy i zapewnianie bezpieczeństwa<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> Z. Ciekankowski, *Podstawy zarządzania bezpieczeństwem państwa*, PWSTE, Jarosław 2019, s. 25.

<sup>19</sup> A. Chrabańska-Czerwińska, *Organizacyjno-prawne problemy działalności TOPR i HZS. Analiza komparatywna*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach” 2020, nr 392, s. 74.

Według ustawy regulującej działalność ratowniczą w górach i na zorganizowanych terenach narciarskich zapewnienie bezpieczeństwa osób, które przebywają w wymienionych obszarach, należy do ministra właściwego do spraw wewnętrznych, a także do samorządów terytorialnych, których obszar administracyjny obejmuje tereny, na których prowadzona jest działalność ratownicza w górach. Do zapewnienia warunków bezpieczeństwa w omawianych obszarach zobowiązane są również dyrekcje parków narodowych i krajobrazowych, które funkcjonują na terenach górskich, a także osoby fizyczne, osoby prawne i jednostki organizacyjne nieposiadające osobowości prawnej, prowadzące określoną działalność w wymienionych terenach<sup>20</sup>. Warunki bezpieczeństwa, o których mowa skupiają się głównie na:

- określeniu zasad użytkowania z danego urzędnia, obiektu i terenu;
- oznakowaniu urzędzeń, obiektów i terenów, które przeznaczone są do celów sportowych, rekreacyjnych i turystycznych;
- zapewnieniu warunków do niesienia pomocy oraz ratowania osób ulegających wypadkowi lub narażonych na niebezpieczeństwo podmiotom, które są uprawnione do działalności w zakresie ratownictwa górskiego;
- alarmowaniu o zagrożeniu lawinowym<sup>21</sup>.

Ustawa określa również szczegółowo, jakie podmioty mogą wykonywać ratownictwo górskie, wymieniając przy tym Górskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe oraz Tatrzańskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe, działające za zgodą ministra właściwego do spraw wewnętrznych. Jednakże te organizacje nie mają wyłączności na tego typu działalność, gdyż wykonywać je mogą „inne podmioty”, które uzyskały wspomnianą zgodę ministra właściwego do spraw wewnętrznych. Zgodę na działalność ratowniczą w górach otrzymać mogą organizacje spełniające określone warunki, takie jak zapewnienie stanu gotowości organizacji do działalności ratowniczej w górach, posiadanie kadry ratowniczej w ilości niezbędnej do osiągnięcia stanu gotowości oraz sprzętu specjalistycznego, środków łączności i transportu<sup>22</sup>.

Tatrzańskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe wykonuje działalność taką jak Górskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe, jednak terenem działania w tym przypadku są Tatry. TOPR jest stowarzyszeniem, które według statusu działa na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, jednak w sytuacjach wyjątkowych może wykonywać zadania na obszarach innych państw. TOPR jest organizacją *non-profit*, która działa w ramach organizacji pożytku publicznego. Do jej podstawowych celów statutowych należy:

- działalność ratownicza prowadzona na rzecz ochrony zdrowia i ochrony ludności;
- ochrona środowiska naturalnego;
- pomoc społeczną;
- działalność oświatowa;
- promowanie kultury fizycznej i sportu, krajoznawstwa oraz turystyki;
- działalność wolontariacka<sup>23</sup>.

<sup>20</sup> Ustawa z dnia 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie i ratownictwie w górach i na zorganizowanych terenach narciarskich (Dz.U. z 2011 r., nr 208, poz. 1241), art. 3.

<sup>21</sup> Tamże, art. 3.

<sup>22</sup> Tamże.

<sup>23</sup> „Statut Tatrzańskiego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego z dnia 28 października 2017 r.”, rozdz. 2.

TOPR mimo celów statutowych w obszarze oświaty czy promocji kultury fizycznej kojarzony jest głównie z działalnością ratunkową, mającą na celu ochronę życia i zdrowia turystów. Tym obszarem działalności TOPR zajmuje się wyodrębniony organ, jakim jest Straż Ratunkowa TOPR, której podstawowym zadaniem, według jej regulaminu, jest:

organizowanie, kierowanie, koordynowanie i bezpośrednie prowadzenie działań ratowniczych w górach i na zorganizowanych terenach narciarskich, organizowanie i prowadzenie szkolenia ratowników górskich i narciarskich, oraz opracowanie komunikatów lawinowych<sup>24</sup>.

Od lat w obszarach górskich, w tym w polskich Tatrach, obserwuje się wypadki zagrożące bezpieczeństwu ludzi korzystających z tych obszarów w celach turystycznych, sportowych czy rekreacyjnych. TOPR od lat publikuje statystyki wskazujące na nieustanną konieczność realizowania zadań w ramach ratownictwa górskiego, przy regularnie występujących wypadkach i zagrożeniach.

Poniżej przedstawione zostały statystyki odnoszące się do przypadków opisanych powyżej, które miały miejsce od 2018 r. W tabelach 2, 3 i 4 przedstawiono działania TOPR w 2018 r.

Tabela 2. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2018 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 1 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia Płatnia	Złedny Alarm	inne	
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szt. uratw.	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinacz kowy	Jaski nowe	Canyon Ingowy				
RAZEM DZIAŁAŃ	691	619	586	1	2	20	11	30	30						42
w tym Śmigłowiec	230	192	184		1	6	1	19	19						19
<b>TATRY - LICZBA DZIAŁAŃ</b>															
OGÓLEM	653	602	572	1	1	19	10	28	28						23
w tym Śmigłowiec	209	187	180		1	5	1	18	18						4
WYPRAWY Ratunkowe	266	236	227	1		9		24	24						6
w tym Śmigłowiec	175	155	151			4		18	18						2
AKCJE Ratunkowe	343	328	307		1	10	10	2	2						13
w tym Śmigłowiec	34	32	29		1	1	1								2
INTERWENCJE Pozostałe	44	38	38					2	2						4
<b>PASMO SPISKO-GUBAŁOWSKIE - LICZBA DZIAŁAŃ</b>															
OGÓLEM	15	12	10		1		1								3
w tym Śmigłowiec	4	1	1												3
WYPRAWY Ratunkowe	5	2	2												3
w tym Śmigłowiec	3														3
AKCJE Ratunkowe	10	10	8		1		1								
w tym Śmigłowiec	1	1	1												
INTERWENCJE Pozostałe															
<b>TERENY GÓRSKIE POLUDNIOWEJ MAŁOPOLSKI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>															
OGÓLEM	4	2	2												2
w tym Śmigłowiec	3	2	2												1
WYPRAWY Ratunkowe	3	2	2												1
w tym Śmigłowiec	3	2	2												1
AKCJE Ratunkowe	1														1
w tym Śmigłowiec															
INTERWENCJE Pozostałe															

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

<sup>24</sup> „Regulamin Straży Ratunkowej Tatrzańskiego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego z dnia 17 lipca 2021 r.”, Postanowienia ogólne.

Tabela 3. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2018 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 2 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia Plotnia	Zbędny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szt. ulatw.	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinacz kowy	Jaski niowy	Canyon ingowy			
<b>TERENY POZA GÓRAMI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓŁEM	13													13
w tym Śmigłowiec	11													11
WYPRAWY Ratunkowe	3													3
w tym Śmigłowiec	3													3
AKCJE Ratunkowe	10													10
w tym Śmigłowiec	8													8
INTERWENCJE Pozostałe														
<b>GÓRY SŁOWACJI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓŁEM	6	3	2			1		2	2					1
w tym Śmigłowiec	3	2	1			1		1	1					
WYPRAWY Ratunkowe	3	2	1			1		1	1					
w tym Śmigłowiec	3	2	1			1		1	1					
AKCJE Ratunkowe														
w tym Śmigłowiec														
INTERWENCJE Pozostałe	3	1	1					1	1					1
<b>REJONIZACJA ZDARZEŃ - PODSUMOWANIE</b>														
Tatry polskie	653	602	572	1	1	10	10	28	28					23
w tym pow. 1500	319	290	271	1		16	3	26	26					3
w tym do 1500	334	312	301			1	3	7	2	2				20
Pasma Spisako-Gubałowskie	15	12	10			1		1						3
Góry Południowej Małopolski	4	2	2											2
Tereny poza górami	13													13
Góry Słowacji	6	3	2			1		2	2					1

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

Tabela 4. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2018 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 3 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia Plotnia	Zbędny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szt. ulatw.	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinacz kowy	Jaski niowy	Canyon ingowy			
<b>ZAAANGAŻOWANIE RATOWNIKÓW</b>														
LICZBA Ratowników w interw.	2254	1974	1855	3	6	82	31	129	129					151
w tym Ratown. Ochotników	719	649	604	2	1	32	12	30	30					40
GODZIN pracy Ratown. (e+w)	5359	4661	4412	9	7	193	50	385	385					313
w tym godzin społecznych	2594	2284	2160	6	2	99	23	167	167					142
LICZBA interw. z udziałem psa	9	3	3											6
<b>PRZYCZYNY ZDARZEŃ</b>														
Upadek (np. poknięcie)	320	314	288		2	16	8	2	2					4
Upadek z wysokości	60	46	44				1	1	14	14				
Zabłędzenie	45	41	40				1		3	3				1
Spadający kamień / lód	8	5	5						3	3				
Lawina	3	2	2											1
Rażenie piorunem	2	2	2	1										
Wpływ niskiej temperatury	13	13	12				1							
Wpływ wysokiej temperatury	2	2	2											
Zachorowanie	118	106	106											12
Brak umiejętności	91	83	80		1	1	1	8	8					
Nieodpowiednie wyposażenie	55	53	52				1	2	2					
Inne	100	79	75				3	1	4	4				17
Nie dotyczy	24	16	16											8

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

Na podstawie powyższych danych można stwierdzić, że najczęstszą przyczyną wypadków w górach jest ludzki błąd. Dlatego tak ważne jest, aby przed wyprawą w góry odpowiednio się przygotować i wyposażać. Turyści powinni mieć świadomość

zagrożenia lawinowego i przestrzegać zasad bezpieczeństwa. W tabeli 5, 6, 7 przedstawiono działania TOPR w 2019 r.

Tabela 5. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2019 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 1 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia Pilotnia	Zbędny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. pieszo	w tym na sztucznych	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinacz kowy	Jaski nowy	Canyon ingowy			
RAZEM DZIAŁAŃ	739	647	617	5	2	26	2	53	21	32			4	35
w tym Śmigłowiec	281	218	207	5			9	2	46	14	32		2	15
<b>TATRY - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓLEM	712	636	606	5	2	26	2	52	20	32			4	20
w tym Śmigłowiec	267	213	202	5			9	2	45	13	32		2	7
WYPRAWY Ratunkowe	276	220	210	5			9	1	49	17	32		1	6
w tym Śmigłowiec	206	158	150	5			7	1	45	13	32			3
AKCJE Ratunkowe	400	382	363		2	16	1	3	3				3	12
w tym Śmigłowiec	61	55	52				2	1					2	4
INTERWENCJE Pozostałe	36	34	33				1							2
<b>PASMO SPISKO-GUBAŁOWSKIE - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓLEM	13	8	8											5
w tym Śmigłowiec	2	2	2											
WYPRAWY Ratunkowe	3	2	2											1
w tym Śmigłowiec	2	2	2											
AKCJE Ratunkowe	10	6	6											4
w tym Śmigłowiec														
INTERWENCJE Pozostałe														
<b>TERENY GÓRSKIE POŁUDNIOWEJ MAŁOPOLSKI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓLEM	2	1	1											1
w tym Śmigłowiec	2	1	1											1
WYPRAWY Ratunkowe	1	1	1											
w tym Śmigłowiec	1	1	1											
AKCJE Ratunkowe	1													1
w tym Śmigłowiec	1													1
INTERWENCJE Pozostałe														

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

Tabela 6. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2019 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 2 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia Pilotnia	Zbędny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. pieszo	w tym na sztucznych	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinacz kowy	Jaski nowy	Canyon ingowy			
<b>TERENY POZA GÓRAMI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓLEM	7													7
w tym Śmigłowiec	6													6
WYPRAWY Ratunkowe	1													1
w tym Śmigłowiec	1													1
AKCJE Ratunkowe	6													6
w tym Śmigłowiec	5													5
INTERWENCJE Pozostałe														
<b>GÓRY SŁOWACJI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓLEM	4	2	2					1	1					1
w tym Śmigłowiec	4	2	2					1	1					1
WYPRAWY Ratunkowe	3	2	2											1
w tym Śmigłowiec	3	2	2											1
AKCJE Ratunkowe	1							1	1					
w tym Śmigłowiec	1							1	1					
INTERWENCJE Pozostałe														
<b>REJONIZACJA ZDARZEŃ - PODSUMOWANIE</b>														
Tatry polskie	712	636	606	5	2	26	2	52	20	32			4	20
w tym pow. 1500	339	308	290	5		16	2	20	20				3	8
w tym do 1500	373	328	316			2	10	32		32			1	12
Pasma Spisko-Gubałowskie	13	8	8											5
Góry Południowej Małopolski	2	1	1											1
Tereny poza górami	7													7
Góry Słowacji	4	2	2					1	1					1

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

Tabela 7. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2019 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 3 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia P-lotnia	Zbędny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szt. ulatw.	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinaczkowy	Jaskiniowy	Canyoningowy			
<b>ZAAANGAŻOWANIE RATOWNIKÓW</b>														
LICZBA Ratowników w interw.	2549	1981	1892	16	4	77	8	404	91	313			34	130
w tym Ratow. Ochotników	860	625	602		2	21		174	20	154			13	48
GODZIN pracy Ratow. (a+wi)	13718	5562	5404	31	7	140	11	5816	301	5516			79	262
w tym godzin społecznych	7064	3196	3111		4	81		3656	141	3515			51	162
LICZBA interw. z udziałem psa	5	2	2										3	
<b>PRZYCZYNY ZDARZEŃ</b>														
Upadek (np. potknięcie)	295	290	270	2	2	17	1	2	2					3
Upadek z wysokości	51	37	35	2		1	1	13	13					1
Zabłądzenie	47	45	44			1		2	2					
Spadający kamień / łód	8	6	6					1	1					1
Lawina	8	5	4				1	1	1				2	
Rażenie piorunem	4	3	3											1
Wpływ niskiej temperatury	14	13	13					1	1					
Wpływ wysokiej temperatury	4	4	4											
Zachorowanie	146	136	136											10
Brak umiejętności	100	95	93	3		1	1	5	5					
Nieodpowiednie wyposażenie	54	53	52	1		1		1	1					
Inne	156	108	101			6	1	33	1	32				15
Nie dotyczy	25	16	16	1									2	7

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

TOPR prowadzi działania edukacyjne, w celu zwiększenia świadomości bezpieczeństwa w górach, jednak znaczna liczba turystów nadal nie stosuje się do zasad bezpieczeństwa i nie przestrzega zaleceń TOPR, z związku z tym prowadzi to do znacznej liczby wypadków. W tabeli 8, 9, 10 przedstawiono działania TOPR w 2020 r.

Tabela 8. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2020 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 1 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia P-lotnia	Zbędny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szt. ulatw.	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinaczkowy	Jaskiniowy	Canyoningowy			
RAZEM DZIAŁAŃ	637	562	545	1	4	8	5	32	29	3			3	40
w tym Śmigłowiec	242	207	199	1	3	5		18	18				2	15
<b>TATRY - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓLEM	607	545	532	1	1	7	5	32	29	3			3	27
w tym Śmigłowiec	231	202	198	1		4		18	18				2	9
WYPRAWY Ratunkowe	262	217	213	1		3	1	27	24	3				18
w tym Śmigłowiec	193	167	165	1		2		18	18					8
AKCJE Ratunkowe	326	311	302		1	4	4	5	5				3	7
w tym Śmigłowiec	38	35	33			2							2	1
INTERWENCJE Pozostałe	19	17	17											2
<b>PASMO SPISKO-GUBAŁOWSKIE - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓLEM	16	11	11											5
w tym Śmigłowiec	2													2
WYPRAWY Ratunkowe	4	2	2											2
w tym Śmigłowiec	2													2
AKCJE Ratunkowe	12	9	9											3
w tym Śmigłowiec														
INTERWENCJE Pozostałe														
<b>TERENY GÓRSKIE POŁUDNIOWEJ MAŁOPOLSKI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓLEM	4	4	1		3									
w tym Śmigłowiec	4	4	1		3									
WYPRAWY Ratunkowe	1	1			1									
w tym Śmigłowiec	1	1			1									
AKCJE Ratunkowe	3	3	1		2									

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

Tabela 9. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2020 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 2 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia Pilotnia	Zbębny Alarm	inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szt. ulatw.	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinacz kowy	Jeski niowy	Canyon ingowy			
<b>TERENY POZA GÓRAMI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓLEM	9	1	1											8
w tym Śmigłowiec	4													4
WYPRAWY Ratunkowe	6													6
w tym Śmigłowiec	4													4
AKCJE Ratunkowe	3	1	1											2
w tym Śmigłowiec														
INTERWENCJE Pozostałe														
<b>GÓRY SŁOWACJI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓLEM	1	1					1							
w tym Śmigłowiec	1	1					1							
WYPRAWY Ratunkowe	1	1					1							
w tym Śmigłowiec	1	1					1							
AKCJE Ratunkowe														
w tym Śmigłowiec														
INTERWENCJE Pozostałe														
<b>REJONIZACJA ZDARZEŃ - PODSUMOWANIE</b>														
Tatry polskie	607	545	532	1	1	7	5	32	29	3			3	27
w tym powyżej 1500	336	295	291	1		4		25	25				3	13
w tym do 1500	271	250	241		1	3	5	7	4	3				14
Pasma Spisko-Gubałowskie	16	11	11											5
Góry Południowej Małopolski	4	4	1			3								
Tereny poza górami	9	1	1											8
Góry Słowacji	1	1					1							

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

Tabela 10. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2020 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 3 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia Pilotnia	Zbębny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szt. ulatw.	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinacz kowy	Jeski niowy	Canyon ingowy			
<b>ZAAANGAŻOWANIE RATOWNIKÓW</b>														
LICZBA Ratowników w interw.	2251	1815	1760	5	14	30	11	134	116	18			12	290
w tym Ratown. Ochotników	675	527	516			8	3	34	27	7			3	111
GODZIN pracy Ratown. (a+w)	7086	5204	5060	9	26	76	22	500	371	129			52	1333
w tym godzin społecznych	3804	2758	2695		2	47	15	220	147	73			44	783
LICZBA interw. z udziałem psa	11	3	3											8
<b>PRZYCZYNY ZDARZEŃ</b>														
Upadek (np. potknięcie)	300	291	280		2	5	4	3	2	1				6
Upadek z wysokości	65	48	47	1			1	13	13					4
Zabłądzenia	36	33	33					3	3					
Spadający kamień / lód	7	5	5					2	2					
Lawina	2	2	2											
Rażenie piorunem														
Wpływ niskiej temperatury	6	5	5											1
Wpływ wysokiej temperatury	5	5	5											
Zachorowanie	97	88	87		1			1	1					8
Brak umiejętności	79	66	66					11	9	2				2
Nieodpowiednie wyposażenie	44	40	40					4	4					
Inne	98	82	78		1	2	1	2	2				1	13
Nie dotyczy	26	16	16										2	8

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

W 2021 r. TOPR odnotował wzrost wypadków, największy w miesiącach wakacyjnych. Ich najczęstszą przyczyną był upadek z wysokości, następnie zachorowanie i nieodpowiednie wyposażenie lub brak umiejętności. Również dochodziło do wypadków lawinowych. Wzrost liczby wypadków w górach jest trendem, który obserwuje się od kilku lat. Poniżej przedstawiono zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2021 r.

Tabela 11. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2021 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 1 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia P-lotnia	Zbłądny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szt. ulatw.	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinoz kowy	Jaski niowy	Canyon ingowy			
<b>RAZEM DZIAŁAŃ</b>	969	904	848	1	3	49	4	31	29	2			3	31
w tym Śmigłowiec	286	261	237	1	1	20	3	15	14	1			1	13
<b>TATRY - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
<b>OGÓŁEM</b>	949	890	837	1	3	48	2	31	29	2			3	25
w tym Śmigłowiec	275	253	232	1	1	19	1	15	14	1			1	6
WYPRAWY Ratunkowe	310	283	263	1	1	20	1	20	19	1			1	6
w tym Śmigłowiec	227	208	190	1	1	16	1	15	14	1				4
AKCJE Ratunkowe	577	549	522		2	24	1	10	9	1			2	16
w tym Śmigłowiec	47	44	41			3							1	2
INTERWENCJE Pozostałe	62	58	54			4		1	1					3
<b>PASMO SPISKO-GUBAŁOWSKIE - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
<b>OGÓŁEM</b>	8	6	6											2
w tym Śmigłowiec	2													2
WYPRAWY Ratunkowe	2	2	2											
w tym Śmigłowiec														
AKCJE Ratunkowe	6	4	4											2
w tym Śmigłowiec	2													2
INTERWENCJE Pozostałe														
<b>TERENY GÓRSKIE POŁUDNIOWEJ MAŁOPOLSKI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
<b>OGÓŁEM</b>	8	5	5											3
w tym Śmigłowiec	8	5	5											3
WYPRAWY Ratunkowe	5	3	3											2
w tym Śmigłowiec	5	3	3											2
AKCJE Ratunkowe	3	2	2											1
w tym Śmigłowiec	3	2	2											1
INTERWENCJE Pozostałe														

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

Tabela 12. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2021 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 2 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia P-lotnia	Zbłądny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szt. ulatw.	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinoz kowy	Jaski niowy	Canyon ingowy			
<b>TERENY POZA GÓRAMI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
<b>OGÓŁEM</b>	3	2					2							1
w tym Śmigłowiec	2	2					2							
WYPRAWY Ratunkowe	1	1					1							
w tym Śmigłowiec	1	1					1							
AKCJE Ratunkowe	2	1					1							1
w tym Śmigłowiec	1	1					1							
INTERWENCJE Pozostałe														
<b>GÓRY SŁOWACJI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
<b>OGÓŁEM</b>	1	1				1								
w tym Śmigłowiec	1	1				1								
WYPRAWY Ratunkowe	1	1				1								
w tym Śmigłowiec	1	1				1								
AKCJE Ratunkowe														
w tym Śmigłowiec														
INTERWENCJE Pozostałe														
<b>REJONIZACJA ZDARZEŃ - PODSUMOWANIE</b>														
Tatry polskie	949	890	837	1	3	48	2	31	29	2			3	25
w tym pow. 1500	485	443	411	1		31	1	29	28	1			1	12
w tym do 1500	464	447	426		3	17	1	2	1	1			2	13
Pasma Spisko-Gubałowskie	8	6	6											2
Góry Południowej Małopolski	8	5	5											3
Tereny poza górami	3	2					2							1
Góry Słowacji	1	1				1								

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].



Tabela 13. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2021 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 3 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia Piłotnia	Zbędny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szt. ulstb.	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinacz kowy	Jaski niowy	Canyon ingowy			
<b>ZAANGAŻOWANIE RATOWNIKÓW</b>														
LICZBA Ratowników w interw.	2893	2586	2368	3	10	194	14	191	174	17			10	106
w tym Ratown. Ochotników	800	698	637		4	56	1	70	64	6			2	30
GODZIN pracy Ratown. (a-w)	7719	6627	6161	3	16	431	19	770	644	126			24	299
w tym godzin społecznych	4289	3632	3375		9	242	7	469	414	55			3	185
LICZBA interw. z udziałem pisa	5	4	3			1							1	
<b>PRZYCZYNY ZDARZEŃ</b>														
Upadek (np. potknięcie)	435	431	394	1	3	31	3	3	2	1				1
Upadek z wysokości	55	42	41	1			1	12	12					1
Zabłądzenie	53	50	48				2	3	3					
Spadający kamień / lód	11	8	8					3	3					
Lawina	10	9	5			4		1	1					
Rażenie piorunem														
Wpływ niskiej temperatury	13	13	12			1								
Wpływ wysokiej temperatury	4	4	4											
Zachorowanie	182	172	171				1	1	1					9
Brak umiejętności	120	113	109			4		7	7					
Nieodpowiednio wyposażenie	63	61	59			2		2	2					
Inne	168	147	137			9	1	9	8	1				12
Nie dotyczy	44	32	31			1		1	1				3	8

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

Również statystyki obejmujące rok 2022 wskazują na konieczność ciągłej gotowości TOPR do wypełniania swoich statutowych działań. W tabelach 14, 15 i 16 przedstawiono zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2022 r.

Tabela 14. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2022 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 1 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia Piłotnia	Zbędny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szt. ulstb.	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinacz kowy	Jaski niowy	Canyon ingowy			
RAZEM DZIAŁAŃ	938	869	819	2	4	34	3	29	26	3			2	47
w tym Śmigłowiec	283	258	229	2		19	2	15	13	2			2	16
<b>TATRY - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓŁEM	886	832	794	2	2	34	2	26	23	3			1	27
w tym Śmigłowiec	264	242	221	2		19	2	14	12	2			1	7
WYPRAWY Ratunkowe	307	289	264	2		15	1	16	13	3			1	10
w tym Śmigłowiec	223	208	194	2		13	1	12	10	2			1	2
AKCJE Ratunkowe	544	517	496		2	18	1	10	10					17
w tym Śmigłowiec	41	34	27			6	1	2	2					5
INTERWENCJE Pozostałe	35	35	34			1								
<b>PASMO SPISKO-GUBAŁOWSKIE - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓŁEM	21	15	13		2									6
w tym Śmigłowiec	2													2
WYPRAWY Ratunkowe	2													2
w tym Śmigłowiec	2													2
AKCJE Ratunkowe	19	15	13		2									4
w tym Śmigłowiec														
INTERWENCJE Pozostałe														
<b>TERENY GÓRSKIE POŁUDNIOWEJ MAŁOPOLSKI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓŁEM	9	4	4										1	4
w tym Śmigłowiec	5	3	3										1	1
WYPRAWY Ratunkowe	3	3	3											
w tym Śmigłowiec	3	3	3											
AKCJE Ratunkowe	6	1	1										1	4
w tym Śmigłowiec	2												1	1
INTERWENCJE Pozostałe														

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

Według statystyk Tatrzańskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe w 2022 r. wykonano 938 działań ratowniczych, w tym 283 przy wykorzystaniu śmigłowca. Interwencje podejmowane wobec wydarzeń wynikających z uprawiania turystyki zamknęły się w licznie 860 takich działań, w tym największą liczbę przypadków, bo aż 819, odnotowano w przypadku turystyki pieszej, także największą liczbę przypadków wykorzystania śmigłowca. Mniejsza liczba interwencji podejmowana była wobec turystyki rowerowej, czy przy wykorzystaniu nart. Podejmowane działania wynikające z uprawiania alpinizmu wyniosły 29 przypadków, w tym 26 przy alpinizmie wspinaczkowym, 3 przypadki przy alpinizmie jaskiniowym. Głównym obszarem podejmowanych akcji ratunkowych były oczywiście polskie Tatry, na których podjęto 886 działań na 938 wszystkich działań TOPR w 2022 r. Górskie działania ratownicze TOPR były również podejmowane na Pogórzu Spisko-Gubałowskim oraz na terenach górskich południowej Małopolski i zamknęły się w liczbie 30 podjętych interwencji na tych terenach.

Tabela 15. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2022 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 2 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Łatnia Piętelnia	Zbędny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szlakach	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinaczkowy	Jaski nowe	Canyoningowy			
<b>TERENY POZA GÓRAMI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓLEM	10	2	1				1							8
w tym Śmigłowiec	6													6
WYPRAWY Ratunkowe	4													4
w tym Śmigłowiec	4													4
AKCJE Ratunkowe	5	1					1							4
w tym Śmigłowiec	2													2
INTERWENCJE Pozostałe	1	1	1											
<b>GÓRY SŁOWACKI - LICZBA DZIAŁAŃ</b>														
OGÓLEM	12	7	7					3	3					2
w tym Śmigłowiec	6	5	5					1	1					
WYPRAWY Ratunkowe	10	5	5					3	3					2
w tym Śmigłowiec	5	4	4					1	1					
AKCJE Ratunkowe	1	1	1											
w tym Śmigłowiec	1	1	1											
INTERWENCJE Pozostałe	1	1	1											
<b>REJONIZACJA ZDARZEŃ - PODSUMOWANIE</b>														
Tatry polskie	886	832	794	2	2	34	2	26	23	3			1	27
w tym pow. 1500	469	420	389	2	1	28	2	25	23	2			1	14
w tym do 1500	426	412	405		1	6		1		1				13
Pasma Spisko-Gubałowskie	21	15	13		2									6
Góry Południowej Małopolski	9	4	4										1	4
Tereny poza górami	10	2	1				1							8
Góry Słowacki	12	7	7					3	3					2

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

Działalność TOPR wykracza w niektórych sytuacjach poza obszar polskich gór, a nawet poza granice Polski, i takie sytuacje miały miejsce w 2022 r. Według podanych statystyk interwencje podejmowane na terenie Polski, jednakże poza terenami górskimi, wyniosły 10 przypadków, w tym sześć wymagało wykorzystania śmigłowca. Dwa przypadki dotyczyły uprawianej turystyki, większość zaś określona została jako „inne”. Większą liczbę działań podjęto natomiast na terenie Słowacji, gdzie polscy ratownicy interweniowali 12 razy, głównie przy zdarzeniach wynikających z uprawiania turystyki i alpinizmu. Przy akcjach podejmowanych na terytorium Słowacji w 2022 r. śmigłowiec został wykorzystany sześć razy.

Tabela 16. Zestawienie statystyczne działań TOPR w ramach ratownictwa górskiego w 2022 r.

LICZBA DZIAŁAŃ RATOWNICZYCH Część 3 z 3	RAZEM	Podczas uprawiania turystyki						Podczas uprawiania alpinizmu				Lotnia P-lotnia	Zbiedny Alarm	Inne
		Turyst. RAZEM	Turyst. piesza	w tym na szt. aliatk.	Rowerowe	Narty Skitour	Narty Freeride	Alpinizm RAZEM	Wspinacz kowy	Jaski niowy	Canyon Ingowy			
<b>ZAANGAŻOWANIE RATOWNIKÓW</b>														
LICZBA Ratowników w interw.	3024	2703	2525	10	5	151	22	125	98	27			12	184
w tym Ratown. Ochotników	945	855	810	1	1	37	7	29	18	11			5	56
GODZIN pracy Ratown. (a+w)	8357	7334	6893	19	7	403	32	445	317	128			45	534
w tym godzin społecznych	4594	4015	3760	3	1	244	11	253	139	114			31	295
LICZBA interw. z udziałem psa	13	8	8											5
<b>PRZYCZYNY ZDARZEŃ</b>														
Upadek (np. potknięcie)	400	389	358		4	26	1	2	1	1				9
Upadek z wysokości	87	70	68	1		2		14	13	1				3
Zabłądzenie	63	57	56			1		4	4					2
Spadający kamień / lód	8	5	5					3	2	1				
Lawina	9	7	5			1	1							2
Rażenie piorunem	2	2	2											
Wpływ niskiej temperatury	15	14	14					1	1					
Wpływ wysokiej temperatury	9	9	9											
Zachorowanie	196	183	183											13
Brak umiejętności	136	131	130				1	4	4					1
Nieodpowiednie wyposażenie	80	79	79	1				1	1					
Inne	122	107	101	1		5	1	6	6				1	8
Nie dotyczy	40	27	27										1	12

Źródło: <https://www.topr.pl/index.php/statystyka> [dostęp: 8.03.2023].

Konieczność podejmowania działań przez TOPR wynika z bardzo wielu różnych przyczyn, takich jak warunki pogodowe czy niewłaściwe zachowanie ludzi korzystających z górskich pasm. Według przypadków zarejestrowanych przez TOPR największą liczbę przyczyn zdarzeń, w wyniku których musiały zostać podjęte interwencje, stanowił upadek. Przypadki upadków odnotowano 400 razy, zaś upadków z wysokości 87 razy. Dużą liczbę przyczyn zdarzeń stanowią również zabłądzenia, których zarejestrowano 63 w 2022 r. Oczywiście wiele przypadków wynika z zastanych warunków pogodowych czy nagłych zmian pogody, czyli niezależnych od ludzi. Tego typu przyczynami były lawiny, rażenie piorunem, spadający lód lub kamień czy wpływ wysokiej lub niskiej temperatury. Duża część przyczyn zdarzeń, w wyniku których użyte zostały siły i środki TOPR, wynikała z działalności człowieka. Obejmowały one zachowanie, w wyniku którego podejmowano 196 interwencji, brak umiejętności – 136 interwencji, czy również nieodpowiednie wyposażenie – 80 interwencji. W 2022 r. przy tak dużej liczbie interwencji odnotowano również wypadki śmiertelne, których liczba wyniosła 20 ofiar. W wyniku zaistniałych wydarzeń 312 osób doznało poważnych zachorowań lub obrażeń, a 338 nie doznało żadnych urazów<sup>25</sup>.

Przeglądając statystyki TOPR, można dostrzec, że ogrom interwencji podejmowanych przez tę organizację nie dotyczy wyłącznie 2022 r., lecz wielu lat wstecz. W statystykach z 2018 r. liczba przeprowadzonych działań ratowniczych jest znacząco niższa niż w 2022 r., jednakże w 2021 r. wyższa. Liczba działań ratowniczych jest zmienna, z zauważalną tendencją wzrostową od 2021 r., jednak statystyki wskazują, że od lat TOPR jest organizacją, która niesie pomoc ludziom w potrzebie w wielu wymagających tego przypadkach.

<sup>25</sup> <https://www.rynek-lotniczy.pl/wiadomosci/topr-podsumowal-dzialalnosc-ratownicza-w-2022-r-16786.html> [dostęp: 11.03.2023].

Nie jest zaskoczeniem fakt, że głównym obszarem działania TOPR w latach 2018–2022 był obszar polskich Tatr, w którym ratownicy podejmowali średnio najwyższą liczbę działań. Niezmiennie również główną przyczyną spotykanych wypadków w przeciągu tego okresu były upadki, które wymagały podjęcia działań ratowniczych. W każdym z omawianych lat liczba zaangażowanych ratowników w interwencjach przekraczała znacząco dwa tysiące. Największa liczba ratowników w interwencjach uczestniczyła w 2022 r., przekraczając trzy tysiące. Tendencja ta, a także wzrost liczby działań wskazują, że TOPR z roku na rok może być zmuszony angażować coraz więcej sił i środków w celu niesienia pomocy ludziom w potrzebie. Liczby te wskazują również na to, jak bardzo istotne i potrzebne jest funkcjonowanie TOPR i w jaki sposób wypełnia on swoje obowiązki. Zauważone tendencje wzrostowe wskazują również na to, że rola TOPR nie będzie malała, przeciwnie – zauważalnie wzrasta.

## 5. ZAKOŃCZENIE

Lata 2018–2022 obfitowały w wiele zdarzeń, wobec których Tatrzańskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe musiało podejmować interwencje, wykorzystując swoje unikalne kwalifikacje, a także siły i środki. Działalność ta, obejmująca również dziesiątki lat wstecz, w których TOPR zawsze był gotowy nieść pomoc ludziom w potrzebie, może utwierdzać w przekonaniu, jak dużą siłę posiadają tego typu organizacje pożytku publicznego i jaki znaczący wkład mają w budowanie bezpieczeństwa w państwie, nie będąc przy tym podmiotem aparatu państwowego czy podmiotem prywatnym, nastawionym na zysk. Przypadki incydentów rejestrowanych w ostatnich latach oraz efektywna działalność TOPR wobec zaistniałych incydentów jest niezbitym dowodem, jak pożądaną i konieczną jest działalność na rzecz wspierania tego typu organizacji. Świadczy to również o tym, jak dużą rolę dla budowania bezpieczeństwa państwa, poczucia bezpieczeństwa obywateli, a także sprawności państwa czy jego rozwoju, może mieć trzeci sektor, którego podmioty funkcjonują w wielu obszarach, często takich, które okazywały się trudno dostępne dla podmiotów państwowych. Dobrym tego przykładem jest Tatrzańskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe. Ciągłe rozwijający się trzeci sektor, rosnąca liczba organizacji pozarządowych na świecie czy w Polsce, jest wielkim potencjałem zarówno dla społeczeństwa, jak i dla struktur państwowych, które mogą również czerpać korzyści z działalności tychże organizacji. Możliwość wolnego funkcjonowania organizacji pozarządowych potrafi przyczynić się do budowania bezpieczeństwa wewnętrznego państwa, poczucia bezpieczeństwa wśród obywateli, przyczynia się do możliwości rozwoju zarówno państwa, jak i jego obywateli. Świadectwem skutków działalności organizacji pozarządowych są statystyki przedstawione w niniejszym artykule, czy również inne dostępne, które nie zostały tu przytoczone. Pokazują one, jak duży wkład wnoszą tego typu podmioty, których celem jest niesienie pomocy społeczeństwu, zarówno w zakresie ratownictwa, jak i w wielu innych sferach życia społecznego.

We współczesnym świecie, w którym nowe zagrożenia pojawiają się regularnie w obszarze zjawisk politycznych, ekonomicznych czy społecznych, wydaje się, że rola

społeczeństwa obywatelskiego oraz jego aktywność nabierają coraz większego znaczenia. Specyfika nowo powstałych zagrożeń często uświadamia, że aktywność społeczeństwa, jego działalność w ramach organizacji pozarządowych, jest jedną z głównych ról w kwestii ich zwalczania i łagodzenia ich skutków.

## BIBLIOGRAFIA

### Artykuły i monografie

Bryce H.J., *Financial and Strategic Management for Nonprofit Organizations, Fourth Edition*, De Gruyter, Berlin 2017.

Chrabańska-Czerwińska A., *Organizacyjno-prawne problemy działalności TOPR i HZS. Analiza komparatywna*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach” 2020, nr 392.

Ciekanowski Z., *Podstawy zarządzania bezpieczeństwem państwa*, PWSTE, Jarosław 2019.

Drabik I., *Rola i znaczenie organizacji pozarządowych w zarządzaniu kryzysowym*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie” 2015, nr 20.

Janoś-Kresło M., *Organizacje pozarządowe na rynku usług społecznych w Polsce*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2013.

Lee Z., Bourne H., *Managing Dual Identities in Nonprofit Rebranding: An Exploratory Study*, „Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly” 2017, vol. 46, z. 4.

Leś E., *Od filantropii do pomocniczości. Studium porównawcze rozwoju i działalności organizacji społecznych*, Dom Wydawniczy Elipsa, Warszawa 2000.

Morawski A., *Rola organizacji pozarządowych w procesie zarządzania kryzysowego*, „Kwartalnik Naukowy OAP UW »e-Politikon«” 2013, nr 6.

Morawski A., *Wykorzystanie potencjału organizacji pozarządowych w procesie zarządzania kryzysowego*, UW, Warszawa 2014.

Rogaczewska K., *Organizacje pozarządowe w polityce międzynarodowej*, UW, Wrocław 2015.

Schmidt J., *Rozwój organizacji pozarządowych. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Akademickie SEDNO, Warszawa 2012.

Zgajewska-Rytelewska E., *Trzeci sektor w zarządzaniu kryzysowym*, „Kultura Bezpieczeństwa Nauka – Praktyka – Refleksje” 2017, nr 28.

### Akty i dokumenty prawne

„Regulamin Straży Ratunkowej Tatrzańskiego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego z dnia 17 lipca 2021 r.”

„Statut Tatrzańskiego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego z dnia 28 października 2017 r.”

Ustawa z dnia 24 kwietnia 2003 r. o działalności pożytku publicznego i o wolontariacie (Dz.U. z 2003 r., nr 96, poz. 873).

Ustawa z dnia 8 września 2006 r. o Państwowym Ratownictwie Medycznym (Dz.U. z 2006 r., nr 191, poz. 1410).

Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Dz.U. z 2007 r., nr 89, poz. 590).

Ustawa z dnia 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie i ratownictwie w górach i na zorganizowanych terenach narciarskich (Dz.U. z 2011 r., nr 208, poz. 1241).

Ustawa z dnia 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie osób przebywających na obszarach wodnych (Dz.U. z 2011 r., nr 208, poz. 1240).

#### Źródła internetowe

---

<https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/gospodarka-spoeczna-wolontariat/gospodarka-spoeczna-trzeci-sektor/dzialalnosc-stowarzyszen-i-podobnych-organizacji-spoecznych-fundacji-spoecznych-podmiotow-wyznaniowych-oraz-samorzadu-gospodarczego-i-zawodowego-w-2020-r-wyniki-wstepne,3,9.html>

<https://www.rynek-lotniczy.pl/wiadomosci/topr-podsumowal-dzialalnosc-ratownicza-w-2022-r-16786.html>

<https://www.topr.pl/index.php/statystyka>

**Dariusz BOGUSZ**

 Lotnicza Akademia Wojskowa  
 e-mail: d.bogusz@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0001-7755-0949

DOI: 10.55676/asi.v3i1.25

## TRENAŻERY I SYMULATORY LOTNICZE – PROBLEMY DEFINICYJNE

FLIGHT TRAINERS AND SIMULATORS – DEFINITIONAL PROBLEMS

### Streszczenie

W artykule przedstawiono problem definiowania terminów »trenażer« i »symulator lotniczy«. Nowoczesne środki dydaktyczne, jakimi są trenażery i symulatory lotnicze, umożliwiają dobre przyswajanie wiedzy, a także bezpieczeństwo szkolenia lotniczego oraz przygotowanie pilotów wojskowych do wykonywania zadań bojowych. Pomimo wielu opracowań nie istnieje naukowa definicja symulatora i trenażera lotniczego, co jest podstawą rozumienia pojęć w trakcie realizacji badań w dyscyplinie nauk o bezpieczeństwie w obszarze lotnictwa. Powstanie sytuacji problemowej wynikało z zamiennego używania terminów symulator i trenażer lotniczy. Oprócz podziałów i klasyfikacji wynikających ze specyfikacji certyfikowania tych urządzeń przez odpowiednie władze lotnicze (także zaprezentowane w artykule), nie istnieje naukowa definicja trenażera i symulatora lotniczego, a nazwy te używane są zamiennie. Celem artykułu było stworzenie naukowej definicji symulatora i trenażera lotniczego. Zastosowano metody teoretyczne i empiryczne.

**Słowa kluczowe:** symulator, trenażer, szkolenie lotnicze, lotnictwo, nowoczesne środki dydaktyczne

### Abstract

The article presents the definition problem related to flight trainers and simulators. Modern teaching aids, such as aircraft trainers and simulators, enable good acquisition of knowledge, as well as the safety of aviation training and the preparation of military pilots to perform combat tasks. Despite many studies, there is no scientific definition of a flight simulator and trainer, which is the basis for understanding the terms during research in the discipline of safety sciences in the field of aviation. The problem situation resulted from the interchangeable use of the terms simulator and flight trainer. Apart from the divisions and classifications resulting from the specifications for certification of these devices by the relevant aviation authorities (also presented in the article), there is no scientific definition of a flight trainer and a flight simulator, and these terms are used interchangeably. The aim of the article is to create a scientific definition of a flight simulator and trainer. Theoretical and empirical methods were used.

**Keywords:** flight simulator, flight trainer, flight training, aviation, modern teaching aids

## 1. WSTĘP

Wyszkolenie pilota wojskowego, jego wysoki poziom wiedzy ogólnej, specjalistycznej i taktycznej wpływają w istotny sposób na powodzenie operacji, a nawet, jak pokazuje historia, zwycięstwo w konflikcie zbrojnym. Oczywiście ważnym elementem jest również statek powietrzny, tzn. jego możliwości – udźwig, uzbrojenie, zasięg taktyczny, wyposażenie w elektroniczne środki wykrywania i naprowadzania, możliwości manewrowe. Dopiero połączenie tych dwóch elementów daje możliwość pełnego i efektywnego działania na polu walki. Wyszkolenie pilota jest procesem długotrwałym i kosztownym, łatwiej jest jednak mimo wszystko wyprodukować nowoczesny samolot bojowy niż wyszkolić w pełni pilota samolotu bojowego. Pomiędzy pilotem a jego maszyną występuje łącznik, jakimi są trenażery i symulatory, urządzenia pomagające w bezpieczny sposób połączyć umiejętności człowieka z możliwościami taktyczno-technicznymi statku powietrznego i przygotowanie go do wykonania najtrudniejszych misji.

W lotnictwie cywilnym bezpieczeństwo szkolenia i szkolenie z wykorzystaniem urządzeń treningowych i symulatorów zajmuje ważne miejsce w dokumentach planistycznych, raportach i zaleceniach globalnych i lokalnych organizacji (ICAO, EASA) zajmujących się bezpieczeństwem lotniczym. Szkolenie lotnicze jest postrzegane zarówno jako obszar ryzyka, jak i szansa. Duża liczba wypadków w trakcie lotu ma miejsce podczas realizacji szkolenia w powietrzu, nie tylko w wojsku. W scenariuszach szkoleniowych wysokiego ryzyka powinno promować się wykorzystanie szkoleniowych urządzeń symulatorów lotu (*Flight Simulation Training Devices – FSTD*) i rozwój nowych urządzeń szkoleniowych, takich jak symulatory wykorzystujące rzeczywistość wirtualną i rzeczywistość mieszaną (VR i MR)<sup>1</sup>. Zmiany w tym zakresie zostaną wprowadzone i wdrożone w kontekście działalności grupy roboczej RMT.196<sup>2</sup> powołanej do opracowania aktualizacji wymagań dotyczących urządzeń szkoleniowych symulacji lotu (*Update of flight simulation training devices requirements*). Zadanie stworzenia przepisów, odzwierciedlających ich rzeczywiste możliwości oraz konieczność harmonizacji wymagań EASA z Federalną Administracją Lotniczą (*Federal Aviation Administration – FAA*)<sup>3</sup>, a w zasadzie uaktualnienie wymagań stawianych szkoleniowym urządzeniem symulacji lotu – symulatorom i trenażerom – jest spowodowane m.in. postępowaniem technologicznym.

Wiele publikacji porusza temat wykorzystania symulatorów i trenażerów, opisuje ich rolę w szkoleniu lotniczym<sup>4</sup>. Inne publikacje traktują o możliwościach unifikacji szkolenia w różnych rodzajach wojsk<sup>5</sup>. Jednak dotychczas nie zdefiniowano w sposób

<sup>1</sup> Por. „European Plan for Aviation Safety (EPAS) 2020–2024”, s. 41.

<sup>2</sup> RMT – rulemaking task.

<sup>3</sup> <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/terms-of-reference-and-rulemaking-group-compositions/tor-rmt0196> [dostęp: 29.10.2023].

<sup>4</sup> D. Woźniak, L. Kukiełka, J. Woźniak, *Symulatory i trenażery w nauczaniu i szkoleniu wojskowym – wybrane aspekty*, „Autobusy” 2014, nr 6, s. 285–291.

<sup>5</sup> D. Michalski, *Możliwości unifikacji szkolenia młodszej kadry dowódczej szczebla taktycznego Wojsk Obrony Przeciwlotniczej*, „Obronność. Zeszyty Naukowe” 2018, nr 4(28).



naukowy pojęć związanych z symulatorami czy trenażerami. Posługiwanie się terminami »trenażer« i »symulator« w sposób zamienny jest błędem, gdyż pojęcia te nie są tożsame. Celem artykułu było wyodrębnienie cech charakterystycznych tylko dla jednego urządzenia, które odróżnia je od innych urządzeń szkolenia lotniczego, w szczególności wskazanie różnic pomiędzy symulatorem a trenażerem.

Problemy definicyjne pojęć »symulator« i »trenażer« pogłębia duży skok technologiczny. Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA) podkreśliła w „Europejskim planie bezpieczeństwa lotniczego (EPAS) na lata 2020–2024” znaczenie dostosowania narzędzi szkoleniowych do nowych technologii. RMT.0196 ma na celu uwzględnienie zmian technologicznych w FSTD od czasu transpozycji ostatnich specyfikacji certyfikacyjnych (CS) z wymagań Wspólnych Władz Lotniczych (*Joint Aviation Authorities* – JAA) w 2012 r. i odnosi się do konkretnych działań w zakresie bezpieczeństwa związanych z personelem lotniczym. Chociaż wierność nowoczesnych FSTD znacznie się poprawiła, CS-FSTD2 nie uwzględnił tego postępu. W związku z tym niektóre specyfikacje stały się nieaktualne, ponieważ nie nadążają za zmianami technologicznymi, które nastąpiły od 2012 r. Ma to wpływ na szkolenie pilotów, których potrzeby szkoleniowe w niektórych przypadkach nie mogą być w pełni zaspokojone za pomocą FSTD kwalifikowanych zgodnie z istniejącymi wymaganiami CS-FSTD, a w innych przypadkach wymagany poziom FSTD nie odpowiada już w pełni potrzebom szkoleniowym. RMT.0196 rozwiąże ten problem, modyfikując CS-FSTD, biorąc pod uwagę ewolucję technologii i rozwój potrzeb szkoleniowych pilota.

Problem badawczy artykułu został wyrażony pytaniem: Czym różnią się terminy »symulator« i »trenażer« lotniczy? Wstępne badania wykazały, że są to urządzenia szkolenia lotniczego o różnym zaawansowaniu technologicznym i zapewniającym wykonanie zadań o różnym stopniu trudności i zaawansowania.

W artykule zastosowano teoretyczne metody badawcze, przede wszystkim: analizę treści dokumentów i wytycznych cywilnych władz lotniczych, syntezę umożliwiającą wykrycie związków i sformułowanie wniosków z prowadzonych badań. Wykorzystano także metodę praktyczną z zastosowaniem wywiadów eksperckich ze specjalistami z branży lotniczej, posiadającymi duże doświadczenie i dorobek zawodowy, uzyskując interesujące propozycje analityczne.

## 2. POCZĄTKI ZASTOSOWANIA TRENAŻERÓW I SYMULATORÓW

Artykuł podnosi problem definiowania pojęć »trenażer« i »symulator« lotniczy, które zostały szeroko zinterpretowane w jego treści. Przy realizacji badań dotyczących symulatorów i trenażerów lotniczych w szkoleniu pilotów wojskowych w Polsce<sup>6</sup> pojawił się problem ze stworzeniem aparatu pojęciowego. W przywołanej monografii dokonano podziału na symulatory i trenażery wg wytycznych certyfikacyjnych Urzędu

<sup>6</sup> D. Bogusz, *Symulatory i trenażery lotnicze w szkoleniu pilotów wojskowych w Polsce*, LAW, Dęblin 2022.

Lotnictwa Cywilnego<sup>7</sup> stosowanych w szkoleniu pilotów lotnictwa cywilnego, dostosowując go do klasyfikacji stosowanych w lotnictwie państwowym, w tym wojskowym. W polskiej literaturze przedmiotu nie istnieje naukowa definicja różniująca trenera od symulatora lotniczego. Istnieje wiele klasyfikacji, trudno jest jednak napotkać definicje trenera i symulatora lotniczego. Ogólnie przyjmuje się, że trener występował na początku tworzenia środków dydaktycznych<sup>8</sup> mających usprawnić proces szkolenia lotniczego, który stwarzał niebezpieczeństwo utraty zdrowia i życia początkujących adeptów lotnictwa. Wraz z postępem technologicznym powstawały urządzenia coraz wierniej odtwarzające warunki lotu, wielość i różnorodność zadań lotniczych, jak i sam statek powietrzny, i to one zostały nazwane symulatorami.

Początkowo szkolenie pilotów przeprowadzono metodą prób i błędów na prawdziwych samolotach lub replikach. Umiejętności pilotażu w zasadzie zdobywał samouk, a instruktorzy odgrywali minimalną rolę. Szkolenie praktyczne w powietrzu odbywało się na zasadzie: co zrobić, aby się nie zabić. Wszystko zmieniły pierwsze symulatory i łączność radiowa instruktora, przebywającego na ziemi, z pilotem-ucznem, przebywającym w powietrzu.

Symulatory i trenerzy znacznie usprawniły proces praktycznego szkolenia naziemnego już na początku powstania lotnictwa. Potrzeby zapewnienia bezpiecznego szkolenia lotniczego spowodowały rozwój urządzeń szkoleniowych mających przygotować pilota do wykonywania lotów z zasadami stopniowania trudności oraz łączenia teorii z praktyką. Rozwój symulatorów lotu był napędzany głównie postępem technologicznym i zwiększającymi się wymaganiami wobec pilotów. Przez wiele lat największą siłą napędową technologii symulacyjnych było szkolenie pilotów wojskowych. Współcześnie symulatory są zasadniczym (integralnym) elementem systemu szkolenia i nie stanowią tylko taniej alternatywy dla szkolenia w powietrzu; są doceniane w szkoleniu przez komercyjne linie lotnicze, jak i siły powietrzne poszczególnych krajów.

Początki urządzeń do szkolenia lotniczego mających zastąpić prawdziwe maszyny sięgają czasów braci Wright. Wraz z rozwojem statków powietrznych opracowano także środki szkolenia pilotów-uczniów w zakresie szkolenia lotniczego pilotów. Uczniów szkolono w atrapach samolotów zawieszonych na tzw. szubienicach. Instruktor lub inny uczeń wprawiał w ruch zawieszoną konstrukcję, aby zademonstrować, w jaki sposób statek powietrzny porusza się w stosunku do elementów sterujących, zmuszając do odpowiedniej reakcji ucznia w celu właściwego położenia samolotu. Innym rodzajem symulacji było umieszczanie samolotów na słupach umieszczonych na szczytach wzgórz lub na wietrznym terenie płaskim. Wiatr oddziaływał na powierzchnie

<sup>7</sup> Wytyczne Nr 1 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 14 lutego 2013 r. w sprawie specyfikacji certyfikacyjnych dla samolotowych szkoleniowych urządzeń symulacji lotu oraz specyfikacji certyfikacyjnych dla śmigłowcowych szkoleniowych urządzeń symulacji lotu (Dz.U. ULC z 2013 r., poz. 29).

<sup>8</sup> Środki dydaktyczne (środki kształcenia) – to wszelkiego rodzaju przedmioty oddziałujące na zmysły uczniów, których zadaniem jest ułatwienie poznawania rzeczywistości. Środki dydaktyczne jako przedmioty, które dostarczając uczniom określonych bodźców zmysłowych oddziałujących na ich wzrok, słuch, dotyk itp., ułatwiają im bezpośrednie i pośrednie poznawanie rzeczywistości. Cz. Kupisiewicz, *Podstawy dydaktyki ogólnej*, Warszawa 1988, s. 213.

sterowe, a urządzenie reagowało podobnie jak samolot w locie<sup>9</sup>. Polacy także stosowali takie rozwiązania, a ich metody symulacji i zastosowane urządzenia stanowiły *novum* w szkoleniu lotniczym i były naśladowane przez inne nacje (fot. 1). Już wtedy używano różnych nazw określających lotnicze urządzenia szkoleniowe (np. chwiejnica, szubienica, imitator lotu itd.), nie precyzując ich terminologii i nie prowadząc klasyfikacji tych urządzeń.



Narodowe Archiwum Cyfrowe, sygn. 1-W-899

Fot. 1. Chwiejnica – jedno z pierwszych urządzeń szkolenia lotniczego

Źródło: Narodowe Archiwum Cyfrowe.

Za prekursora w dziedzinie konstruowania symulatorów lotniczych uważa się Edwina Alberta Linka, który w 1929 r. zbudował udany i powszechnie stosowany symulator o nazwie „Link Trainer”, znany także jako Blue Box<sup>10</sup>.

### 3. DEFINICJE SŁOWNIKOWE I ENCYKLOPEDYCZNE

Symulator w współczesnym słowniku języka polskiego (łac. *Simulātor*) to „naśladowca” „stwarzający pozory”<sup>11</sup>. *Słownik języka polskiego* definiuje symulator jako urządzenie „imitujące działanie innego urządzenia lub przebieg określonych procesów oraz dodatkowo jako program komputerowy odtwarzający działanie pewnych urządzeń lub przebieg określonych procesów”<sup>12</sup>. Ten sam słownik definiuje trenera jako „urządzenie służące do trenowania w warunkach sztucznych jakiejś sprawności”<sup>13</sup>. *Encyklopedia PWN* określa symulator jako urządzenie do odtwarzania warunków rzeczywistych, w celu szkolenia i treningu pilotów, astronautów, kierowców samochodów, czołgistów, strzelców, operatorów radarowych i innych<sup>14</sup>.

<sup>9</sup> B. Blickensderfer, D. Liu, A. Hernandez, *Simulation-Based Training: Applying lessons learned in aviation to Surface transportation modes*, Embry Riddle Aeronautical University 2005, s. 10.

<sup>10</sup> D. Bogusz, *Symulatory i trenażery...*, dz. cyt., s. 25.

<sup>11</sup> <https://wsjp.pl/haslo/podglad/57062/symulator/5159935/urządzenie> [dostęp: 29.10.2023].

<sup>12</sup> <https://sjp.pwn.pl/slowniki/symulator.html> [dostęp: 29.10.2023].

<sup>13</sup> Tamże.

<sup>14</sup> <https://encyklopedia.pwn.pl/encyklopedia/trening;1.html> [dostęp: 29.10.2023].

W szkoleniu lotniczym symulator jest wykorzystywany do treningu właściwych reakcji oraz nabycia umiejętności przez ucznia bez narażania jego zdrowia i życia w powietrzu. Symulatorami samolotów mogą być zarówno komputery stacjonarne, jak i pełno wymiarowe repliki określonych marek, modeli i serii kokpitów samolotów; te ostatnie zawierają całe oprogramowanie i sprzęt do zarządzania lotem<sup>15</sup>, a także widok otoczenia poza kokpitem<sup>16</sup>.

W *Małej encyklopedii wojskowej* z 1971 r., wydawnictwie bardzo pożytecznym ze względu na możliwość analizy ewolucji nauk o bezpieczeństwie<sup>17</sup> i zmian w paradygmacie oraz podstaw aksjologii, epistemologii, ontologii i metodyki tych nauk, gdzie znajduje się wiele definicji, termin symulacja to „pozorowanie chorób lub ułomności”. Choć nie występuje tam symulacja jako pojęcie określające sposób szkolenia, umieszczono pojęcie symulatora jako:

cyfrowej lub analogowej maszyny matematycznej, która modeluje (symuluje) żądane procesy lub zjawiska, gdy istnieją trudności w przebadaniu obiektu rzeczywistego. Najczęściej stosowany jest symulator modelujący wpływ środowiska na zachowanie się badanego systemu (np. urządzenie treningowe dla pilotów lub kosmonautów) oraz symulator modelujący zachowanie się badanego systemu pod wpływem oddziaływania środowiska (np. zwierzęta syntetyczne symulujące zachowanie się organizmów żywych)<sup>18</sup>.

Według tej samej publikacji trenażer to:

urządzenie do szkolenia załóg wozów bojowych, operatorów maszyn i urządzeń, do ćwiczeń treningowych celowniczych z broni pokładowej wojskowych pojazdów i samolotów. Położenie mechanizmów i urządzeń w trenażerze odpowiada położeniu w sprzęcie właściwym. Trenażer spełnia wymagania i stwarza warunki w maksymalnym stopniu zbliżone do istniejących w sprzęcie bojowym, np. trenażer do szkolenia bojowego obsługi wozów bojowych uwzględnia możliwość zamontowania broni i celownika do prowadzenia ognia amunicją sportową, bądź bojową na strzelnicach szkolnych lub placach ćwiczeń ogniowych w garnizonach; trenażer pojazdów mechanicznych imituje ruch w czasie jazdy. Trenażer obniża znacznie koszt szkolenia załóg, umożliwia prowadzenie stałych treningów, w warunkach garnizonowych, ugruntowuje nawyki w posługiwaniu się mechanizmami, zwiększa też żywotność sprzętu bojowego<sup>19</sup>.

Autorzy encyklopedii jako jedni z pierwszych podkreślają jego ekonomiczność w wojskowym szkoleniu specjalistycznym.

*Leksykon wiedzy wojskowej* z roku 1979 definiuje symulator jako:

urządzenie treningowe imitujące działanie określonego sprzętu bojowego, służy do odtwarzania sytuacji rzeczywistych w sztucznych warunkach, upodabnia sytuację szkoleniową do bojowej. Do symulatora należy np. laserowy symulator czołgowy, który w momencie strzału z armaty czołgu amunicją ślepą imituje jego celność przez zabarwienie miejsca rzekomego trafienia na tarczy, figurze bojowej lub sprzęcie stanowiącym cel armaty<sup>20</sup>.

<sup>15</sup> Zob. M. Kowalski, M. Izdebski, J. Żak, P. Gołda, J. Manerowski, *Planning and management of aircraft maintenance using a genetic algorithm*, „Eksploracja i Niezawodność” 2021, nr 23(1), s. 143–153.

<sup>16</sup> B. Blickensderfer, D. Liu, A. Hernandez, *Simulation-Based Training...*, dz. cyt., s. 10.

<sup>17</sup> Od nauk wojskowych poprzez ich podział na nauki o obronności i nauki o bezpieczeństwie po wyłonieniu się nauk o bezpieczeństwie, których częścią stała się obronność.

<sup>18</sup> *Mała encyklopedia wojskowa*, T. III, MON, Warszawa 1971, s. 241.

<sup>19</sup> Tamże, s. 342.

<sup>20</sup> *Leksykon wiedzy wojskowej*, MON, Warszawa 1979, s. 459.

W *Słowniku wyrazów obcych PWN* pojęcie symulacji definiowane jest jako:

sztuczne odtwarzanie właściwości danego obiektu, zjawiska za pomocą jego modelu, realizowanego w warunkach laboratoryjnych, symulacja komputerowa badanie zachowania się obiektów rzeczywistych na podstawie obserwacji działania programów komputerowych symulujących to zachowanie (fr. *Simulation*, łac. *Simulatio*)<sup>21</sup>.

Symulator natomiast to „urządzenie imitujące działanie innego urządzenia lub przebieg określonych procesów, stosowane zwłaszcza w celach badawczych i szkoleniowych”<sup>22</sup>.

*Słownik współczesnego języka polskiego* określa symulator jako:

urządzenie modelowe imitujące działanie urządzenia rzeczywistego, wykorzystywane w celach szkoleniowych: symulator lotu, a symulowanie definiowane jest jako odtwarzanie, naśladowanie np.: symulować warunki lotu<sup>23</sup>.

Władysław Kopaliński w *Słowniku wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych* definiuje symulator jako:

urządzenie pozwalające na odtwarzanie przebiegów rzeczywistych w warunkach sztucznych, zazwyczaj w celach szkoleniowych, natomiast symulacja to modelowanie zjawisk fizycznych w maszynach matematycznych przy częściowym użyciu członków rzeczywistych<sup>24</sup>.

W *Słowniku wyrazów obcych* z 2011 r. autorstwa Magdaleny Tytuły oraz Jacka Okarmusa termin trenażer nie występuje, natomiast symulowanie to:

tworzenie rzeczywistości wirtualnej jak najwierniej imitującej procesy albo zjawiska zachodzące w naturze. Symulacja może służyć celom badawczym albo szkoleniowym (np. nauka jazdy samochodem). Symulator zdefiniowano jako urządzenie służące symulacji naukowej albo szkoleniowej (np. symulator lotu – zespół urządzeń pokładowych samolotu sprzężonych z komputerem, dzięki którym pilot uczy się właściwych reakcji w różnych sytuacjach), też: program komputerowy służący symulacji<sup>25</sup>.

W pracy pt. *Integracja tradycyjnych i nowoczesnych metod nauczania na przykładzie demonstratora technologii – trenażera morskiego zestawu raketowo-artyleryjskiego ZU-23-2MR* autorzy (J.W. Kobierski, S. Milewski, M. Chmieliński, K. Bielawski, T. Buda, D. Szagała) doprecyzowują pojęcie symulatora i trenażera. Według nich trenażer to urządzenie przeznaczone do uczenia kandydata na operatora (pewnych) praktycznych umiejętności wyrobienia sprawności w wykonywaniu układów (rodzaj, liczba i kolejność) działań, obsługiwanie pewnych maszyn, będących zwykle odpowiednio przerobioną, przygotowaną do potrzeb edukacyjnych, wersją tych maszyn.

<sup>21</sup> *Słownik wyrazów obcych PWN*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002, s. 1061.

<sup>22</sup> Tamże, s. 1061.

<sup>23</sup> *Słownik współczesnego języka polskiego*, Wydawnictwo SMS, Kraków 1998, s. 403.

<sup>24</sup> W. Kopaliński, *Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1994, s. 490.

<sup>25</sup> J. Okarmus, M. Tytuła, *Słownik wyrazów obcych*, Wydawnictwo Szkolne PWN, Warszawa–Bielsko-Biała 2011, s. 237.

Autorzy rozszerzają definicję trenażera do:

urządzenia treningowego do szkolenia indywidualnego i zespołowego żołnierzy w posługiwaniu się sprzętem bojowym (maszynami, urządzeniami i przyrządami). Trenażer zastępuje sprzęt bojowy i obniża znacznie koszt szkolenia. Jego mechanizmy i urządzenia są modelami podobnymi do oryginału; pozwalają na szkolenie w warunkach zbliżonych do realnych. Umożliwia on nabywanie przez żołnierzy praktycznych umiejętności lub ćwiczenia tych umiejętności<sup>26</sup>.

Próby doprecyzowania pojęć symulator i trenażer podjął zespół autorski T. Kulik, M.M. Konopacki oraz D. Rodzik, gdyż i oni zauważali pewną elastyczność w ich interpretacji, co powoduje, że w wielu opracowaniach często są one stosowane zamiennie. W oparciu o już cytowany *Leksykon wiedzy wojskowej* z 1979 r. symulator to urządzenie szkoleniowe imitujące działanie konkretnego sprzętu bojowego; służy odtworzeniu sytuacji rzeczywistych w sztucznych warunkach, upodabniając sytuację szkoleniową do bojowej. Mówiąc bardziej ogólnie, termin ten zdefiniowano jako „urządzenie, które umożliwia operatorowi odtworzenie lub przedstawienie w warunkach testowych zjawisk, które mogą wystąpić podczas rzeczywistego działania”<sup>27</sup>.

Trenażer natomiast to urządzenie szkoleniowe służące do indywidualnego i zespołowego szkolenia żołnierzy różnych rodzajów sił zbrojnych, oddziałów i służb w zakresie obsługi sprzętu, maszyn, urządzeń i przyrządów bojowych. Trenażer zastępuje sprzęt bojowy w niektórych działaniach szkoleniowych. Mechanizmy i urządzenia treningowe odpowiadające oryginalnym modelom umożliwiają szkolenie w rzeczywistych warunkach (np. trening celowania, obsługa pojazdu).

Z przytoczonych terminów można wnioskować, że zarówno symulatory, jak i trenażery są urządzeniami szkoleniowymi przeznaczonymi m.in. do szkolenia żołnierzy. Dzięki zmianom technologicznym coraz częściej zastępują one na szkoleniach prawdziwy sprzęt, przynosząc wymierne korzyści finansowe<sup>28</sup>.

Rozwój technologii IT oraz wymiana doświadczeń w ramach współpracy międzynarodowej i misji połączonych pozwalają wzbogacić metody nauczania wykorzystywane w szkoleniu wojsk, zwłaszcza metodę praktycznego działania, poprzez wykorzystanie symulatorów i trenażerów w szkoleniu szerokiej gamy specjalności wojskowych.

#### 4. PRZEGLĄD DEFINICJI SPOTYKANYCH W WYTYCZNYCH CERTYFIKACYJNYCH

Analizując literaturę, można zauważyć, że nazwa trenażer i symulator używana jest zamiennie. Stosując podziały zawarte w dokumentach certyfikujących poziomy symulatorów wg władz cywilnych, europejskich, wyłania się klasyfikacja przedstawiona na rysunku 1.

<sup>26</sup> J.W. Kobiński, S. Milewski, M. Chmieliński, K. Bielawski, T. Buda, D. Szagała, *Integracja tradycyjnych i nowoczesnych metod nauczania na przykładzie demonstratora technologii – trenażera morskiego zestawu raketowo-artyleryjskiego ZU-23-2MR*, „Logistyka” 2011, nr 5, s. 724–725.

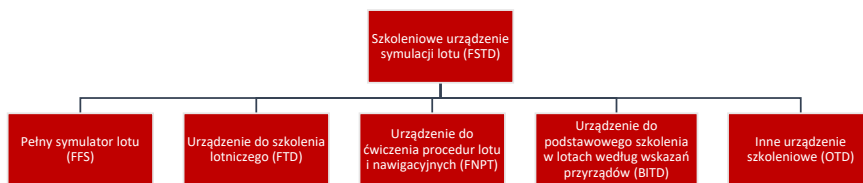
<sup>27</sup> T. Kulik, M.M. Konopacki, D. Rodzik, *A Preliminary Assessment of the Effectiveness of Training Using a Virtual Reality Simulator of the Anti-aircraft Missile Launcher*, „Safety & Defense” 2023, nr 9(1), DOI: <https://doi.org/10.37105/sd.208>, s. 59.

<sup>28</sup> Tamże.

FSTD (*Flight Simulation Training Device*) oznacza szkoleniowe urządzenie symulacji lotu, które:

- w przypadku samolotów jest pełnym symulatorem lotu (*Full Flight Simulator – FFS*), urządzeniem do szkolenia lotniczego (*Flight Training Device – FTD*), urządzeniem do ćwiczenia procedur lotu i nawigacyjnych (*Flight and Navigation Procedures Trainer – FNPT*) lub urządzeniem do podstawowego szkolenia w lotach według wskazań przyrządów (*Basic Instrument Training Device – BITD*);
- w przypadku śmigłowców jest pełnym symulatorem lotu (FFS), urządzeniem do szkolenia lotniczego (FTD) lub urządzeniem do ćwiczenia procedur lotu i nawigacyjnych (FNPT).

Analizując dokumenty i podręczniki wydawane przez ULC dotyczące urządzeń symulacyjnych i szkolenia lotniczego, zgodnie z wymaganiem ORO.FC.145(d), (e) – urządzenie FSTD musi w najlepszy możliwy sposób odzwierciedlać statek powietrzny wykorzystywany przez operatora. Różnice między FSTD a danym statkiem powietrznym są opisywane i omawiane podczas odprawy lub szkolenia, stosownie do przypadku<sup>29</sup>.



Rys. 1. Klasyfikacja urządzeń symulacji lotu stosowana w lotnictwie cywilnym

Źródło: opracowanie własne.

Pełny symulator lotu (FFS) to rzeczywistej wielkości replika kabiny załogi konkretnego typu lub marki, modelu i serii, ze wszystkimi urządzeniami i programami komputerowymi koniecznymi do odwzorowania statku powietrznego w operacjach naziemnych i powietrznych, systemem wizualizacji zapewniającym widok z kabiny załogi oraz z układem ruchu pozwalającym odczuwać siły. Jest zgodny z minimalnymi standardami dla kwalifikacji FFS.

Urządzenie do szkolenia lotniczego (FTD) to rzeczywistej wielkości replika przyrządów, urządzeń, paneli i urządzeń sterowania konkretnego typu statku powietrznego w układzie otwartej lub zamkniętej kabiny, z zainstalowanymi urządzeniami i programami komputerowymi koniecznymi do odwzorowania statku powietrznego w warunkach naziemnych i powietrznych w zakresie ograniczonym przez systemy zainstalowane w urządzeniu. Nie wymaga układu ruchu pozwalającego odczuwać siły ani systemu wizualizacji. Jest zgodne z minimalnymi standardami dla określonego poziomu kwalifikacji FTD.

<sup>29</sup> Rozdział 5.5 – Zatwierdzenie Użytkowania Szkoleniowego Urządzenia Symulacji Lotu FSTD, „Podręcznik Certyfikacji i Nadzoru Operacyjnego PNO-965”, ULC, s. 1.

Urządzenie do ćwiczenia procedur lotu i nawigacyjnych (FNPT) oznacza urządzenie szkoleniowe odwzorujące środowisko kabiny załogi lub kokpitu, z zainstalowanymi urządzeniami i programami komputerowymi koniecznymi do odwzorowania typu lub klasy statku powietrznego w operacjach powietrznych, w takim zakresie, by wydawało się, że systemy funkcjonują jak w statku powietrznym. Jest zgodne z minimalnymi standardami dla określonego poziomu kwalifikacji FNPT.

Urządzenie do podstawowego szkolenia w lotach według wskazań przyrządów (BITD) (nie dotyczy śmigłowców) oznacza naziemne urządzenie szkoleniowe będące stanowiskiem ucznia-pilota imitującym klasę samolotów. Może ono wykorzystywać ekranowe panele przyrządowe oraz sprężynowe urządzenia sterowania lotem, stanowiące podstawę szkoleniową obejmującą przynajmniej proceduralne aspekty lotu według wskazań przyrządów.



Fot. 2. Widok ogólny urządzenia do podstawowego szkolenia w lotach według wskazań BITD Elite S-612 Cessna 172 RG

Źródło: fot. Dariusz Bogusz.

Inne urządzenie szkoleniowe (*Other Training Device* – OTD) oznacza pomoc treningową inną niż szkoleniowe urządzenie symulacji lotu (FSTD), służącą szkoleniu pilotów, w sytuacji gdy nie jest konieczne pełne środowisko kabiny pilota<sup>30</sup>.

Taki podział wynikający ze specyfikacji certyfikacyjnych powinien zostać zaktualizowany, co dostrzegła Agencja Unii Europejskiej Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA), podkreślając to w „Europejskim planie bezpieczeństwa lotniczego (EPAS) na lata 2020–2024”. Zaakcentowano w nim znaczenie dostosowania narzędzi szkoleniowych do nowych technologii. RMT.0196 ma na celu uwzględnienie zmian technologicznych w FSTD od czasu transpozycji ostatnich specyfikacji certyfikacyjnych (CS) z wymagań Wspólnych Władz Lotniczych (JAA) w 2012 r. i odnosi się do konkretnych działań

<sup>30</sup> Załączniki do wytycznych nr 1 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 14 lutego 2013 r., Specyfikacje certyfikacyjne dla samolotowych szkoleniowych urządzeń symulacji lotu, wydanie 1, 4 lipca 2012 r. „CS-FSTD(A)”, Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego, s. 5.



w zakresie bezpieczeństwa związanych z personelem lotniczym. Chociaż wierność nowoczesnych FSTD znacznie się poprawiła, CS-FSTD2 nie uwzględnił tego postępu. W związku z tym niektóre specyfikacje stały się nieaktualne, ponieważ nie nadążają za zmianami technologicznymi, które nastąpiły od 2012 r. Ma to wpływ na szkolenie pilotów, których potrzeby szkoleniowe w niektórych przypadkach nie mogą być w pełni zaspokojone za pomocą FSTD kwalifikowanych zgodnie z istniejącymi wymaganiami CSFSTD, a w innych przypadkach wymagany poziom FSTD nie odpowiada już w pełni tym potrzebom. RMT.0196 rozwiąże ten problem, modyfikując CS-FSTD, w kontekście ewolucji technologii i rozwoju potrzeb szkoleniowych pilota<sup>31</sup>.

Federalna Administracja Lotnictwa (FAA) jest głównym organem certyfikującym te urządzenia do celów szkoleniowych w Stanach Zjednoczonych. Według jej dokumentów szkoleniowe urządzenia symulacji lotu (FSTD) dzielą się na dwie kategorie: pełny symulator lotu (FFS) lub urządzenie do szkolenia lotniczego (FTD).

Pełny symulator lotu to replika statku powietrznego określonego typu, marki, modelu lub serii. Obejmuje sprzęt i programy komputerowe niezbędne do przedstawienia operacji statku powietrznego w warunkach naziemnych i w locie, system wizualny zapewniający widok z kabiny pokładowej, system zapewniający odczucia co najmniej równoważne sygnałom trzystopniowego systemu swobodnego ruchu i posiada pełen zakres możliwości systemów zainstalowanych w urządzeniu zgodnie ze standardem wykonania kwalifikacji (*Qualification Performance Standard – QPS*) dla określonego poziomu kwalifikacji (opisanych w części 60 załącznika „Flight Simulation Training Device Initial And Continuing Qualification And Use”).

Urządzenie do szkolenia lotniczego (*Flight Training Device – FTD*) jest repliką przyrządów, wyposażenia, paneli i elementów sterujących statku powietrznego w otwartej przestrzeni kabiny załogi lub zamkniętą repliką kabiny załogi statku powietrznego. Obejmuje sprzęt i programy komputerowe niezbędne do odzwierciedlenia operacji statku powietrznego (lub zestawu statków powietrznych) w warunkach naziemnych i w locie, posiadające pełen zakres możliwości systemów zainstalowanych w urządzeniu zgodnie ze standardem wykonania kwalifikacji (QPS) dla określonego poziomu kwalifikacji FTD<sup>32</sup>. Symulator w proponowanych zmianach EASA:

oznacza syntetyczne urządzenie treningowe, które prezentuje ważne cechy rzeczywistego środowiska operacyjnego i odtwarza warunki operacyjne, w których osoba odbywająca szkolenie może bezpośrednio ćwiczyć zadania w czasie rzeczywistym<sup>33</sup>.

Taką samą definicję możemy odnaleźć w dokumentach certyfikujących szkolenie lotnicze personelu służb ruchu lotniczego z zaznaczeniem, iż syntetyczne urządzenie treningowe oznacza każdy rodzaj urządzenia, które umożliwia symulowanie warunków

<sup>31</sup> Terms of Reference for rulemaking task RMT.0196, Update of flight simulation training device requirements, Issue 4, European Union Aviation Safety Agency.

<sup>32</sup> Part 60 Flight Simulation Training Device Initial And Continuing Qualification And Use, Appendix F to Part 60 Definitions and Abbreviations for Flight Simulation Training Devices. Za: <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-D/part-60> [dostęp: 12.11.2023].

<sup>33</sup> European Union Aviation Safety Agency, Notice of Proposed Amendment 2021-08(A), s. 23.

operacyjnych, w tym symulatory i trenażery zadań częściowych<sup>34</sup>, wprowadzając naukowców analizujących te zapisy w problemy ontologiczne, czy coś może być symulatorem i trenażerem jednocześnie, czy może należy tylko do pewnego zbioru, w tym przypadku syntetycznych urządzeń treningowych.

Jak podkreśla wielu ekspertów lotniczych, a potwierdza Mirosław Chmieliński z AMW, wykorzystanie zaawansowanych technologicznie symulatorów i trenażerów w kształceniu i szkoleniu to konieczność. Symulatory i trenażery są elementem systemu szkolenia, pozwalającym je uatrakcyjnić na wszystkich poziomach, a jednocześnie ograniczyć koszty<sup>35</sup>.

W szkoleniu pilotów wojskowych szkolenie z użyciem amunicji bojowej i sprzętu bojowego jest poprzedzane intensywnymi ćwiczeniami na trenażerach i symulatorach, a wszelkie urządzenia szkolno-treningowe są traktowane jako podstawowe środki doskonalenia umiejętności oraz kontroli wyszkolenia indywidualnego i zespołowego.

Wykorzystanie nowoczesnych technologii w szkoleniu pilotów wojskowych może zapewnić:

- ograniczenie do minimum użycia techniki i środków bojowych, które są stosowane dopiero w ostatniej fazie szkolenia;
- zwiększenie efektywności szkolenia przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów eksploatacyjnych sprzętu bojowego i środków bojowych;
- opanowanie przez żołnierzy metodami bezogniowymi umiejętności posługiwania się sprzętem i uzbrojeniem będącym w wyposażeniu oraz wprowadzanym do pododdziałów;
- szkolenie w warunkach zbliżonych do rzeczywistych (realizm szkolenia);
- możliwość uczenia się na własnych błędach;
- większe bezpieczeństwo ćwiczących zarówno w trakcie wykorzystywania urządzeń, jak i szkolenia z użyciem sprzętu bojowego;
- minimalizowanie negatywnego wpływu techniki i środków bojowych na środowisko naturalne;
- uniwersalność pozwalającą na jednoczesne szkolenie, doskonalenie i zgrzywanie podczas wykonywania symulowanych zadań bojowych przez osoby funkcyjne obsługa i załóg lub też pododdziały<sup>36</sup>.

Symulatory i trenażery stanowią istotną grupę urządzeń szkolno-treningowych. Dąży się do tego, aby do każdego nowo wprowadzanego na wyposażenie Sił Zbrojnych RP elementu uzbrojenia i techniki bojowej był dołączony pakiet urządzeń szkolno-treningowych, ułatwiających poznanie tego sprzętu oraz jego właściwe wykorzystanie

<sup>34</sup> Air Traffic Controllers' Licensing And Certification Consolidated version of Air Traffic Controllers' Licenses and Certificates Implementing Rules and related Acceptable Means of Compliance and Guidance Material, including the ATCO Initial Training Content and its related AMC and GM, Issued August 2015, ATCO. Technical requirements and administrative procedures related to Commission Regulation (EU) 2015/340 and AMC and GM to ATCO, ED Decision 2015/010/R, ED Decision 2015/015/R, s. 14.

<sup>35</sup> M. Chmieliński, *Nowoczesne technologie w systemach symulacyjnych i treningowych uzbrojenia morskiego w Akademii Marynarki Wojennej w aspekcie bezpieczeństwa wykonywania zadań bojowych*, „Aparatura Badawcza i Dydaktyczna” 2017, T. 22, nr 4, s. 237.

<sup>36</sup> Tamże, s. 237.

podczas szkolenia i wykonywania zadań bojowych. Wykorzystanie tych urządzeń normują programy szkolenia<sup>37</sup>.

Przyjmuje się, że warunkiem dopuszczenia żołnierzy do dalszego szkolenia z użyciem sprzętu bojowego (w lotnictwie do szkolenia w powietrzu) jest zaliczenie wymaganej programem liczby treningów oraz ćwiczeń na trenażerach i symulatorach. Sposób ich zastosowania zależy od kreatywności organizatora szkolenia w przypadku szkolenia w siłach zbrojnych, a zrealizowania certyfikowanego programu szkolenia w przypadku lotnictwa cywilnego. To kanony szkolenia symulacyjnego w dużej mierze decydują, jakiego typu urządzenie, w jaki sposób i na jakim etapie użyć, aby osiągnąć zakładane cele.

Szkolenie symulatorowe w programach szkolenia lotniczego pilotów wojskowych definiowane (określane) jest jako „szkolenie w locie w kabinie treningowej, w symulatorze lotu albo na innym urządzeniu treningowym, aprobowanym przez uprawnioną do tego władzę lotniczą”<sup>38</sup>. Już takie definiowanie zawiera błąd zwany *idem per idem*, czyli „to samo przez to samo”, zwane także błędnym kołem. Problem poprawnego budowania definicji w programach, instrukcjach obowiązujących w siłach zbrojnych to temat na inny artykuł. Jak wynika z powyższego, szkolenie symulatorowe realizowane jest przy pomocy urządzeń zaawansowanych technicznie, które w przypadku szkolenia do licencji cywilnych<sup>39</sup> muszą podlegać regulacjom państwowych władz lotniczych i posiadać niezbędne certyfikaty, szczególnie w przypadku pilotów cywilnych. Symulatory do szkolenia typowych umiejętności, specyficznych dla pilotów wojskowych nie muszą spełniać wymagań certyfikacyjnych władz lotniczych (np. symulator dezorientacji przestrzennej).

## 5. WNIOSKI

Po przeanalizowaniu wywiadów eksperckich ze specjalistami lotnictwa cywilnego można stwierdzić, że nie ma potrzeby definiowania pojęć »symulator« i »trenażera« w kontekście lotniczym, ponieważ jest to zawarte w zapisach CS-FSTD/A<sup>40</sup>.

Zdaniem ekspertów symulator lotu określony jest w CS-FSTD/A jako FFS, więc tworzenie kolejnych definicji jest zbędne. W oryginalnej (angielskojęzycznej) wersji rozporządzenia 1178/2011 słowo „*trainer* – trenażer” odnosi się do FNPT. Zatem, to samo dotyczy trenażera, który w CS-FSTD/A został zdefiniowany jako FNPT. I w tym przypadku kolejna definicja jest zbędna.

Z badań praktycznych można wnioskować, iż pojęcie ogólne »symulator« odnosi się do wielu dziedzin [symulatory: lotnicze, pociągów, autobusów, tramwajów, ciężarówek, samochodów wyścigowych, skoków narciarskich, więc przedmiotowa definicja

<sup>37</sup> M. Chmieliński, *Nowoczesne trenażery i symulatory morskich strzelań artyleryjskich i raketowych w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni*, „Technika Transportu Szybowego” 2015, nr 12, s. 2233.

<sup>38</sup> „Program szkolenia lotniczego na samolocie CASA C-295”, DGRSZ, Warszawa 2020, s. 19.

<sup>39</sup> Realizacja szkolenia lotniczego w LAW umożliwia uzyskanie licencji uprawnień cywilnych (PPL, CPL oraz VFR, IR).

<sup>40</sup> Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices CS-FSTD(A), EASA, Issue 2, 3 May 2018, s. 6–7.

(jeśli nie istnieje) powinna być na tyle ogólna, by obejmować wszystkie ww. dziedziny (tak naprawdę – ich część wspólną)].

Zdaniem ekspertów branży lotniczej ograniczenie się do pojęć »symulator« i »trenażer« to usztywnienie podejścia do tematu symulacji lotu. Każdy symulator powinien być „szyty na miarę” i powinien być „produktem” procesu analizy szkolenia, zanim jeszcze zostanie fizycznie zbudowany. Najważniejsze w szkoleniu pilotów jest to, w jakim zakresie można przeprowadzić skuteczne (poparte osiągnięciem celów) szkolenie, które zostanie uznane przez władzę lotniczą za odpowiednie do uzyskania określonej licencji, uprawnienia lub oceny kompetencji.

Aktualnie można przyjąć, że jeśli piloci wojskowi są szkoleni według programów szkolenia zatwierdzanych przez ULC, to do FSTD obowiązują wymogi cywilne. Jeśli szkolenie jest typowo wojskowe, to nie ma obowiązku stosowania przepisów cywilnych, bo ULC nie zatwierdza programów szkolenia, ani certyfikatu klasyfikacji symulatora.

Z powyższego wynika, że definicje z CS-FSTD/A nie są adekwatne do symulatorów wykorzystywanych w siłach zbrojnych (definicje są na tyle uniwersalne, że zdaniem ekspertów nie wymagają przerw), w przypadku próby sklasyfikowania symulatorów lotu samolotów wojskowych oraz ich definicji na potrzeby szkolenia pilotów wojskowych, które nie muszą spełniać wymogów cywilnych.

W wyniku przeprowadzonych badań, w celu jednolitego rozumienia i ujmowania pojęć »symulator lotniczy« i »trenażer lotniczy« sformułowano autorskie definicje:

**SYMULATOR LOTNICZY** to nowoczesny środek dydaktyczny umożliwiający trening w środowisku syntetycznym, odtwarzającym cechy rzeczywistego środowiska operacyjnego, wiernie oddający wyposażenie statku powietrznego z układem wizualnym zapewniającym wrażenia lotu podobne do rzeczywistych. Może posiadać układ ruchu pozwalający odczuwać siły symulujące wrażenia ruchu prawdziwego statku powietrznego. Zazwyczaj stanowi rzeczywistej wielkości replikę kabiny załogi konkretnego typu lub marki, modelu i serii, ze wszystkimi urządzeniami i programami komputerowymi koniecznymi do odwzorowania statku powietrznego w operacjach naziemnych i powietrznych, systemem wizualizacji zapewniającym widok z kabiny załogi odpowiednio dobranym do treningu. Pozwala to na szkolenie pełnego spektrum zadań i misji lotniczych.

**TRENAŻER LOTNICZY** to urządzenia treningowe imitujące pewną klasę statków powietrznych, umożliwiające pilotom przećwiczenie i trening wybranych procedur, realizację wybranych ćwiczeń oraz wąskich elementów związanych z kompetencjami pilota. W stosunku do symulatora charakteryzuje się symulacją o niższej wierności (nie naśladują bezpośrednio docelowego środowiska technicznego), są opłacalną alternatywą i umożliwiają faktycznie poprawę wielu aspektów uczenia się, które pomagają pilotom radzić sobie z nieprzewidywanymi sytuacjami na ziemi i w powietrzu.

Powyższe definicje pełnią funkcję metodologiczną, zawierając całą istotną treść pojęć będących punktem wyjścia rozważań naukowych. Dlatego definicje te stanowią podstawę do wyprowadzenia wniosków wiodących do sformułowania twierdzeń danej

nauki<sup>41</sup>. W artykule wyróżniono odrębne cechy symulatorów i trenerów lotniczych. Badania wykazały, że są to urządzenia symulacyjne szkolenia lotniczego o różnym zaawansowaniu technologicznym, zapewniające wykonanie zadań i procedur o różnym stopniu trudności i zaawansowania oraz do osiągnięcia różnych celów szkoleniowych. Opracowane definicje mogą wnieść wkład w uporządkowanie systemu pojęciowego badań w obszarze lotnictwa.

## BIBLIOGRAFIA

### Artykuły i monografie

Blickensderfer B., Liu D., Hernandez A., *Simulation-Based Training: Applying lessons learned in aviation to Surface transportation modes*, Embry Riddle Aeronautical University 2005.

Bogusz D., *Symulatory i trenażery lotnicze w szkoleniu pilotów wojskowych w Polsce*, LAW, Dęblin 2022.

Bombik M., *Z zagadnień logiki i metodologii nauk. O definiowaniu pojęcia definicji*, „*Studia Philosophiae Christianae*” 1985, nr 21(1).

Chmieliński M., *Nowoczesne technologie w systemach symulacyjnych i treningowych uzbrojenia morskiego w Akademii Marynarki Wojennej w aspekcie bezpieczeństwa wykonywania zadań bojowych*, „*Aparatura Badawcza i Dydaktyczna*” 2017, T. 22, nr 4.

Chmieliński M., *Nowoczesne trenażery i symulatory morskich strzelań artyleryjskich i raketowych w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni*, „*Technika Transportu Szybowego*” 2015, nr 12.

Kobierski J.W., Milewski S., Chmieliński M., Bielawski K., Buda T., Szagała D., *Integracja tradycyjnych i nowoczesnych metod nauczania na przykładzie demonstratora technologii – trenażera morskiego zestawu raketowo-artyleryjskiego ZU-23-2MR*, „*Logistyka*” 2011, nr 5.

Kopaliński W., *Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1994.

Kowalski M., Izdebski M., Żak J., Gołda P., Manerowski J., *Planning and management of aircraft maintenance using a genetic algorithm*, „*Eksplatacja i Niezawodność*” 2021, nr 23(1).

Kupisiewicz Cz., *Podstawy dydaktyki ogólnej*, Warszawa 1988.

*Leksykon wiedzy wojskowej*, MON, Warszawa 1979.

*Mała encyklopedia wojskowa*, T. III, MON, Warszawa 1971.

Michalski D., *Możliwości unifikacji szkolenia młodszej kadry dowódczej szczebla taktycznego wojsk obrony przeciwlotniczej*, „*Obronność. Zeszyty Naukowe*” 2018, nr 4(28).

<sup>41</sup> M. Bombik, *Z zagadnień logiki i metodologii nauk. O definiowaniu pojęcia definicji*, „*Studia Philosophiae Christianae*” 1985, nr 21(1), s. 135.

Okarmus J., Tytuła M., *Słownik wyrazów obcych*, Wydawnictwo Szkolne PWN, Warszawa–Bielsko-Biała 2011.

*Słownik współczesnego języka polskiego*, Wydawnictwo SMS, Kraków 1998.

*Słownik wyrazów obcych PWN*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.

Woźniak D., Kukielka L., Woźniak J., *Symulatory i trenażery w nauczaniu i szkoleniu wojskowym-wybrane aspekty*, „Autobusy” 2014, nr 6.

### Akty i dokumenty prawne

---

Air Traffic Controllers’ Licensing And Certification Consolidated version of Air Traffic Controllers’ Licenses and Certificates Implementing Rules and related Acceptable Means of Compliance and Guidance Material, including the ATCO Initial Training Content and its related AMC and GM, Issued August 2015, ATCO. Technical requirements and administrative procedures related to Commission Regulation (EU) 2015/340 and AMC and GM to ATCO, ED Decision 2015/010/R, ED Decision 2015/015/R.

Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices CS-FSTD(A), European Aviation Safety Agency, Issue 2, 3 May 2018.

„European Plan for Aviation Safety (EPAS) 2020–2024”.

European Union Aviation Safety Agency, Notice of Proposed Amendment 2021-08(A).

„Program szkolenia lotniczego na samolocie CASA C-295”, DGRSZ, Warszawa 2020.

Terms of Reference for rulemaking task RMT.0196, Update of flight simulation training device requirements, Issue 4, European Union Aviation Safety Agency.

### Źródła internetowe

---

<https://encyklopedia.pwn.pl>.

<https://sjp.pwn.pl>.

<https://wsjp.pl>.

Part 60 Flight Simulation Training Device Initial And Continuing Qualification And Use, Appendix F to Part 60 Definitions and Abbreviations for Flight Simulation Training Devices, <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-D/part-60>.

[www.easa.europa.eu](http://www.easa.europa.eu).

Wytyczne Nr 1 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 14 lutego 2013 r. w sprawie specyfikacji certyfikacyjnych dla samolotowych szkoleniowych urządzeń symulacji lotu oraz specyfikacji certyfikacyjnych dla śmigłowcowych szkoleniowych urządzeń symulacji lotu (Dz.U. ULC z 2013 r., poz. 29).

Załączniki do wytycznych nr 1 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 14 lutego 2013 r., Specyfikacje certyfikacyjne dla samolotowych szkoleniowych urządzeń symulacji lotu, Wydanie pierwsze 4 lipca 2012 r. „CS-FSTD(A)”, Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego.

Zatwierdzenie Użytkownika Szkoleniowego Urządzenia Symulacji Lotu FSTD, Podręcznik Certyfikacji i Nadzoru Operacyjnego PNO-965, Urząd Lotnictwa Cywilnego.

**Anna ŚLESICKA**Lotnicza Akademia Wojskowa  
e-mail: a.slesicka@law.mil.pl  
ORCID: 0000-0002-6313-030X**Błażej ŚLESICKI**Lotnicza Akademia Wojskowa  
e-mail: b.slesicki@law.mil.pl  
ORCID: 0000-0002-0857-1081

DOI: 10.55676/asi.v3i1.52

## THE CONCEPT OF DISRUPTING ANTI-RADIATION MISSILES IN A RADAR DECOY SYSTEM

### KONCEPCJA ZAKŁÓCANIA POCISKÓW ARM W SYSTEMIE PUŁAPEK RADIOLOKACYJNYCH

#### Streszczenie

Toczące się obecnie na świecie konflikty zbrojne dowodzą ogromnej roli rozpoznania elektronicznego, które staje się jednym z podstawowych źródeł danych na temat przeciwnika i obszaru działań. Jednym z narzędzi walki radioelektronicznej, w której skład wchodzi rozpoznanie elektroniczne, są stacje radiolokacyjne, pełniące kluczową rolę w wykrywaniu, śledzeniu i identyfikacji przeciwników latających oraz w kierowaniu uzbrojeniem w celu zwalczania tych zagrożeń. Własne stacje radiolokacyjne są również celem przeciwnika. Pociski, które do tego służą, nazywa się pociskami przeciwradiolokacyjnymi. Jednym ze sposobów obrony jest modyfikacja pola elektromagnetycznego w otoczeniu chronionego radaru. Celem artykułu było przedstawienie modelu koherentnego zakłócenia pocisku przeciwradiolokacyjnego w systemie pułapek radiolokacyjnych radaru. Autorzy zastosowali analizę dostępnej literatury oraz przeprowadzili symulacje komputerowe w środowisku Matlab. Podsumowując, wskazano na istotną rolę, jaką pełnią na dzisiejszym polu walki pułapki radiolokacyjne.

**Słowa kluczowe:** walka radioelektroniczna, pułapka radiolokacyjna, przetwarzanie sygnałów, radiolokacja

#### Abstract

The ongoing armed conflicts in the world today demonstrate the huge role of electronic reconnaissance, which is becoming one of the primary sources of data on the enemy and the area of operations. One of the tools of radioelectronic warfare, which includes electronic reconnaissance, are radiolocation stations, which play a key role in detecting, tracking and identifying enemy aircraft and in directing armaments to combat these threats. The enemy's own radiolocation stations are also targeted. The missiles used to do this are called anti-radar missiles (ARM). One way to defend against them is to modify the electromagnetic field around the protected radar. The purpose of this article was to present a model of coherent interference of an anti-radiation missile in a radar trap system. The authors applied an analysis of the available literature and carried out computer simulations in the MATLAB environment. In conclusion, the important role played by radar decoys on today's battlefield was pointed out.

**Keywords:** radioelectronic warfare, decoy, signal processing, radiolocation

## 1. INTRODUCTION

Modern military operations demonstrate the enormous role of electronic reconnaissance, which is becoming one of the primary sources of data on the enemy and the area of operations. It acts in support of air defense systems, helping to detect, identify, track and neutralize air threats such as enemy aircraft, helicopters, drones, and ballistic or cruise missiles. One of the components of air defense are radiolocation stations, which play a key role in detecting, tracking and identifying enemy aircraft and in directing armaments to combat these threats<sup>1</sup>.

Unfortunately, our own radiolocation stations are also a key target for the enemy to combat with Anti-Radiation Missiles (ARM). These missiles are designed to detect sources of electromagnetic emissions and homing in on them, with the goal of disabling our ability to detect and track enemy units. Consequently, there is a need to develop a defense system that will effectively repel anti-radiation missiles. One way to defend against this is to modify the electromagnetic field around the radar to be protected. This paper presents a model for coherent interference of an anti-radiation missile in a radar decoy system<sup>2</sup>.

The purpose of the article is to propose a concept for a model for deploying decoys at the own radiolocation stations that make up the air defense system. The proposed model will be characterized primarily by high mobility, as indicated by the course and conclusions of the war in Ukraine so far. The article presents the necessary technical assumptions, signal models and simulations.

Theoretical research methods, such as the analysis and synthesis of information in the literature and source materials and the computer simulation method, were used to develop the article.

## 2. ANTI-RADIATION MISSILES

Anti-radiation missiles are missiles carried by combat aircraft, designed to destroy radiolocation installations and guided by electromagnetic radiation emitted by radar. They are equipped with a self-guided warhead of the passive type<sup>3</sup>. Its task is to detect the radiation emitted by the antenna of the operating radar and determine the angle of its position with respect to the longitudinal axis of the missile. This angle is then transformed into electrical signals that control the deflection of the missile's rudders, so that the missile's direction of flight coincides with that of the target. In this way the missile homing in on the radar antenna and then destroying it with a warhead explosion. Figure 1 shows a cross-section of the US AGM-88 HARM anti-radiation missile.

<sup>1</sup> S. Fontana, F. Di Lauro, *An Overview of Sensors for Long Range Missile Defense*, "Sensors" 2022, no. 22(24), p. 9871.

<sup>2</sup> J. Kwika, *Rozpoznanie radiolokacyjne - rzeczywistość i przyszłość Sił Powietrznych*, "Obronność – Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania i Dowodzenia Akademii Obrony Narodowej" 2015, no. 4, p. 80.

<sup>3</sup> K. Nicpoń, *Rakiety przeciwradiolokacyjne: zachód*, "Nowa Technika Wojskowa" 1996, no. 5, p. 32.



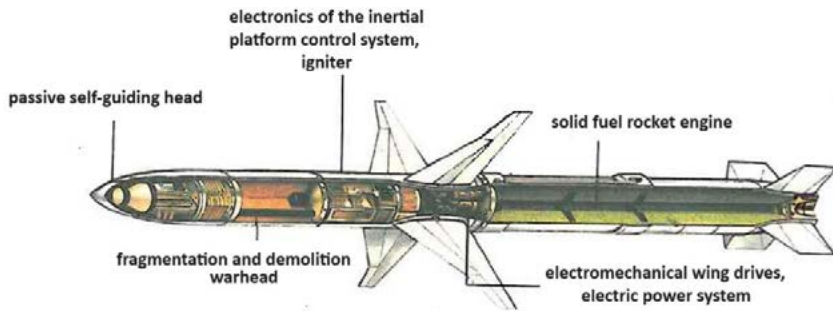


Fig. 1. Cross-section of the US AGM-88 HARM anti-radiation missile

Source: A. Ślesicka, *Model koherentnego zakłócenia pocisku ARM w systemie pułapek radiolokacyjnych*, master thesis, WAT, Warszawa 2017, p. 13.

The purpose of anti-radiation missiles is to completely neutralize or partially reduce the operation of enemy air defenses during an armed conflict in order to increase the security of our own troops<sup>4</sup>. The different ways in which anti-radar missiles attack radars depend on, among other things, the size and importance of air defense systems, as well as the location of specific radars that the adversary considers critical to achieving its goals<sup>5</sup>.

Taking into account the development of currently existing radar missiles, there are four main methods of combating radars<sup>6</sup>:

- a direct attack, in which an ARM missile rises to a very high altitude (at least several kilometers), then accelerates to maximum speed to prevent the radar operator from responding effectively to the attack in the last phase of flight (at a direct distance in front of the radar);
- ballistic attack, in which an ARM missile travels on a ballistic trajectory corrected by bearings from an onboard targeting warhead;
- delayed attack, the ARM missile, after reaching its maximum altitude (at least 20 km), shuts down its engines and begins descending on a parachute. When the reconnaissance and targeting warhead detects an object assigned for destruction, it discards the parachute and, with increasing speed, homing in on it;
- maneuvering attack, in which an ARM missile built in an aircraft-missile system moves along a programmed route and is designed to clear the flight path from air defense system radars.

<sup>4</sup> Ibidem, p. 16.

<sup>5</sup> S. Czeszejko, *Pociski przeciwradiolokacyjne – rozwój i ich stan obecny*, "Obronność – Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania i Dowodzenia Akademii Obrony Narodowej" 2013, no. 1(5), p. 31.

<sup>6</sup> J. Matuszewski, J. Pietrański, *Walka radioelektroniczna w radiolokacji*, WAT, Warszawa 2019, p. 196.

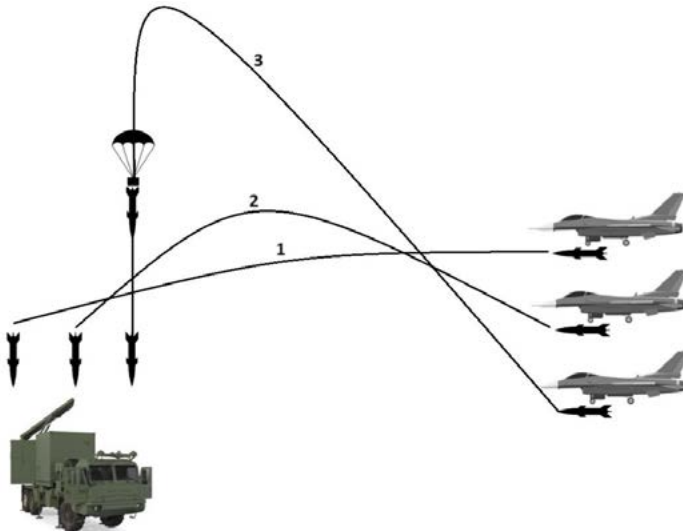


Fig. 2. Examples of ARM missile trajectories

Source: own elaboration based on: S. Czeszejko, *Pociski przeciwradiolokacyjne...*, op. cit., p. 31.

### 3. METHODS OF DISRUPTING THE MISSILE ARM

Ensuring effective radar protection ARMs is a key air defense challenge. There are several advanced methods of disrupting ARM missiles to minimize the risk of hitting them. Below are some important techniques for protecting radars from this type of threat<sup>7</sup>:

1. Decoys:

- The use of radar signal imitators, known as radar traps, can significantly interfere with missile receivers. By creating false signals, these traps make it difficult to accurately track the actual source of emissions.

2. Detection and tracking:

- Defense systems can focus on detecting and tracking ARM missiles using their own radars. Developing distress signals allows special radar modes to be activated, which in turn makes it more difficult for the missile’s guidance receiver to maintain tracking.

3. Minimize broadcast time:

- Radar defenses can limit the timing of probe signals to reduce the risk of detection and targeting by a radar missile.

4. Signals difficult to detect:

- The use of signals that are difficult to detect and the variable sweep of space can make it difficult for missile receivers to identify and track radar signals.

<sup>7</sup> M. Łuszczuk, *Wybrane problemy ochrony radarów przed rakietami antyradiolokacyjnymi*, “Problemy Mechatroniki” 2014, no. 5(16), p. 119.

This approach is designed to introduce misinformation into the decision-making process of missile guidance systems.

5. Continuous change of signal parameters:
  - Continuously changing the frequency and time parameters of the signal emitted by the radar is a key element of ARM missile defense. These changes, which are introduced in a pseudo-random fashion, make it difficult to precisely target the source of the emission.
6. Active GPS interference:
  - An effective countermeasure may be to actively interfere with GPS (Global Positioning System) and guidance receivers, but outside the radar's operating band. This is to stop the process of tracking the direction to the emission source by the ARM missile.

Comprehensive radar security against ARM missiles requires diverse and advanced defense strategies. A combination of these methods provides an effective barrier to hinder the effective operation of such missiles and protect vital radar systems from the threat.

In this article, a method based on the use of decoys is used to disrupt an ARM radar missile.

#### 4. USE OF DECOYS TO PROTECT THE RADIOLOCATION STATION

Decoys, also referred to as radar imitators or electromagnetic imitators, are an integral component of the anti-radar missile (ARM) radar protection system. The main purpose of these devices is to generate electromagnetic signals designed to interfere with the operations of targeting systems used by the enemy<sup>8</sup>. In addition, these decoys are designed to introduce interference in the operation of self-guided anti-radiation missile systems launched by the enemy to destroy the radar.

The signals emitted by decoys are often referred to as signals masking the operation of a protected transmitter, such as radar. This high-tech solution is designed not only to interfere with the effectiveness of enemy targeting systems, but also to introduce disinformation into the missile's self-guidance systems. In practice, decoys create false signals, making the process of identifying and targeting the source of the emissions more difficult, which is crucial for effective defense against ARM missiles<sup>9</sup>.

So far, it is possible to find the use of an imitator of a radiolocation signal located on a trailer that is a component of a C-band capable Bystra radiolocation station. This is a solution of the Polish company PIT-RADWAR. It should be noted that it is a solution with only one imitator<sup>10</sup>. Taking the above into account, the goal of the authors of

<sup>8</sup> J. Zou, K. Gao, S. Lu, E. Zhang, *Coherent Decoy Jamming Anti-radiation Missiles*, Proc. of 2013 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT) Amman, Jordan, 2013, p. 2.

<sup>9</sup> J. Zou, K. Gao, E. Zhang, *Using radar echo to confront anti-radiation missiles*, "Electronic Letters" 2011, no. 47(5), p. 341.

<sup>10</sup> <https://www.pitradwar.com/oferta/425,zdolna-do-przerzutu-stacja-radiolokacyjna-bystra> [access: 19.11.2023].

this publication is to develop a system to protect their own long-range radiolocation station, that is, a station operating in the X-band.

The following is a model for disrupting an ARM missile using two radar signal imitators placed at equal distances from the radar. Scientific research on radar jamming decoy issues indicates that the main influence on the effectiveness of ARM missile jamming is the number and placement of signal imitators. Decoys are very sensitive and sensitive to differences in the ratio of amplitude and phase between individual imitators<sup>11</sup>.

Figure 3 shows a model of the radar protection structure. It is made up of a radar placed in the center of the system and two radar signal imitators placed at equal distances from the radar.

The model presented in this article was developed using a phase-based method of measuring the direction of signal arrival. For the adopted model and phase method, a system consisting of two decoys is required, consisting of an antenna and a receiver. The signals from the individual receivers are transmitted to a microwave phase detector, whose task is to indicate the value of the angle of arrival of the signal. A schematic of the system for measuring the angle of arrival of a signal is shown in Figure 4.

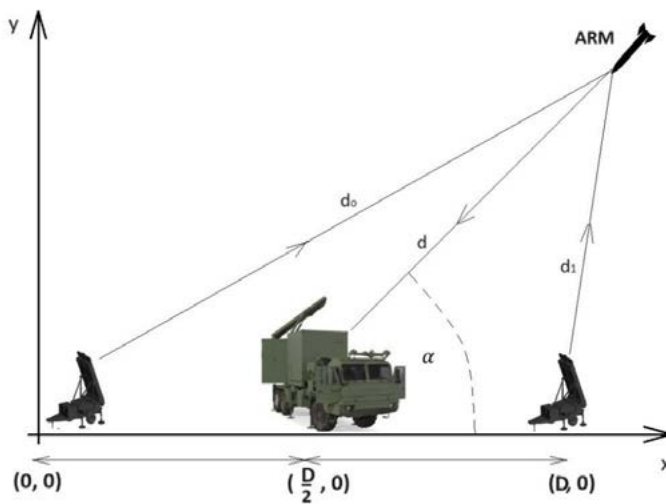


Fig. 3. Structure of the radar protection system

Source: own elaboration based on: M. Łuszczuk, *Wybrane problemy...*, op. cit., p. 119.

<sup>11</sup> J. Zou, K. Gao, S. Lu, E. Zhang, *The Angle Measurement Error Analysis of Near Field Phase Comparison under Coherent Sources*, "Journal of Information and Computational Science" 2011, no. 8(10), p. 2005.

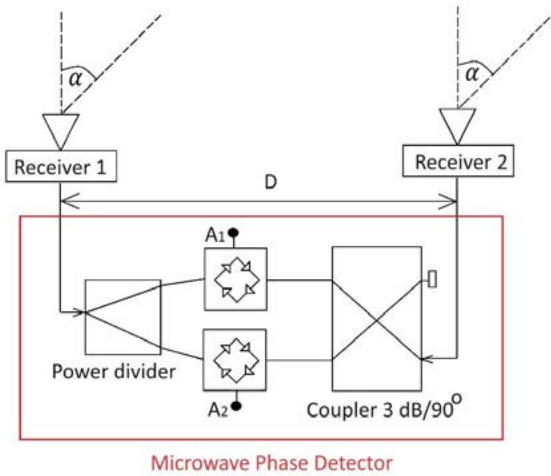


Fig. 4. Structure of the signal arrival angle measurement system

Source: own elaboration based on: A. Rutkowski, *Podzespoły i układy mikrofalowe – Wybrane zagadnienia i laboratorium komputerowe*, Warszawa 2010, p. 76.

The relationship for the angle of arrival of a signal is expressed as<sup>12</sup>:

$$\alpha = \arcsin \left[ \frac{c}{2\pi f d} \arctg \left( \frac{A_1}{A_2} \right) \right] \tag{1}$$

where:

$\alpha$  – angle of signal arrival;

$f$  – frequency of the received signal;

$D$  – distance between antennas;

$A_1$  – the amplitude of the intermediate frequency signal at the receiver output coming from the first transmitter;

$A_2$  – the amplitude of the intermediate frequency signal at the receiver output coming from the second transmitter,

Taking the following designations:

$d_0$  – distance of the first signal imitator from the ARM;

$d$  – the distance of the receiver from the ARM;

$d_1$  – distance of the second signal imitator from the ARM,

note that the difference in distance  $d_0$  and  $d_1$  affects the phase difference of the signals from the two imitators  $\Delta\varphi$ . For further analysis, it will be necessary to determine the distances  $d_0$  and  $d_1$  using the cosine theorem<sup>13</sup>:

$$d_1^2 = d^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 - 2d\frac{D}{2} \cos \alpha \tag{2}$$

<sup>12</sup> A. Rutkowski, *Podzespoły i układy mikrofalowe...*, op. cit., p. 76.

<sup>13</sup> J. Zou, K. Gao, E. Zhang, *Inducing Anti-radiation Missile Safely under Coherent Decoy Based on VD-Kalman Filter*, The International Conference on Information Engineering and Computer Science (ICIECS2009), China, Wuhan 2009, p. 2708–2711.

$$d_1 = \sqrt{d^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2} - 2d\frac{D}{2}\cos\alpha \tag{3}$$

$$d_0^2 = d^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 - 2d\frac{D}{2}\cos(180 - \alpha) \tag{4}$$

$$d_0 = \sqrt{d^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2} - 2d\frac{D}{2}\cos(180 - \alpha) \tag{5}$$

Received echoes of imitator signals are given as<sup>14</sup>:

$$E_1 = A_1 \left[ \beta \cos\left(\omega_1 t + 2\pi f_1 \frac{d+d_1}{c}\right) + \cos\left(\omega_1 t + \varphi_0 + 2\pi f_1 \frac{d+d_0}{c}\right) \right] \tag{6}$$

$$E_2 = A_2 \left[ \beta \cos\left(\omega_2 t + 2\pi f_2 \frac{d+d_1}{c}\right) + \cos\left(\omega_2 t + \varphi_0 + 2\pi f_2 \frac{d+d_0}{c}\right) \right] \tag{7}$$

where:

$\varphi_0$  – the initial phase difference between the signals from the two transmitters;

$\Omega$  – the ratio of the amplitudes of the signals from the two transmitters;

$f_1$  – intermediate frequency in the receiving path of the first signal ( $\omega_1 = 2\pi f_1$ );

$f_2$  – intermediate frequency in the receiving path of the second signal ( $\omega_2 = 2\pi f_2$ );

$\frac{d+d_0}{c}$  – the time for the signal to reach the receiver from the first transmitter;

$\frac{d+d_1}{c}$  – the time it takes for the signal to reach the receiver from the second transmitter.

Phase difference for both receiving tracks<sup>15</sup>:

$$\Delta\varphi_1 = 2\pi f_1 \frac{d_0-d_1}{c} + \varphi_0 \tag{8}$$

$$\Delta\varphi_2 = 2\pi f_2 \frac{d_0-d_1}{c} + \varphi_0 \tag{9}$$

Hence, the final received echoes of imitator signals can be written as<sup>16</sup>:

$$S_1 = A_1 \sqrt{1 + \Omega^2 + 2\Omega\cos(\Delta\varphi_1)} \cos\left(\omega_1 t + 2\pi f_1 \frac{d+d_1}{c} + \arctan\left(\frac{\sin\Delta\varphi_1}{\Omega+\cos\Delta\varphi_1}\right)\right) \tag{10}$$

$$S_2 = A_2 \sqrt{1 + \Omega^2 + 2\Omega\cos(\Delta\varphi_2)} \cos\left(\omega_2 t + 2\pi f_2 \frac{d+d_1}{c} + \arctan\left(\frac{\sin\Delta\varphi_2}{\Omega+\cos\Delta\varphi_2}\right)\right) \tag{11}$$

From here, one can determine the arguments of the cosine function that are the phase shift being sought<sup>17</sup>:

$$\varphi_1 = 2\pi f_1 \frac{d+d_1}{c} + \arctan\left(\frac{\sin\Delta\varphi_1}{\Omega+\cos\Delta\varphi_1}\right) \tag{12}$$

$$\varphi_2 = 2\pi f_2 \frac{d+d_1}{c} + \arctan\left(\frac{\sin\Delta\varphi_2}{\Omega+\cos\Delta\varphi_2}\right) \tag{13}$$

Assuming that the second intermediate frequency is twice the first frequency  $f_2 = 2f_1$  and that the initial phase difference is  $\varphi_0 = 0$ :

<sup>14</sup> J. Zou, K. Gao, S. Lu, E. Zhang, *The Angle Measurement...*, op. cit., p. 2005.

<sup>15</sup> J. Zou, K. Gao, E. Zhang, *Inducing Anti-radiation...*, op. cit., p. 2708–2711.

<sup>16</sup> Ibidem.

<sup>17</sup> Ibidem.

$$\Delta\varphi_1 = 2\pi f_1 \frac{d_0 - d_1}{c} \quad (14)$$

$$\Delta\varphi_2 = 2\Delta\varphi_1 \quad (15)$$

Hence:

$$\varphi_2 = 2\pi 2f_1 \frac{d+d_1}{c} + \arctan\left(\frac{\sin(2\Delta\varphi_1)}{\Omega + \cos(2\Delta\varphi_1)}\right) \quad (16)$$

$$\varphi_2 - 2\varphi_1 = \arctan\left(\frac{\sin(2\Delta\varphi_1)}{\Omega + \cos(2\Delta\varphi_1)}\right) - 2 \arctan\left(\frac{\sin\Delta\varphi_1}{\Omega + \cos\Delta\varphi_1}\right) \quad (17)$$

Defining<sup>18</sup>:

$$G = \tan(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (18)$$

$$H = \cos(\Delta\varphi_1) \quad (19)$$

where:

$$\tan(\varphi_2 - 2\varphi_1) = \frac{(\Omega^2 - \Omega)(\sin 2\Delta\varphi_1 - 2\sin\Delta\varphi_1)}{2\Omega(\Omega + 1)(\cos\Delta\varphi_1 + 1) \cos\Delta\varphi_1 + (\Omega - 1)^2(\Omega + 1)} \quad (20)$$

By squaring the above equation and equating to zero, the result was obtained<sup>19</sup>:

$$\begin{aligned} & [G^2(\Omega + 1)^2 4\Omega^2 + 4(\Omega^2 - \Omega)^2] \cos^4 \Delta\varphi_1 - 8[(\Omega^2 - \Omega)^2 - \\ & G^2(\Omega + 1)^2 \Omega^2] \cos^3 \Delta\varphi_1 + G^2(\Omega + 1)^2 [4\Omega^2 + 4\Omega(\Omega - \\ & 1)^2] \cos^2 \Delta\varphi_1 + [4G^2 \Omega(\Omega + 1)^2 (\Omega - 1)^2 + 8(\Omega^2 - \Omega)^2] \cos \Delta\varphi_1 + \\ & G^2(\Omega + 1)^2 (\Omega - 1)^4 - 4(\Omega^2 - \Omega)^2 = 0 \end{aligned} \quad (21)$$

This is an equation of degree four, which must be reduced to the form<sup>20</sup>:

$$\cos^4 \Delta\varphi_1 + B \cos^3 \Delta\varphi_1 + C \cos^2 \Delta\varphi_1 + F \cos \Delta\varphi_1 + J = 0 \quad (22)$$

where:

$$B = \frac{-8[(\Omega - 1)^2 - B^2(\Omega + 1)^2]}{B^2(\Omega + 1)^2 4\Omega + 4(\Omega - 1)^2} \quad (23)$$

$$C = \frac{B^2(\Omega + 1)^2 [4\Omega + 4(\Omega - 1)^2]}{B^2(\Omega + 1)^2 4\Omega + 4(\Omega - 1)^2} \quad (24)$$

$$F = \frac{4\Omega^2(\Omega - 1)^2 + 8\Omega(\Omega - 1)^2}{B^2(\Omega + 1)^2 4\Omega + 4(\Omega - 1)^2} \quad (25)$$

$$J = \frac{B^2(\Omega + 1)^2 (\Omega - 1)^4 - 4(\Omega^2 - \Omega)^2}{B^2(\Omega + 1)^2 4\Omega + 4(\Omega - 1)^2} \quad (26)$$

Next, construct a third-degree equation so that the root of  $x$  is real<sup>21</sup>:

$$x^3 - Cx^2 + (BF - 4J)x + (4CJ - F^2 - B^2J) = 0 \quad (27)$$

Defining new variables<sup>22</sup>:

$$K = \frac{3(BF - 4J) - C^2}{9} \quad (28)$$

$$L = \frac{-9C(BF - 4J) - 27(4CF - F^2 - B^2J) + 2C^3}{54} \quad (29)$$

$$M = \sqrt[3]{L + \sqrt{K^3 + L^3}} \quad (30)$$

<sup>18</sup> Ibidem.

<sup>19</sup> Ibidem.

<sup>20</sup> Ibidem.

<sup>21</sup> Ibidem.

<sup>22</sup> Ibidem.

$$N = \sqrt[3]{L - \sqrt{K^3 + L^3}} \tag{31}$$

and  $W = K^3 + L^3$ , which is a distinguishing feature of:

if  $W > 0$ , we get one real element and the other two composite elements;

if  $W = 0$ , we get three real primes and at least two equal to each other;

if  $W < 0$ , we get all elements real and unequal to each other in value.

Elements of the third degree equation<sup>23</sup>:

$$x_1 = M + N + \frac{1}{3}C \tag{32}$$

$$x_2 = -\frac{1}{2}(M + N) + \frac{1}{3}C + \frac{1}{2}i\sqrt{3}(M - N) \tag{33}$$

$$x_3 = -\frac{1}{2}(M + N) + \frac{1}{3}C - \frac{1}{2}i\sqrt{3}(M - N) \tag{34}$$

If all the elements of equation (28) are real, then in further calculations we consider the one for which all the coefficients of the equation below will be real<sup>24</sup>:

$$H^2 + \frac{1}{2}(B \pm \sqrt{B^2 - 4C + 4x_0})H + \frac{1}{2}(x_0 \mp \sqrt{x_0^2 - 4J}) = 0 \tag{35}$$

The solution of the quadratic equation (35) is<sup>25</sup>:

$$H = \cos(\Delta\varphi_1) \tag{36}$$

Transforming the relation (36), the phase difference sought was obtained<sup>26</sup>:

$$\Delta\varphi_1 = \arccos(H) \tag{37}$$

Given the above relationships, it should be emphasized that the only parameters that can be influenced when building the above model are the distance over which the imitators  $D$  are spaced and the intermediate frequencies in the receiving paths of both imitators  $f_1$  and  $f_2$ . The task of the radar is to indicate the distance to the object  $d$ , while the task of the microwave phase detector is to determine the angle of arrival of the signal  $\alpha$  based on the amplitudes of the intermediate frequency signals at the output of receivers  $A_1$  and  $A_2$ .

## 5. SIMULATIONS

In order to test the correctness of the developed model of ARM missile interference in the radar trap system, a series of simulations were performed in the Matlab environment, showing the influence of various parameters on the missile's flare effectiveness. The radar was assumed to operate at an X-band frequency of 10 GHz. The tests were carried out for different criteria. The effect of the direction of signal arrival, the distance between imitators and the intermediate frequency of the receiver on the value of the phase difference was compared.

<sup>23</sup> Ibidem.

<sup>24</sup> Ibidem.

<sup>25</sup> Ibidem.

<sup>26</sup> Ibidem.



The first simulation was to study how the length of the base, or the spacing of the signal imitators, affects the value of the phase difference error. The signal imitators are located at the same distance from the radar. The signal's angle of arrival is  $60^\circ$ , the receiver's intermediate frequency is 20 MHz, and the radar-missile distance was 2000 meters.

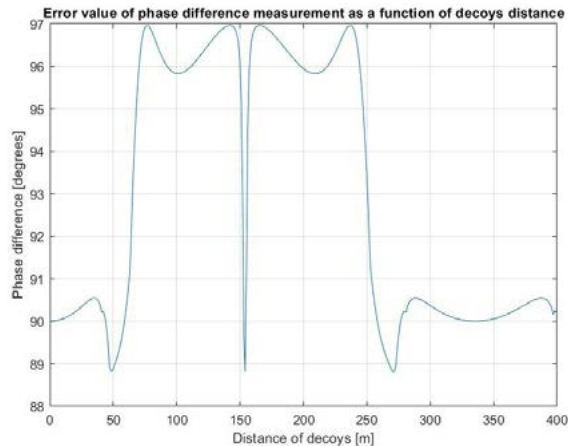


Fig. 5. Error value of phase difference measurement as a function of decoys distance

Source: own elaboration based on: M. Łuszczuk, *Wybrane problemy...*, op. cit., p. 119.

The possibility of detecting a radiolocation station by a missile at a distance of 2000 meters from the radar is most likely when the imitators are spaced 300 meters apart, i.e. when each imitator is 150 meters from the radar, as shown in Figure 5. The largest error in measuring the phase difference occurs for base lengths in the range of 70–140 and 160–220 and is about  $7^\circ$ .

In order to study what effect the angle of arrival of the signal has on the value of the phase difference measurement error, another simulation was performed, the result of which is shown in Figure 6. To perform the simulation, the receiver's intermediate operating frequency was assumed to be 20 MHz and the base length equal to 300 meters in the first case and 100 meters in the second.

The obtained characteristics shown in Figure 6 in the range of signal arrival angles from  $0^\circ$  to  $180^\circ$  are symmetrical with respect to the  $90^\circ$  angle. When the length of the base is 300 meters, the most accurate measurement of the phase difference was obtained at an angle of signal arrival of  $60^\circ$ , while the largest difference occurred in the range of signal arrival angles of  $25^\circ$ – $55^\circ$  and  $65^\circ$ – $85^\circ$ . With a change in the length of the base at a distance of 100 meters, the probability of successfully locating a radio station occurs for slightly different angles. In this case, the most accurate measurement of the phase difference was obtained at an angle of signal arrival in the range of  $20^\circ$ – $45^\circ$ , while the largest difference occurred in the range of signal arrival angles equal to  $45^\circ$ – $80^\circ$ . From the analysis of the characteristics, it can be seen that

for the spacing of the imitators at a distance of 100 meters, there are significantly larger deviations in the phase difference.

The purpose of the last simulation was to show the effect of the receiver’s intermediate frequency on the value of the phase difference measurement error. The simulation was carried out for the case of imitators spaced 100 and 300 meters apart. The angle of signal arrival was fixed at 60°.

The possibility of precise localization of the ground targeting system by the radar missile for the case of spacing the imitators of the radar signal at a distance of 300 meters is highly probable only for even harmonics. If the receiver is tuned to odd values the possibility of destroying the radar station decisively decreases. If the imitators are spaced at a distance of 100 meters, the probability of damage to the ground-based targeting system clearly increases.

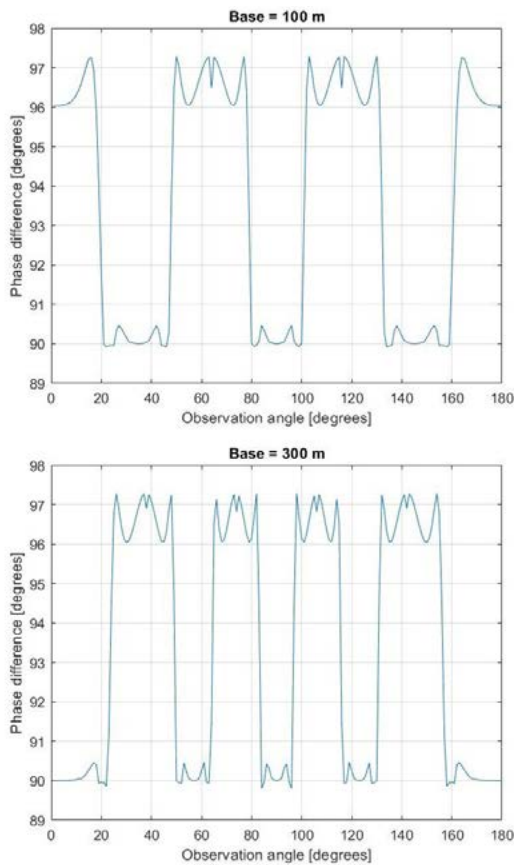


Fig. 6. Error value of phase difference measurement as a function of signal arrival angle

Source: own elaboration based on: M. Łuszczuk, *Wybrane problemy...*, op. cit., p. 119.

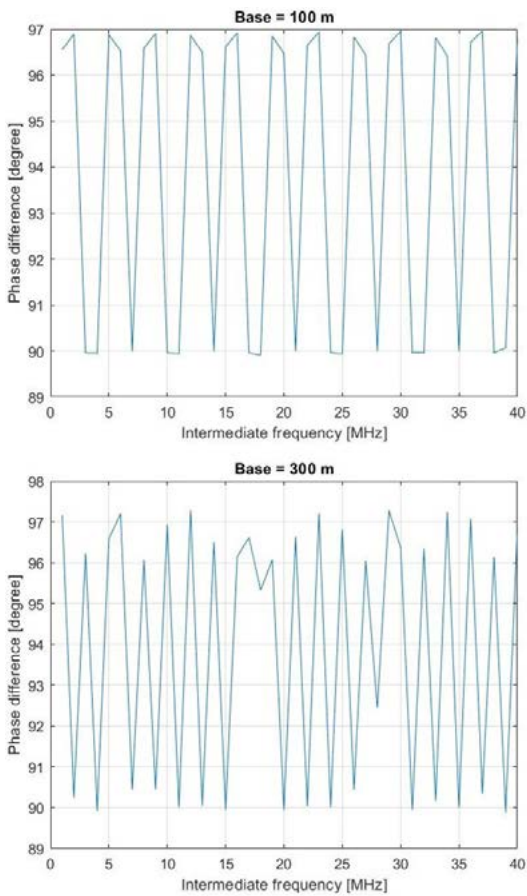


Fig. 7. Error value of the phase difference measurement as a function of the receiver's intermediate frequency

Source: own elaboration based on: M. Łuszczuk, *Wybrane problemy...*, op. cit., p. 119.

Parity with this choice of parameters for the model under study no longer has such a significant effect. For the first case of the length of the base, the error in the measurement of the phase difference is slightly more than  $7^\circ$ , i.e. the maximum error in the measurement of the location is equal to 245 meters, and for the second situation this value does not exceed  $7^\circ$ , i.e. the maximum error in the measurement of the location is 210 meters. In both cases, the missile was at a distance of 2 kilometers from the radiolocation station.

## 6. SUMMARY – CONCLUSIONS

This paper presents a model of coherent interference of an ARM missile in a radar trap system. Based on the adopted model, a series of computer simulations were developed in the Matlab environment to verify the developed model.

The developed model consists of two coherent imitators of radiolocation station operation placed at equal distances from the parent radiolocation station. The work uses the phase method of measuring the direction of signal arrival, in which information about the angle of signal arrival is obtained by determining the phase difference.

The simulation results confirmed the complex theoretical relationships, which are so closely interrelated that any change in one of the parameters, i.e. the angle of signal arrival, the distance between imitators and the intermediate frequency of the receiver, affects whether or not the radiolocation station is destroyed. In addition, it is difficult to unambiguously determine which parameter has a key effect on the effectiveness of anti-radar missile interference.

From the analysis of the presented characteristics, it was deduced that the system will be most effective, that is, it will fulfill its function of interfering with the projectile when:

- the distance between the imitators will be 300 meters;
- direction of arrival of the signal will be 40°;
- the receiver will be tuned to an intermediate frequency of 15 MHz.

For such selected values of system parameters, the angle measurement error will be 7°, which will translate directly into a maximum position measurement error of 245 meters.

The analysis of the model developed in this paper indicates that the use of additional confusion beacons is one of the key methods used to protect own radar stations. The proposed concept is a contribution to the currently ongoing research on the development of electromagnetic traps used to protect own ground radar stations.

Further scientific research by the authors will analyze the feasibility of using more imitators to protect their own radiolocation station. Unfortunately, this requires the development of a new geometry and spacing scheme for the imitators, as well as the development of a system for measuring the angle of arrival of the signal from more receivers than two.

## BIBLIOGRAPHY

### Articles and monographs

Czeszejko S., *Pociski przeciwradiolokacyjne – rozwój i ich stan obecny*, "Obronność – Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania i Dowodzenia Akademii Obrony Narodowej" 2013, no. 1(5).

Fontana S., Di Lauro F., *An Overview of Sensors for Long Range Missile Defense*, "Sensors" 2022, no. 22(24).

Kwika J., *Rozpoznanie radiolokacyjne – rzeczywistość i przyszłość Sił Powietrznych*, "Obronność – Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania i Dowodzenia Akademii Obrony Narodowej" 2015, no. 4.

Łuszczuk M., *Wybrane problemy ochrony radarów przed raketami antyradiolokacyjnymi*, "Problemy Mechatroniki" 2014, no. 5(16).

Matuszewski J., Pietrański J., *Walka radioelektroniczna w radiolokacji*, WAT, Warszawa 2019.

Nicpoń K., *Rakiety przeciwradiolokacyjne: wschód*, "Nowa Technika Wojskowa" 1996, no. 7.

Nicpoń K., *Rakiety przeciwradiolokacyjne: zachód*, "Nowa Technika Wojskowa" 1996, no. 5.

Pace P.E., *Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar*, Artech House, Boston 2009.

Rutkowski A., *Podzespoły i układy mikrofalowe – Wybrane zagadnienia i laboratorium komputerowe*, Warszawa 2010.

Ślesicka A., *Model koherentnego zakłócenia pocisku ARM w systemie pułapek radiolokacyjnych*, master thesis, WAT, Warszawa 2017.

Zou J., Gao K., Lu S., Zhang E., *Coherent Decoy Jamming Anti-radiation Missiles*, Proc. of 2013 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AECT) Amman, Jordan 2013.

Zou J., Gao K., Lu S., Zhang E., *The Angle Measurement Error Analysis of Near Field Phase Comparison under Coherent Sources*, "Journal of Information and Computational Science" 2011, no. 8(10).

Zou J., Gao K., Zhang E., *Inducing Anti-radiation Missile Safely under Coherent Decoy Based on VD-Kalman Filter*, The International Conference on Information Engineering and Computer Science (ICIECS2009), China, Wuhan 2009.

Zou J., Gao K., Zhang E., *Using radar echo to confront anti-radiation missiles*, "Electronic Letters" 2011, no. 47(5).

#### Online sources

---

<https://www.pitradwar.com/> [access: 19.11.2023].



**Marek Kustra**

e-mail: m.kustra@law.mil.pl  
 Lotnicza Akademia Wojskowa  
 ORCID: 0000-0003-1169-7483

**Janusz Płaczek**

e-mail: j.placzek@law.mil.pl  
 Lotnicza Akademia Wojskowa  
 ORCID: 0000-0002-3252-8040

**Małgorzata Żmigrodzka**

e-mail: m.zmigrodzka@law.mil.pl  
 Lotnicza Akademia Wojskowa  
 ORCID: 0000-0003-3896-0819

DOI: 10.55676/asi.v3i1.22

## PRÓBA WYZNACZENIA SKALI JAKOŚCI OBSŁUGI PASAŻERÓW PRZEZ LINIE LOTNICZE

AN ATTEMPT TO DETERMINE THE SCALE OF THE QUALITY OF PASSENGER SERVICE BY AIRLINES

### Streszczenie

Jakość obsługi standardowych pasażerów przez poszczególne linie lotnicze jest zróżnicowana, gdyż wynika to z subiektywnego postrzegania oczekiwań. Odnieść to bowiem można przede wszystkim do: sposobu świadczenia obsługi pasażerom, serwisu pokładowego, komunikacji z pasażerem czy szeroko ujmowanego bezpieczeństwa. Ważna jest tu także punktualność lotu oraz relacja ceny biletu do komfortu oferowanej obsługi lotu. W literaturze przedmiotu brak jest sprecyzowania skali pomiaru tej jakości. Materiał przybliży metodologię tego zagadnienia, precyzując stosowne mierniki oraz ich wagi. W sumie pozwala to wypracować określone standardy dla poszczególnych usług oferowanych pasażerom. Taka konkretna wyliczona cena może posłużyć do właściwie prowadzonej polityki marketingowej danej linii lotniczej oraz uzyskania przewagi konkurencyjnej między nimi w zglobalizowanym rynku. Analiza poziomu zadowolenia pasażerów ze świadczonych usług pozwala na podjęcie działania, aby podnieść jakość oferowanej obsługi. Stąd cel niniejszego artykułu stanowi wskazanie próbnego opracowania metodyki pomiaru obsługi pasażerów korzystających z linii lotniczych.

**Słowa kluczowe:** obsługa pasażera, linie lotnicze, komfort lotu, skala jakości, konkurencyjność

### Abstract

The quality of standard passenger service by individual airlines is varies due to a subjective perception of expectations. It is mainly related to: handling label; on-board service; communication with passengers or broadly understood safety and security. The punctuality of the flight and relation between ticket price and service comfort as well as flight are also important here. The subject literature does not specify the scale of measuring this quality. The material introduces the methodology of this issue, specifying the appropriate measures and their weights. All in all, this allows to develop specific standards for individual levels. Such a specific valuation can be used to advertise your airline and demonstrate competition between them in a globalized market. The analysis of the result obtained allows to take action to improve the quality of services and implement them. Hence, the purpose of this article is to indicate the experimental development of the methodology for measuring the service of passengers who use airlines.

**Keywords:** passenger service, airlines, flight comfort, quality scale, competitiveness

## 1. WSTĘP

Jakość obsługi pasażerów linii lotniczych jest niewątpliwie zagadnieniem interdyscyplinarnym<sup>1</sup>, co wynika z faktu postrzegania tej kategorii w sposób subiektywny, oceniając tę usługę zgodnie z indywidualnymi oczekiwaniami. Natomiast firmy przewozowe mają w tym zakresie swoje procedury oraz limity kosztowe, które determinują jakość wykonywanych tego typu usług. Stąd też pomiar jakości tych usług jest prowadzony dość fragmentarycznie i nie daje realnego obrazu. Należy więc wskazać na potrzebę tego pomiaru jako na metodę mającą służyć poprawie działań marketingowych organizacji i benchmarkingu<sup>2</sup>.

W literaturze przedmiotu istnieje wiele metod i wskaźników oceny jakości usług, jednak problem polega na tym, którą z dostępnych metod zastosować, aby uzyskać optymalny wynik. Od wyboru odpowiedniej metody pomiaru jakości usług niejednokrotnie zależy bowiem trafność i rzetelność uzyskanych wyników. Jakość usług wpływa nie tylko na dobrą wolę i zadowolenie klientów linii lotniczych, ale także określa kluczowe czynniki związane z kosztami operacyjnymi i rentownością.

Celem tego artykułu jest wskazanie próbnego opracowania metodyki pomiaru obsługi pasażerów korzystających z linii lotniczych. Mając to na uwadze, autorzy skupili się na kilku elementach metodologicznych. Podmiotem badań są tu linie lotnicze, a przedmiotem jakość świadczonych przez nie usług, a bardziej szczegółowo ich stopniowalna wartość. Do podstawowych metod badawczych wykorzystanych w tym opracowaniu należy zaliczyć: kwerendę literatury przedmiotu, analizę i syntezę, wybrane metody statystyczne oraz komparatystykę. Bazą do napisania tego opracowania naukowego stały się zarówno: pozycje zwarte, artykuły zamieszczone w periodykach, materiały stosownych firm przewozowych oraz źródła internetowe.

Struktura pracy to trzy mocno ze sobą powiązane człony. Pierwszy dotyczy istoty jakości obsługi pasażerów w liniach lotniczych z punktu widzenia teorii problemu. Drugi ujmuje rolę i znaczenie dokonywanego pomiaru i prezentuje metodykę tej oceny. Natomiast trzeci wskazuje na stosowne bariery tej oceny. Całość dopełnia zakończenie z wnioskami. Mając na uwadze lepszą percepcję prowadzonego wywodu, proces ten został ujęty w tabeli. Opracowanie wydaje się być przydatne dla firm świadczących usługi przewozowe z zakresu lotnictwa pasażerskiego. Jednocześnie autorzy mają świadomość tego, że pewne wątki zostały tylko częściowo poruszone w przeprowadzonym badaniu. Wynika to z charakteru tego opracowania, które należy traktować jako przyczynek do szerszych studiów.

## 2. JAKOŚĆ OBSŁUGI PASAŻERÓW W LINIACH LOTNICZYCH – ZARYS TEORII

Linie lotnicze, szczególnie w obecnych czasach kryzysu popandemicznego, muszą troszczyć się o jakość wykonywanych usług, która jest bardzo istotna i pożądana

<sup>1</sup> T. Jałowicz, *Dylematy pomiaru jakości usług logistycznych w SR RP*, [w:] *Problematyka normalizacji jakości i kodyfikacji w aspekcie integracji z NATO i UE*, red. J. Jasińska, WAT, Warszawa 2019, s. 109.

<sup>2</sup> J. Szkoda, *Systemy zarządzania jakością w organizacji*, ITS, Warszawa 2012, s. 19.



przez klientów w warunkach wysokiej konkurencji. Jednym z głównych parametrów w pomiarach jakości jest obsługa pasażera<sup>3</sup>. Podróźni z uwagi na specyfikę transportu powietrznego często różnie znoszą lot, przejawiając tym samym bardzo specyficzne dla nich samych zachowania. Dlatego firmy lotnicze w czasie rekrutacji szczególną uwagę zwracają na aspekt psychologiczny oraz kompetencje nietechniczne<sup>4</sup> personelu pokładowego i lotniczego, m.in.: cierpliwość, umiejętność słuchania, empatię, samoświadomość<sup>5</sup> oraz wyrozumiałość i tolerancję, a także spostrzegawczość i przewidywalność. Mimo iż osiągnięcie wysokiego poziomu jakości produktów nie jest zadaniem łatwym, stanowi cel działalności linii lotniczych. Podróż lotnicza jest z punktu widzenia zarządzania jakością usług linii lotniczych procesem złożonym. Każda interakcja pracownika linii lotniczej z klientem ma bowiem w sobie potencjał do wywarcia na kliencie dobrego lub złego wrażenia. Niestety średnio 1 na 10 pasażerów zadowolonych z podróży może to potwierdzić, natomiast niezadowolony pasażer bardzo często swoje uwagi przekazuje nawet najprostszą drogą w social mediach. Na tej podstawie klient buduje opinię o jakości usług oferowanych przez linię lotniczą. Zmienny charakter usług lotniczych sprawia, że zagadnienie jakości produktu jest ściśle powiązane z kształtowaniem znaku towarowego, marki i wizerunku przewoźnika. Marka danego przewoźnika w odniesieniu do usług pełni ważną funkcję gwarancji jakości. Często uwagę przyciąga wizerunek elegancko ubranych załóg, a także ich sposób poruszania się i zachowania w drodze do samolotu. Jest to symbol, który określa walory usługi, oddziałuje na zaufanie pasażerów do określonego przewoźnika, a także jest wizytówką dla rozwoju kolejnych produktów i usług, z którymi można spotkać się na pokładzie samolotu. Wypracowanie zaufanej i rozpoznawalnej marki to długotrwała praca całego zespołu ludzi, szczególnie tych, którzy są bezpośrednio w kontakcie z klientem. Praca ta w szczególności polega na zapewnieniu bezpieczeństwa na pokładzie samolotu w trakcie lotu i w sytuacji awaryjnej oraz dostarczenie komfortu podróżnym (potrzeby fizyczne i psychiczne)<sup>6</sup>. Żeby osiągnąć odpowiedni poziom umiejętności zadbania o pasażera, załogi muszą przejść intensywne szkolenia, które są cyklicznie powtarzane. Istotne dla osób zarządzających linią lotniczą jest, aby przykładali dużą wagę do zapewnienia swoim pracownikom profesjonalnych szkoleń, dzięki którym zmniejszą ryzyko błędu ludzkiego. To wiedza i doświadczenie personelu pokładowego w dużym stopniu przekłada się na jakość świadczonych usług. Proces zdobywania umiejętności jest długotrwały, ale daje podstawy do zbudowania

<sup>3</sup> T.S. Abdelazim, S. Twigry, *Level of Satisfaction of Passengers About the Quality Level of In-Flight Services Provided by Saudi Arabian Airline: Case Study Domestic Airways Between Hail-Jeddah-Riyadh*, „American Journal of Tourism Research” 2016, nr 1(5), s. 5.

<sup>4</sup> M.M. Pracz-Długoszek, *Kompetencje nietechniczne personelu obsługującego pasażerów w porcie lotniczym*, „Aviation and Security Issues” 2022, nr 1(1), s. 11–13.

<sup>5</sup> Świadomość rozumiana jest m.in. jako zdolność do analizowania, czy też przetwarzania otrzymywanych informacji dotyczących własnej osoby. Z. Zaborowski, *Współczesne problemy psychologii społecznej i psychologii osobowości*, Oficyna Wydawnicza „Profi”, Warszawa 1994, s. 95.

<sup>6</sup> M. Lasota, *Szkolenie i obowiązki personelu pokładowego w aspekcie potrzeb przewoźników lotniczych*, [w:] *Lotnictwo w systemie obronnym państwa. Aspekty kształcenia i szkolenia kadr*, red. R. Barnik, M.T. Markiewicz, ASzWoj, Warszawa 2018, s. 135.

wizerunku firmy<sup>7</sup>. Lotnictwo w swojej specyfice jest szczególnie obwarowane przepisami bezpieczeństwa. Dlatego każda linia lotnicza bez względu na to, jakie świadczy usługi przewozowe, jest zobligowana do zapewnienia procedur bezpieczeństwa na tym samym poziomie. Konkurencyjne mogą być kierunki lotów lub dodatkowe najczęściej świadczone usługi, które ujęte są w programach lojalnościowych lub określone w umowach z innymi podmiotami. Jednak szkolenia związane z procedurami bezpieczeństwa są respektowane i wymagane na podstawie wytycznych International Civil Aviation Organization (ICAO), które zostały zawarte w załączniku 17 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym „Ochrona międzynarodowego lotnictwa cywilnego przed Aktami Bezprawnej Ingerencji”. Należy pamiętać, że obsługę pasażera do momentu wejścia na pokład mogą sprawować inne podmioty, współpracujące jedynie z linią lotniczą; i tu ważne są standardy zawarte w umowach pomiędzy podmiotami. Pasażer bowiem zawsze będzie składał ewentualną reklamację lub zażalenie do podmiotu, z którym zawarł umowę przewozową. Bardzo istotne jest więc wypracowanie wspólnych zasad współpracy na jasnych warunkach.

Autorzy mierząc się z rozważaną problematyką, przyjęli za podstawę teorię wartościowania jakości, w której można wyznaczyć kilka ich stanów. Począwszy od 6 poziomów do 10. W pierwszym przypadku pisze się o następujących stopniach jakości (od najwyższego): doskonałości, normalności, przeciętności, nienormalności oraz niedoskonałości. W tym przypadku różnica między tymi poziomami wynosi 25 punktów lub procent. W przypadku szerszej skali będą to odpowiednio stany jakości: znakomity, wyróżniający, korzystny, dogodny, umiarkowany, pośredni, niedogodny, niekorzystny, krytyczny i zły. Różnica między tymi poziomami wynosi 10 punktów bądź też procent. Przy czym skalę rozpoczyna się od 5 punktów (powyżej 5 do 14,9 jest to zły stan), a kończy na 115 punktach (powyżej tej wartości)<sup>8</sup>. Prezentowane skale używa się wówczas, gdy trzeba opisać i sklasyfikować system o wielu cechach.

### 3. BUDOWA METODYKI OCENY POMIARU JAKOŚCI W PRZEDMIOTOWYM ZAKRESIE

Mając na uwadze budowanie metodyki oceny pomiaru jakości obsługi pasażerów w liniach lotniczych, należało na początku wyspecyfikować grupę cech, które powinny i mogą być zbadane. W tym zakresie należało tak dobrać te cechy, aby były one rozłączne, ale dawały w sumie rzeczywisty obraz badanego zjawiska. Wskazane także było dopasowanie dla nich systemu wag, bowiem ich wpływ na jakość obsługi pasażerów wydawała się różna. Stąd też metodą konsultacji w środowisku naukowo-dydaktycznym oraz na podstawie literatury przedmiotu<sup>9,10</sup> zostało wygenerowanych

<sup>7</sup> B. Gierczak-Korzeniowska, *Jakość usług turystycznych w transporcie lotniczym w opinii pasażerów PLL LOT*, UR, Rzeszów 2015, s. 57.

<sup>8</sup> R. Kolman, *Ilościowe określanie jakości*, PWE, Warszawa 1973.

<sup>9</sup> E. Jeelani, M.A. Bhat, *Perceived Service Quality in Airline Services: An Empirical Assessment*, „International Journal of Management, IT & Engineering” 2021, nr 8(11), s. 13–18.

<sup>10</sup> L. Eboli, M.G. Bellizzi, G. Mazzulla, *A Literature Review of Studies Analysing Air Transport Service Quality from the Passengers' Point of View*, „Promet – Traffic&Transportation” 2022, nr 2(34), s. 260–264.

sześć specyficznych cech. Należą do nich: obsługa pasażera przed odlotem, boarding, terminowość lotu, relacje kosztowe, obsługa pasażera po wykonanym locie lub z powodu jego odroczenia w czasie.

W przypadku pierwszej cechy za słuszne uznano wyodrębnienie stosownych czynności, które są ważne dla pasażera, a dotyczą warunków zewnętrznych. Druga cecha to wszelkie czynności występujące przed i w trakcie wejścia na pokład statku powietrznego w relacji z pasażerem. Trzecią grupę cech stanowią elementy związane z obsługą pasażera na pokładzie samolotu po zamknięciu drzwi. Kolejną czwartą istotną cechą w badaniu jest terminowość lotu – jako ważnego elementu wpływającego na jakość realizowanej usługi. W kolejnej grupie znalazły się mierniki, które reprezentują grupę kosztową. Natomiast ostatnia szósta obejmuje mierniki ujęte pod wspólną nazwą, jaką jest obsługa pasażera po wykonanym locie lub z powodu jego odroczenia w czasie. Oczywiście dla opisu każdej z tych cech należało dobrać kilka zasadniczych mierników, które dają możliwość pozyskania odpowiednich informacji. Również te parametry zostały uporządkowane pod względem wagi. Niektóre z nich mają niewielki wpływ na całość oceny (3 punkty), niemniej jednak dla kompleksowego podejścia należało je uwzględnić. Warto zauważyć, że poszczególne cechy zostały wycenione w sposób zróżnicowany. Najwięcej przypada na trzeci, tj. obsługę pasażera na pokładzie samolotu po zamknięciu drzwi (43 punkty), a najmniej na ostatni szósty, tj. obsługę pasażera po wykonanym locie lub z powodu jego odroczenia w czasie (9 punktów). Według grupy badawczej taki podział wag określonych cech jest optymalny.

Całość tak zaprezentowanych ustaleń i założeń tworzy metodykę oceny jakości obsługi pasażerów realizowanych przez linię lotniczą. Można oczywiście polemizować z ujęciem poszczególnych parametrów, jak również ich wag, ale w ocenie autorów oddają one najlepiej istotę opisywanej jakości usług. Syntetyczny opis proponowanej metodyki został zawarty w tabeli 1.

Tabela 1. Obszary mające wpływ na jakość obsługi pasażerów realizowanych przez linie lotnicze

Lp.	Wyszczególnienie cech	Miernik jakości cząstkowej	Waga
I	Obsługa pasażera przed odlotem – warunki zewnętrzne	1.1. Dostępność skorzystania z usługi (lokalizacja placówki, godziny otwarcia, czas na załatwienie sprawy, dostępność informacji o firmie)	3
		1.2. Atrakcyjność materiałów reklamowych (ulotki, hasła, zdjęcia)	3
		1.3. Zaufanie do firmy (wiarygodność i rzetelność)	3
		1.4. Przyjazność, komunikatywność i rzeczowość personelu sprzedającego bilety	3
		1.5. Dostępność biletów on-line, przyjazność i czytelność stron internetowych	3
		1.6. Dogodności dla pasażera (waga/wymiar bagażu, termin zakupu, sposób płatności, punkty lojalnościowe, ułatwienia w odprawie przed rejsem)	3
		Razem	18

Lp.	Wyszczególnienie cech	Miernik jakości cząstkowej	Waga
II	Boarding	2.1. Sprawność obsługi pasażerów wchodzących na pokład, w tym wskazywanie miejsca na bagaż	5
		2.2. Czystość i estetyka na pokładzie statku powietrznego	5
		2.3. Schłodność ubioru, kultura osobista, komunikacja z pasażerami i rzeczowość personelu pokładowego	5
		2.4. Pomoc pasażerom PRM (specjalnej troski) w zajęciu miejsca, a także w sytuacjach problemowych	5
		Razem	20
III	Obsługa pasażera na pokładzie samolotu po zamknięciu drzwi	3.1. Komunikaty i przedstawienie procedur bezpieczeństwa „DEMO” prezentowane na pokładzie statku powietrznego przed lotem	5
		3.2. Serwis (napoje i jedzenie, różnorodność, wygląd, temperatura, smakowitość, ekologiczność, higiena, poręczność naczyń itp.)	5
		3.3. Bezpieczeństwo (sanitarne, medyczne, przeciwpożarowe, fizyczne)	5
		3.4. Możliwość korzystania z: prasy, video, koca, poduszek, wifi, zatyczek do uszu oraz prowadzenie sprzedaży wolnocłowej	5
		3.5. Dostępność i stosunek do osób niepełnosprawnych oraz zwierząt przewodników	5
		3.6. Dbanie o komfort lotu (cisza, światło, temperatura, wilgotność, oznaczenia, instrukcje) oraz pomoc pasażerom w wypełnianiu dokumentów niezbędnych na lotniskach przylotu	5
		3.7. Czas reakcji personelu pokładowego na zgłoszone zapotrzebowanie ze strony pasażera	4
		3.8. Umiejętność działania w sytuacjach awaryjnych	5
		3.9. Warunki pracy personelu pokładowego	4
Razem	43		
IV	Terminowość lotu	4.1. Niezawodność lotu	5
		4.2. Punktualność lotu	5
		4.3. Powtarzalność świadczonych usług	5
Razem	15		
V	Relacje kosztowe	5.1. Relacja ceny biletu do komfortu obsługi i lotu	5
		5.2. Wartość ubezpieczenia pasażera	5
		Razem	10
VI	Obsługa pasażera po wykonanym locie lub z powodu jego odroczenia w czasie	6.1. Oferowanie pasażerowi dodatkowych usług w ramach posiadanych kompetencji i możliwości	3
		6.2. Udzielanie wszelkich wyjaśnień powstałych po zrealizowanej lub niezrealizowanej usłudze	3
		6.3. Świadczenie różnego typu usług dla pasażera powstałych z winy linii lotniczej	3
		Razem	9
			115

Źródło: opracowanie własne.

#### 4. BARIERY POMIARU JAKOŚCI OBSŁUGI PASAŻERÓW PRZEZ LINIE LOTNICZE

Z uwagi na specyfikę usług przedsiębiorstwa lotnicze różnią się pod względem wielkości, rozmiarów obsługiwanych przez nie rynków i różnorodności ofert. Tu należy wziąć pod uwagę wielkich przewoźników (towarzystwa, linie lotnicze, operatorów lotniczych) dysponujących znaczną liczbą nowoczesnej floty, obsługujących dalekodystansowe, wielosegmentowe rynki z możliwością wykupienia wielu dodatkowych usług. Następnie małe przedsiębiorstwa przewozowe o ograniczonych możliwościach finansowych implementacji innowacyjnych rozwiązań w zakresie świadczenia usług i doskonalenia siatki połączeń<sup>11</sup>. Pomiędzy podmiotami rynku występują wielostronne i funkcjonalne zależności. Istotną rolę odgrywają też stosunki pomiędzy sprzedającymi i oferentami usług a ich nabywcami. Biorąc pod uwagę znaczne różnice w wachlarzu usług przewozowych, trudno jest określić jeden standard pomiaru jakości usług w przedsiębiorstwie lotniczym.

W praktyce przedsiębiorstw lotniczych najczęściej łączy się badania ilościowe z jakościowymi. Często wykorzystuje się metody stosowane w psychologii i socjologii. Natomiast do najczęściej wykorzystywanych instrumentów badawczych należą: kwestionariusz ankiety lub wywiadu, obserwacje, metody projekcyjne lub heurystyczne. Badania prowadzone przez przewoźników w znacznej części wykorzystywane są do celów marketingowych i wymagają wyboru oraz selekcji źródeł gromadzenia danych, sposobów badań, stosowanych instrumentów, doboru próby i form kontaktowania się z respondentami<sup>12</sup>.

Nie bez znaczenia pozostaje sytuacja ekonomiczna regionów, w których przewoźnicy operują. Rozwój gospodarki jest ściśle powiązany z potrzebami klientów, co przekłada się na określony wachlarz usług. Kolejnym czynnikiem będzie kultura danego regionu i świadomość przewożonych pasażerów. Niestety w większości przypadków bilety lotnicze kupowane są bez zapoznania się z ogólnymi warunkami przewozu, gdzie dokładnie są zawarte prawa i obowiązki pasażera. W momencie braku świadomości i w konsekwencji wiedzy pasażerowie często oczekują otrzymania rzeczy, które im nie przysługują lub też nie domagają się tego, co im się należy.

Czas też jest czynnikiem, który tworzy bariery w przeprowadzeniu prawidłowych ankiet, czy też badań sondażowych z pasażerami. Oczywiście w dobie nowych technologii i różnorodnych aplikacji jest wiele możliwości, ale po wyjściu z samolotu ciężko jest zmobilizować pasażera do udzielenia opinii dotyczącej rejsu lub jego obsługi. Czas obsługi jest to kolejny czynnik wymagający oddzielnych dociekań naukowych<sup>13</sup>.

Należy wziąć pod uwagę stan pasażerów, w jakim odbywają podróż lotniczą, ponieważ często ich percepcja może być zaburzona wskutek stresu lub innych sytuacji

<sup>11</sup> D. Rucińska, *Marketingowe kształtowanie rynku usług transportowych*, UG, Gdańsk 2001, s. 28–30.

<sup>12</sup> D. Rucińska, *Badania rynku usług lotniczych. Istota, zakres, użyteczność, przykłady*, „Zeszyty Naukowe” 2011, nr 9, s. 10.

<sup>13</sup> A. Kwasiborska, *Proces obsługi pasażerów w porcie lotniczym*, „Studia Oeconomica Posnaniensia” 2012, nr 4(7), s. 106.

przykładowo nawet małej ilości wypitego alkoholu na pokładzie samolotu. Również wpływ mają tu także zmienne warunki panujące w trakcie lotu.

Zatem istotne dla linii lotniczych jest wypracowanie swojej własnej metody pomiaru jakości wykonywanych usług, co stanowi ogromne wyzwanie. Biorąc pod uwagę szereg ograniczeń związanych z pozyskiwaniem danych, autorzy artykułu mają nadzieję, że swoją publikacją zwrócą uwagę na istotę problemu, a zarazem ich metoda znajdzie zastosowanie w działalności linii lotniczych.

## 5. ZAKOŃCZENIE

Starając się podsumować prowadzone dociekania naukowe, należy podkreślić złożoność i kompleksowość podjętej problematyki. Wynika to z różnicy występującej pomiędzy tym, czego pasażerowie oczekują, a tym, co otrzymują od linii lotniczej podczas świadczonej usługi w tym rodzaju transportu. Oczywiście są zachowane pewne stałe standardy prawne w tym obszarze, ale szereg firm chcąc pozyskać klienta, poszerza swoje usługi oraz ciągle poprawia ich jakość i stosuje metody samokontroli<sup>14</sup>. W opracowaniu przedstawiono metodykę oceny jakości tych specyficznych usług. Zwrócono uwagę na szereg wątków, które pozwoliły w sumie sprecyzować kilka wniosków końcowych:

1. Do pomiaru poziomu jakości usług w transporcie wykorzystuje się kwestionariusze badawcze. Za ich pomocą można zdiagnozować m.in. poziom oczekiwań podróżnych dotyczących jakości usług. Ale tworzą się tu swoiste luki czy też sprzeczności między tym, czego pasażer chce, a tym co firma transportowa myśli na temat spełnienia jego potrzeb. Również sprzeczność ta występuje w obszarze postrzegania przez zarząd firmy oczekiwań podróżnych a specyfikacją dotyczącą tworzenia jakości usług. Zauważalne są też luki między usługą obiecaną a dostarczoną. Ta swoista transformacja percepcji w zakresie jakości usług oraz zarządzania na temat oczekiwań klientów jest dominującą umiejętnością komunikowania się.
2. Mając na uwadze określenie poziomu obsługi pasażerów przez linie lotnicze, wygenerowano sześć istotnych obszarów mających wpływ na jej jakość. Dotyczy to następujących płaszczyzn: obsługi pasażera przed odlotem, boardingu, obsługi pasażera na pokładzie statku, terminowości lotu, relacji kosztowych oraz obsługi pasażera po wykonanym locie. W każdym z tych obszarów wygenerowano od 2 do 9 szczegółowych mierników. Dobrze oddają one wpływ na postrzeganie danej jakości. Jednocześnie różnicują one firmy lotnicze, mimo tego że każda z nich w swoich działaniach chce być: wiarygodna, odpowiedzialna, bezpieczna oraz empatyczna w stosunku do swoich pasażerów<sup>15</sup>.
3. Istnieje istotne zróżnicowanie jakości świadczonych usług przez firmy lotnicze. Przede wszystkim zależy to od wielkości i zasobności finansowej firmy. Im mniejszy podmiot oraz mniej zasobny przewoźnik, tym skromniejsze usługi i standard

<sup>14</sup> E. Łagowski, A. Świdorski, *Aplikacje dla procesów w organizacji*, WAT, Warszawa 2016, s. 220.

<sup>15</sup> J. Łuczak, A. Matuszak-Flejszman, *Metody i techniki zarządzania jakością. Kompendium wiedzy*, Quality Progress, Poznań 2007, s. 345.

ich jakości. Wraz ze zwiększonym kapitałem wzrasta także jakość obsługi podróży. Również zależy to od przyjętej polityki i strategii kierownictwa firmy na postrzeganie zagadnień jakości podróży. Istotne jest określenie efektu końcowego, tj. czy ma być to poziom zadowalający (spełniający oczekiwania), czy też przekraczający oczekiwania podróżnego.

4. Istnieje kilka barier dobrego pomiaru jakości obsługi pasażerów czynionych przez linie lotnicze. Potrzeba w tym zakresie ujęcia kilkudziesięciu mierników. Niektóre z nich są łatwe do diagnozy, inne wymagają szerszej i bacznej obserwacji zarówno przez podróżnych, jak również pracowników firmy. Wskazane jest niekiedy wykonanie kilkunastu lotów, aby można było w sposób miarodajny wystawić adekwatną ocenę. Należy także dokładnie definiować i doprecyzować każde stwierdzenie zawarte w ankietach, aby zostało ono w jednakowy sposób zinterpretowane.

Podjęta w tym artykule problematyka jest obszarem wymagającym wnikliwych studiów i badań w literaturze przedmiotu na polskim rynku. Tym samym autorzy twierdzą, że może być przyczynkiem do szerszej dyskusji wśród specjalistów zarówno z zakresu socjologii, marketingu, zarządzania i jakości na płaszczyźnie lotów pasażerskich, jak również samych linii lotniczych.

## BIBLIOGRAFIA

Abdelazim T.S., Twigry S., *Level of Satisfaction of Passengers About the Quality Level of In-Flight Services Provided by Saudi Arabian Airline: Case Study Domestic Airways Between Hail-Jeddah- Riyadh*, „American Journal of Tourism Research” 2016, nr 1(5).

Eboli L., Bellizzi M.G., Mazzulla G., *A Literature Review of Studies Analysing Air Transport Service Quality from the Passengers’ Point of View*, „Promet – Traffic&Transportation” 2022, nr 2(34).

Gierczak-Korzeniowska B., *Jakość usług turystycznych w transporcie lotniczym w opinii pasażerów PLL LOT*, UR, Rzeszów 2015.

Jałowiec T., *Dylematy pomiaru jakości usług logistycznych w SR RP*, [w:] *Problematyka normalizacji jakości i kodyfikacji w aspekcie integracji z NATO i UE*, red. J. Jasińska, WAT, Warszawa 2019.

Jeelani E., Bhat M.A., *Perceived Service Quality in Airline Services: An Empirical Assessment*, „International Journal of Management, IT & Engineering” 2021, nr 8(11).

Kolman R., *Ilościowe określanie jakości*, PWE, Warszawa 1973.

Kwasiborska A., *Proces obsługi pasażerów w porcie lotniczym*, „Studia Oeconomica Posnaniensia” 2012, nr 4(7).

Lasota M., *Szkolenie i obowiązki personelu pokładowego w aspekcie potrzeb pracowników lotniczych*, [w:] *Lotnictwo w systemie obronnym państwa. Aspekty kształcenia i szkolenia kadr*, red. R. Barnik, M.T. Markiewicz, ASzWoj, Warszawa 2018.

Łagowski E., Świdorski A., *Aplikacje dla procesów w organizacji*, WAT, Warszawa 2016.

Łuczak J., Matuszak-Flejszman A., *Metody i techniki zarządzania jakością. Kompendium wiedzy*, Quality Progress, Poznań 2007.

Pracz-Długoszek M.M., *Kompetencje nietechniczne personelu obsługującego pasażerów w porcie lotniczym*, „Aviation and Security Issues” 2022, nr 1(1).

Rucińska D., *Badania rynku usług lotniczych. Istota, zakres, użyteczność, przykłady*, „Zeszyty Naukowe PTE” 2011, nr 9.

Rucińska D., *Marketingowe kształtowanie rynku usług transportowych*, UG, Gdańsk 2001.

Szkoda J., *Systemy zarządzania jakością w organizacji*, ITS, Warszawa 2012.

Zaborowski Z., *Współczesne problemy psychologii społecznej i psychologii osobowości*, Oficyna Wydawnicza „Profi”, Warszawa 1994.

Załącznik 17 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym „Ochrona międzynarodowego lotnictwa cywilnego przed Aktami Bezprawnej Ingerencji”, ICAO 2020.



## Paweł SZCZEPANIAK

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych  
 e-mail: pawel.szczepaniak@itwl.pl  
 ORCID: 0000-0001-6544-0005

## Agnieszka GUGAŁA-SZCZERBICKA

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych  
 e-mail: agnieszka.gugala-szczerbicka@itwl.pl  
 ORCID: 0009-0000-4678-2368

## Dariusz RODZIK

Wojskowa Akademia Techniczna  
 e-mail: dariusz.rodzik@wat.edu.pl  
 ORCID: 0000-0003-1697-8874

DOI: 10.55676/asi.v3i1.43

# ROLA SYSTEMÓW BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH W ZADANIACH MEDYCZNEGO ZABEZPIECZENIA POLA WALKI

THE ROLE OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS IN THE TASKS OF MILITARY  
 MEDICAL SUPPORT ON BATTLEFIELD

### Streszczenie

Celem niniejszego artykułu było wykazanie zalet i funkcjonalności realizowanej na potrzeby Sił Zbrojnych RP koncepcji użycia systemów bezzałogowych statków powietrznych (SBSP) jako dwupoziomowego bezzałogowego systemu rozpoznawczo-medycznego przeznaczonego do zdobywania i dostarczania informacji o stanie zdrowia żołnierzy poszkodowanych na polu walki, a także niesienia wstępnej pomocy medycznej. Prezentowane rozwiązanie zakłada wykorzystanie m.in. sensorów, biosensorów, RVT (ang. *Remote Video Terminal*), urządzeń audio, jak również analiz wykonywanych za pomocą zaimplementowanych algorytmów i sztucznej inteligencji. Artykuł zawiera charakterystykę systemu zabezpieczenia medycznego pola walki wraz z jego uwarunkowaniami prawnymi i kluczowymi zasadami, jak również analizę dostępnych na rynku rozwiązań konstrukcyjnych i systemowych wykorzystywanych do tego typu zastosowań operacyjnych. Na tej podstawie dokonano określenia właściwego miejsca dla zaproponowanej przez autorów koncepcji w wojskowych strukturach logistycznych.

**Słowa kluczowe:** systemy bezzałogowe, bezzałogowe statki powietrzne, zabezpieczenie medyczne, triaż, ewakuacja poszkodowanych

### Abstract

The purpose of this article is to demonstrate the advantages and functionalities of the concept implemented for the needs of the Polish Armed Forces of using unmanned aircraft systems (UAS) as a two-level unmanned reconnaissance and medical system designed to acquire and provide information about the health condition of soldiers injured on the battlefield, as well as to provide initial medical aid. The presented solution assumes the use of e.g. sensors, biosensors, RVT (Remote Video Terminal), audio devices, as well as analyzes performed using implemented algorithms and artificial intelligence. The article contains the characteristics of the battlefield medical support system along with its legal conditions and key principles, as well as an analysis of the design and system solutions available on the market used for this type of operational applications. Based on this, the appropriate place for the concept proposed by the authors was determined in military logistics structures.

**Keywords:** unmanned systems, unmanned aerial vehicles, medical support, triage, CASEVAC

## 1. WPROWADZENIE

Rosnąca dynamika i spektrum działań na współczesnym polu walki z jednoczesnym zastosowaniem wielodomenowych środków powodują m.in. liczne straty w zasobach ludzkich i materialnych, a także izolację i inne wyzwania związane z mechanizmami A2AD (ang. *Anti-Access/Area Denial*). Z dużym prawdopodobieństwem generują, na niespotykaną dotąd skalę, zwiększoną urazowość wśród żołnierzy uczestniczących w starciach zbrojnych, nierzadko o charakterze ciężkich obrażeń czy nawet śmierci, a także skutkują poważnymi ograniczeniami mobilności działań medycznych oraz niedoboru zasobów ludzkich i materiałowych. Wymusza to zatem potrzebę przygotowania odpowiedniego systemu zabezpieczenia medycznego w celu zmniejszenia skutków niepożądanych działań przeciwnika i zachowania jak najwyższego stopnia żywotności czynnika ludzkiego. Mając na uwadze powyższe, niezbędne wydaje się wykorzystanie najnowszych zdobyczy techniki i technologii<sup>1</sup> w celu zaplanowania i utworzenia specjalnych formacji medycznowojskowych, wspomaganych w działaniach przez złożone technologicznie zrobotyzowane systemy autonomiczne.

Na przestrzeni ostatnich lat podejmowane były próby wspierania systemu zabezpieczenia medycznego pola walki przez systemy bezzałogowych statków powietrznych (SBSP), poprzez zastosowanie ich w celach transportowych i diagnostycznych<sup>2</sup>, użycie do rozpoznania terenu, detekcji osób i przyspieszonej ewakuacji ofiar (np. system PR – ang. *Personel Recovery* – USA)<sup>3</sup>, jak również prowadzenie działań ratunkowych na potrzeby służb cywilnych. Powyższe próby pokazały, iż istotnym komponentem nowoczesnego i efektywnego systemu zabezpieczenia medycznego współczesnego pola walki powinny być autonomiczne systemy bezzałogowe wspierane elementami sztucznej inteligencji<sup>4</sup>.

Celem niniejszego artykułu było wykazanie zalet i funkcjonalności SBSP aplikowanych do systemu zabezpieczenia medycznego SZ RP, a także określenie ich miejsca w tym systemie na podstawie przeglądu dostępnych rozwiązań konstrukcyjnych i systemowych oraz regulacji prawnych MON z zakresu logistyki. Zaproponowana przez autorów implementacja systemu BSP jako zakładany rezultat końcowy programu MilGeoMed<sup>5</sup> może stanowić innowacyjne rozwiązanie w skali kraju. Ponadto należy podkreślić, że program MilGeoMed jest na dzień dzisiejszy realizowany w ramach współpracy wojskowych instytucji naukowych i naukowo-badawczych jako dedykowany produkt na potrzeby SZ RP.

<sup>1</sup> Zob. *Robotic and Autonomous Systems Strategy*, U.S. Army, March 2017.

<sup>2</sup> J.M. Brzezina, *Atak dronów*, Warszawa 2013, s. 24.

<sup>3</sup> N. Fisher, G.R. Gilbert, *Unmanned Systems in Support of Future Medical Operations in Dense Urban Environments*, „Small Wars Journal”, 4.02.2016.

<sup>4</sup> N. Fisher, G.R. Gilbert, *Medical Robotic and Autonomous System Technology Enablers for the Multi-Domain Battle 2030-2050*, „Small Wars Journal”, 22.07.2017.

<sup>5</sup> Zob. Dokumentacja inicjująca Projekt systemu MilGeoMed, ITWL, Warszawa 2020.

## 2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU ZABEZPIECZENIA MEDYCZNEGO POLA WALKI

Członkostwo Polski w strukturach międzynarodowych NATO (ang. *North Atlantic Treaty Organization*) implikuje potrzebę implementacji opracowanych na tym szczeblu dokumentów w SZ RP. Narodowa doktryna logistyczna<sup>6</sup>, z której wywodzi się system zabezpieczenia medycznego pola walki, stanowi emanację przepisów NATO<sup>7</sup>, co zapewnia zgodność rozwiązań krajowych z najwyższymi standardami NATO. Przyjąć należy zatem, iż określone w doktrynie narodowej<sup>8</sup> zasady funkcjonowania polskiego systemu logistyki wojsk lądowych na szczeblach taktycznym i operacyjnym zapewniają spójność w układzie narodowym i koalicyjnym.

System zabezpieczenia logistycznego ma na celu zapewnienie niezbędnego zaopatrzenia i usług właściwej jakości, dostarczanych do właściwego odbiorcy, w odpowiedniej ilości oraz – co stanowi krytyczny element dla zabezpieczenia medycznego – w nakazanym czasie.

Zabezpieczenie medyczne pola walki ma natomiast na celu utrzymanie dobrego stanu zdrowia żołnierzy zapewniające zachowanie przez nich zdolności bojowej, objęcie opieką rannych i chorych oraz ich leczenie, a także zapobieganie powstawaniu i szerzeniu się chorób. Obejmuje ono: przedsięwzięcia zdrowotnej profilaktyki leczniczej, przedsięwzięcia ewakuacyjne, sanitarno-higieniczne, przeciwepidemiczne oraz opatrywanie w materiałach medycznych<sup>9</sup>.

Podstawową zasadą zabezpieczenia medycznego, wynikającą z celów systemu zabezpieczenia logistycznego, jest rozpoczęcie leczenia poszkodowanych i chorych tak szybko, jak to jest tylko możliwe. To właśnie czas udzielania pomocy w głównej mierze wpływa na podjęcie decyzji dotyczących rodzaju i rozmieszczenia placówek medycznych, środków ewakuacji medycznej oraz urządzeń i elementów medycznych. Główną wytyczną NATO dotyczącą powiązania określonych czynności ratunkowych z czasem, w jakim pomoc medyczna powinna zostać udzielona, jest zasada 10-1-2. Na czynności te składają się przedstawione na rysunku 1 elementy.

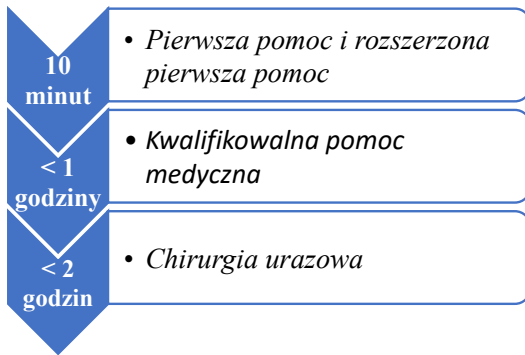
1. Pierwsza pomoc i rozszerzona pierwsza pomoc – ratujące życie czynności wykonywane na miejscu zdarzenia, mające na celu przede wszystkim tamowanie krwotoków, udrożnienie i kontrolę dróg oddechowych. Powinny one nastąpić w ciągu 10 minut od zranienia (wystąpienia urazu). Na polu walki powinny być udzielane w formie samopomocy, pomocy koleżeńskiej lub przez ratowników pola walki, a jeśli to możliwe – przez ratowników medycznych i/lub wojskowych ratowników medycznych.

<sup>6</sup> Doktryna logistyczna Wojsk Lądowych DD-4.2, DWLąd 33/2007 (dalej: DD-4.2).

<sup>7</sup> NATO Allied Joint Publication AJP 4, Allied Joint Doctrine for Logistics, Edition B, Ver. 1 and NATO Standard Land Forces Logistic Doctrine ALP-4.2, Edition B, version 1, Dec 2015. Allied Joint Publication (AJP)-4, Allied Joint Doctrine for Logistics provides a common perspective for planning and conducting multinational joint logistic support for Allied operations to support NATO commanders.

<sup>8</sup> DD-4.2, s. 109.

<sup>9</sup> Tamże, s. 71.



Rys. 1. Schemat ilustrujący podejmowane czynności ratunkowe wg zasady 10-1-2

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Zabezpieczenie medyczne Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej DD-4.10 (A), rozdz. 2, s. 20 [dalej: DD-4.10 (A)].

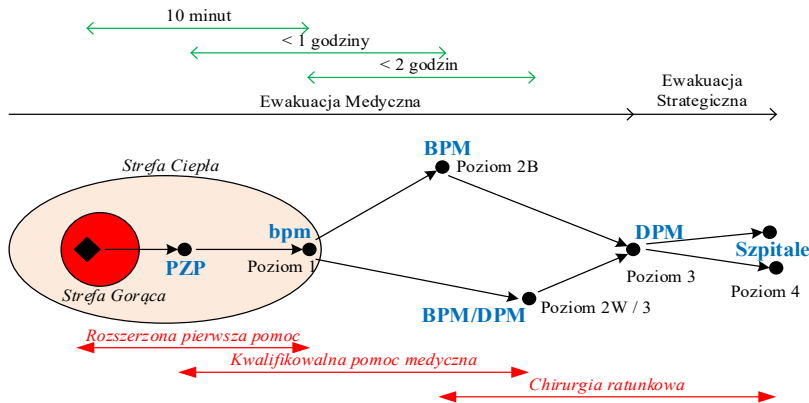
2. Kwalifikowalna pomoc medyczna – czynności ratunkowe kwalifikowanej pomocy medycznej podejmowane przez personel medyczny w ciągu 1 godziny od zranienia (wystąpienia urazu). Może obejmować czynności rozszerzonej i kwalifikowanej pierwszej pomocy, elementy reanimacji urazowej oraz pierwszej pomocy lekarskiej (chirurgicznej). Podczas jej udzielania należy wdrożyć takie procedury, które pozwolą na opanowanie niekorzystnych następstw urazu (takich jak wstrząs), zapobiegną dalszej utracie krwi, doprowadzą do stabilizacji podstawowych funkcji życiowych i spowodują lepsze dotlenienie tkanek organizmu. W pierwszej kolejności powinna ona zostać zapewniona przez ratowników medycznych i/lub wojskowych ratowników medycznych, a później przez pielęgniarki, lekarzy i lekarzy specjalistów.
3. Chirurgia urazowa – czynności chirurgii ratunkowej w zależności od specyfiki i indywidualnych potrzeb, których celem jest podjęcie odpowiednich działań w ciągu 1 godziny, lecz nie później niż 2 godzin od zranienia (wystąpienia urazu). Obejmuje zabiegi reanimacji urazowej i chirurgii ratunkowej (I grupa zabiegów chirurgicznych), a ich niewykonanie zagraża poszkodowanemu utratą życia w czasie dalszej ewakuacji.

Zasada 10-1-2 podkreśla wagę pierwszych 10 minut dla ratowania życia, które często są nazywane „platynowymi”. Wynika z niej obowiązek szkolenia żołnierzy celem nabycia umiejętności udzielania pierwszej pomocy, szczególnie w zakresie tamowania krwotoków i udrażniania górnych dróg oddechowych. Nakazuje również szybkie wdrożenie czynności ratowniczych przez ratowników pola walki, ratowników medycznych oraz wojskowych ratowników medycznych, co wiąże się z koniecznością kierowania personelu medycznego wraz z niezbędnym wyposażeniem w miejsce zdarzenia lub bezpośredniego udziału w ugrupowaniu bojowym. Wspomniana zasada 10-1-2 zawiera w sobie dotychczas funkcjonujące pojęcie „złotej godziny”, która kładzie nacisk na udzielenie pomocy specjalistycznej w ciągu 60 minut od zdarzenia i uzależnia od niej wynik pozytywny podjętych czynności.

Mając na względzie wskazane wyżej zasady/aspekty, w procesie podejmowania decyzji w przedmiocie zabezpieczenia medycznego pola walki należy w sposób priorytetowy traktować kwestię zapewnienia właściwej pomocy medycznej w odpowiednim czasie wynikającą ze standardu 10-1-2.

W wojskach lądowych urządzenia zabezpieczenia logistycznego są dzielone na cztery poziomy zabezpieczenia medycznego, tzw. Role w związku z ich możliwościami. Minimum możliwości każdego z nich to realizacja zabiegów medycznych ze wskazań życiowych oraz ewakuacja do wyższego poziomu (rys. 2)<sup>10</sup>:

1. Role 1 (poziom 1) – jest odpowiednikiem opieki medycznej na poziomie batalionu i zapewnia podstawową opiekę zdrowotną, kwalifikowaną pomoc medyczną, segregację, reanimację i stabilizację funkcji życiowych.
2. Role 2 (poziom 2) – rutynowo realizowany na poziomie oddziału (brygadowy punkt opatrywania – BPO, lub odpowiednik). Rozwinięcie urządzeń tego poziomu jest uzależnione od realizowanego zadania.
3. Role 3 (poziom 3) – poziom ekwiwalentny do pierwszego poziomu hospitalizacji (dywizyjny punkt opatrunkowy – DPO) – odpowiednik lub szpital polowy (SzP).
4. Role 4 (poziom 4) – zabezpieczenie medyczne jest realizowane w obszarze poziomu strategicznego.



Rys. 2. Wzajemne relacje pomiędzy poziomami opieki medycznej

Źródło: opracowanie własne na podstawie: DD-4.10 (A), s. 41.

Możliwości, zakres i rodzaj pomocy medycznej powinny być dostosowane do szczebla organizacyjnego wojsk. W zależności od poziomu organizacyjnego, na którym prowadzi się zabezpieczenie medyczne, struktura organizacyjna zabezpieczenia medycznego opiera się na organizacji następujących urządzeń i elementów medycznych:

- punktu zbiórki poszkodowanych (PZP) bezpośrednio na polu walki;
- batalionowego punktu medycznego (bpm) na szczeblu pododdziału oraz oddziału;

<sup>10</sup> DD-4.10 (A), rozdz. 3, s. 41–47.

- brygadowego punktu medycznego (BPM) na szczeblu oddziału (brygady, pułku, równorzędnych);
- dywizyjnego punktu medycznego (DPM) na szczeblu związku taktycznego (dywizji, równorzędnych) – odpowiednik szpitala polowego;
- szpitali stacjonarnych (SZPS) (wojskowych i cywilnych) w tylnej strefie działań.

Poziomy 1–2 są rozwijane przez organiczną służbę zdrowia pododdziałów i oddziałów oraz grupy zabezpieczenia medycznego (GZM), Poziom 2 przez GZM, natomiast Poziom 3 przez szpitale polowe (SZP), a także poprzez wykorzystanie istniejącej infrastruktury medycznej obwodów profilaktyczno-leczniczych (stacjonarne placówki medyczne cywilnej i wojskowej służby zdrowia – patrz tabela 1).

Tabela 1. Punkty medyczne w SZ RP

Skrót	Wyjaśnienie	Poziom opieki medycznej	Pochodzenie
PZP	punkt zbiórki poszkodowanych	Pole walki	organiczny
bpm	batalionowy punkt medyczny	Poziom 1	organiczny lub rozwijany przez zespół zabezpieczenia medycznego
BPM	brygadowy punkt medyczny	Poziom 2 – podstawowy Poziom 2 – wzmocniony	organiczny lub rozwijany przez grupę zabezpieczenia medycznego
DPM	dywizyjny punkt medyczny	Poziom 3	rozwijany przez jednostki wzmocnienia medycznego, szpital polowy
SZS	szpital stacjonarny cywilny lub wojskowy	Poziom 3/4	szpitale obwody profilaktyczno-lecznicze

Źródło: DD-4.10 (A), s. 121.

Model zabezpieczenia medycznego SZ RP umiejscowiony jest w doktrynie DD-4.10(A) w załączniku E<sup>11</sup>. Graficzną ilustrację organizacji systemu medycznego z podziałem na jednostki mobilne i odpowiadające im elementy logistyczne dla wszystkich rodzajów sił zbrojnych z przypisaniem odpowiedniego poziomu pomocy medycznej przedstawiono na rysunku 3. Ze schematu tego wynika również klasyfikacja ewakuacji medycznej na: wysuniętą, taktyczną i strategiczną. Takie zobrazowanie struktury systemu medycznego umożliwia większe zrozumienie idei jego funkcjonowania, a także daje sposobność powiązania poszczególnych elementów ze sobą i wykazania wspólnych zależności pomiędzy poszczególnymi poziomami.

Podkreślić należy, iż za zabezpieczenie medyczne i ochronę zdrowia wojsk odpowiada dowódca, który realizuje cele związane z zabezpieczeniem medycznym poprzez podległy mu personel medyczny. Natomiast w działaniach bojowych zasadniczym zadaniem wojskowej służby zdrowia są przedsięwzięcia leczniczo-ewakuacyjne i profilaktyczne.

<sup>11</sup> Tamże, s. 233.

Poziom taktyczny				Poziom strategiczny
Pole walki	bpm	BPM	DPM	Szpital stacjonarny
<b>Wojska Lądowe</b>				
Grupa Medyczna (GM) (etatowa)	Zespół Ewakuacji Med. (ZEM) (etatowy)	Grupa Zabezpieczenia Med. (GZM) (etatowa)	Wojskowy szpital polowy	Szpitale wojskowe i cywilne
GM wydzielona z ZEM batalionu	Zespół Zabezpieczenia Med. (ZZMed.) wydzielony z GZM brygady ZZMed. (etatowy)	Moduły szpitala polowego	Jednostka wzmocnienia medycznego	
<b>Sily Powietrzne</b>				Instytut Medycyny Lotniczej Szpital MW
<b>Marynarka Wojenna</b>				
<b>Wojska Specjalne</b>				
	Zespoły chirurgiczne			
	Zespoły ewakuacyjne			
Wysunięta ewakuacja medyczna	Taktyczna ewakuacja medyczna			
Poziom 1		Poziom 2	Poziom 3	Poziom 3 lub 4

Rys. 3. Model zabezpieczenia medycznego SZ RP

Źródło: DD-4.10 (A), s. 233.

Zgodnie z modelem zabezpieczenia medycznego SZ RP (rys. 3) zakres pomocy medycznej udzielanej na poziomie batalionu podzielony został następująco:

1. Poziom pola walki realizowany jest w formie samopomocy, pomocy koleżeńskiej, pomocy udzielanej przez ratowników pola walki, ratowników medycznych i/lub wojskowych ratowników medycznych. Może obejmować czynności pierwszej pomocy oraz kwalifikowanej pomocy medycznej. Do udzielania pomocy wykorzystuje się przede wszystkim indywidualne wyposażenie medyczne poszkodowanego, a następnie materiały medyczne i sprzęt medyczny udzielającego pomocy. Po udzieleniu pierwszej pomocy poszkodowanych gromadzi się w punkcie zbiórki poszkodowanych (PZP) (często także określane jako kompanijny punkt opatrunkowy lub kompanijne gniazdo rannych), skąd przeprowadza się ewakuację medyczną. PZP organizowany jest przez ratowników pola walki, ratowników medycznych i/lub wojskowych ratowników medycznych. W przypadku braku możliwości przeprowadzenia szybkiej ewakuacji z miejsca zdarzenia pomoc medyczna pola walki powinna być realizowana przez zespoły ewakuacji medycznej wojskowych ratowników medycznych wyposażonych w wozy ewakuacji medycznej (WEM). Alternatywnie pomoc medyczną organizuje się w oparciu o zdolne do szybkiego przerzutu zespoły medyczne, posiadające w składzie wojskowego ratownika medycznego, udzielające kwalifikowanej pomocy medycznej w miejscu zdarzenia i podejmujące poszkodowanego do odpowiedniego poziomu opieki medycznej.
2. Poziom 1 (bpm) zapewnia kwalifikowaną pomoc medyczną, udzielaną przez wojskowych ratowników medycznych, a także – po wzmocnieniu przez GZM brygady – pierwszą pomoc lekarską.

W toku działań bojowych pododdziały służby zdrowia rozwijają urządzenia i elementy medyczne (punkty medyczne) w określonych odległościach od walczących wojsk w celu udzielenia niezbędnej pomocy medycznej w odpowiednim czasie. Odległość poszczególnych urządzeń i elementów pomocy medycznej zależy od konkretnych warunków pola walki. Zasadniczym kryterium określenia odległości rozwiniętego urządzenia i elementu medycznego od walczących wojsk jest czas potrzebny na dostarczenie poszkodowanych do tego urządzenia/elementu. W przypadku skażenia należy dodatkowo wyznaczyć w strefie graniczącej z polem walki rejon zabiegów sanitarnych, na którym dokonuje się wstępnych zabiegów odkażających, zanim poszkodowani zostaną przekazani do punktu opatrunkowego, gdzie wdrażane są niezbędne procedury ratunkowe przed spodziewaną ewakuacją medyczną na dalsze etapy leczenia<sup>12</sup>.

Aspekt transportu poszkodowanych z pola walki jest ściśle skorelowany z zagadnieniem segregacji medycznej (*triage*), tj. czynności zmierzających do zapewnienia właściwego dostępu do opieki medycznej poprzez ustalenie ciężkości obrażeń oraz kolejności ewakuacji, podyktowanej stanem klinicznym. W trakcie segregacji poszkodowanym nadawane są wskazane poniżej priorytety uwzględniające ciężkość obrażeń oraz pierwszeństwo dla udzielenia pomocy i ewakuacji (tabela 2):

- T1 (priorytet natychmiastowy – czerwony). Poszkodowani z obrażeniami zagrażającymi życiu, którzy bez udzielonej pomocy byliby skazani na pewną śmierć. Grupa ta charakteryzuje się wystąpieniem masywnych krwotoków, upośledzeniem oddychania i krążenia, różnego stopnia zaburzeń świadomości wymagających zastosowania technik wspomagania podstawowych czynności życiowych. Poszkodowani wymagają natychmiastowej ewakuacji.
- T2 (priorytet nagły – żółty). Poszkodowani, którzy doznali obrażeń potencjalnie śmiertelnych lub ich życie zostałoby zagrożone w przypadku opóźnień w udzieleniu pomocy medycznej. Poszkodowani ci zwykle wymagają ewakuacji w ciągu 2 godzin. Powinni oni otrzymać leczenie podtrzymujące, np. poprzez podawanie płynów dożylnych, unieruchomienie, cewnikowanie, podanie antybiotyków itp.
- T3 (priorytet odroczony – zielony). Poszkodowani, których obrażenia nie stanowią bezpośredniego zagrożenia dla życia lub opóźnienia w udzielaniu pomocy takiego zagrożenia nie spowodują. Ewakuacja dla tej grupy może być przeprowadzona, gdy jest to możliwe. Priorytet obejmuje pacjentów wymagających minimalnego leczenia. Są oni zdolni do udzielenia samopomocy i pomocy koleżeńskiej lub wymagają pomocy mniej wykwalifikowanego personelu.
- T4 (priorytet wyczekujący – niebieski). Poszkodowani, których obrażenia wskazują na duże prawdopodobieństwo zgonu nawet przy zastosowaniu optymalnego leczenia, a ich leczenie jest czasochłonne i skomplikowane przy małych szansach na przeżycie. Zaleca się zastosowanie minimalnych procedur leczniczych przynoszących ulgę w cierpieniach. Priorytet ten powinien być używany jedynie w sytuacjach strat masowych (ang. *Mass Casualty* – MASCAL), dochodzi wtedy bowiem do dużej dysproporcji między liczbą strat a miejscowymi możliwościami medycznymi podejmowanymi w celu ich zaopatrzenia. Konieczne jest zatem

<sup>12</sup> Tamże, s. 124.



wprowadzenie odmiennego sposobu postępowania z poszkodowanymi, który zakłada z reguły przedkładanie dobra największej liczby osób nad indywidualne potrzeby każdej z nich<sup>13</sup>.

Tabela 2. Priorytety segregacji medycznej

Priorytet	Kolor i znaczenie	Konsekwencje	Uwagi
T1	Natychmiastowy	Wymaga natychmiastowego wdrożenia procedur ratujących życie i natychmiastowej ewakuacji.	
T2	Nagły	Wymaga szybkiego wdrożenia procedur medycznych. Ewakuacja powinna odbyć się nie później niż w ciągu 2 godzin.	
T3	Odroczony	Wymaga ewakuacji z powodu stanu zdrowia i/lub czynników operacyjnych. Ewakuacja powinna być przeprowadzona, kiedy jest to możliwe.	
T4	Wyczekujący	Wymaga wdrożenia procedur leczniczych przynoszących ulgę w cierpieniu. Stosowany, gdy zwiększony napływ poszkodowanych uniemożliwia wykorzystanie posiadanych zdolności zabezpieczenia medycznego.	Używany wyłącznie w sytuacjach MASCAL

Źródło: DD-4.10 (A), s. 55.

### 3. ANALIZA STOSOWANYCH ROZWIĄZAŃ TECHNICZNYCH

Intensywny rozwój technologii autonomicznych systemów bezzałogowych wpłynął na wzrost różnorodności ich zastosowania w zakresie zabezpieczenia medycznego pola walki. Spośród najbardziej pożądanych kierunków rozwoju w tym zakresie można wyróżnić m.in. następujące zastosowania systemów bezzałogowych:

- wykrywanie i identyfikacja zagrożeń dla zdrowia żołnierzy;
- uproszczona diagnostyka, ocena stanu zdrowia i segregacja poszkodowanych żołnierzy;
- rozpoznanie sytuacyjne i mapowanie terenu w celu odzyskania ofiar z pola walki;
- zaopatrzenie medyczne jednostek działających w trudnym terenie i środowisku;
- ewakuacja poszkodowanych;
- zabezpieczenie potrzeb komunikacji i wymiany danych w czasie rzeczywistym, związanych z ograniczoną przepustowością, opóźnieniami czy utratą sygnału w środowisku pola walki.

Rozwój technologii w zakresie systemów bezzałogowych ma swoje odbicie również w zastosowaniach cywilnych. W sferze lotnictwa cywilnego mamy do czynienia z dynamicznym wzrostem liczby operatorów i pilotów BSP zarejestrowanych w systemie Urzędu Lotnictwa Cywilnego<sup>14</sup>. Popularne rodzaje platform powietrznych, takich jak stałopłaty (A), wielowirnikowce (MR) czy konstrukcje typu VTOL (ang. *Vertical Take-off and Landing*), są szeroko stosowane do celów detekcji, czy też zobrazowania

<sup>13</sup> Tamże, s. 48–49.

<sup>14</sup> [www.drony.ulc.gov.pl](http://www.drony.ulc.gov.pl) [dostęp: 6.09.2023].

za pomocą szerokiej gamy sensorów optoelektronicznych m.in. w ratownictwie, rolnictwie i leśnictwie, a także w branży budowlanej. Coraz częstszym przeznaczeniem SBSP jest ich użycie do celów transportowych (*cargo*<sup>15</sup>, transport medyczny – krew, narządy do przeszczepów<sup>16,17</sup>, powietrzne taksówki).

W działaniach militarnych natomiast w zakresie SAR (ang. *Search and Rescue*) i CSAR (ang. *Combat Search and Rescue*) SBSP mają łączyć w sobie zadania rozpoznania z zadaniami transportowymi w ramach udzielania pomocy medycznej.

W zakresie realizacji przez SBSP zadań CASEVAC (ang. *Casualty Evacuation*) standardy NATO sprecyzowano w sposób ogólny w dokumencie TR-HFM-184<sup>18</sup>. Obejmują one m.in.:

- możliwość pionowego startu i lądowania (VTOL);
- ładowność 1000 funtów (bez czujników i paliwa);
- przewóz wewnątrz kadłuba przy wykorzystaniu dodatkowych elementów zabezpieczających (pasy, pojemniki itp.).

Osiągnięcie przez systemy bezzałogowe zdolności w zabezpieczeniu zadań medycznych na polu walki wymagało opracowania szeregu unikalnych rozwiązań technicznych oraz mobilnych platform powietrznych i lądowych, nierzadko także hybrydowych – łączących funkcje powietrzno-lądowe w zależności od zmieniających się zagrożeń i potrzeb w przestrzeni bojowej. Przykładem takich wysiłków są wyniki dwóch programów badawczych DARPA: *Transtormer* (TX) oraz *Aerial Reconfigurable Embedded System* (ARES)<sup>19</sup>. Dotychczas powstało wiele różnego rodzaju udanych projektów BSP, które łączą w sobie zadania rozpoznania i transportu medycznego – są to m.in.:

1. *Unmanned Little Bird* (ULB) – pierwszy lot bezzałogowy odbył się 30 czerwca 2006 r. ULB zachował kokpit wersji załogowej oraz fotele pierwszego i drugiego pilota, które mogą być używane do przewozu osób poszkodowanych. Dodatkowo kokpit został dostosowany do przewozu jednej lub dwóch osób ewakuowanych. Korpus Piechoty Morskiej Stanów Zjednoczonych po raz pierwszy użył ULB podczas testowania koncepcji bezzałogowego CASEVAC w czerwcu 2009 r.<sup>20</sup>
2. K-MAX – pierwszy lot bezzałogowy odbył się w kwietniu 2008 r. Korpus Piechoty Morskiej Stanów Zjednoczonych użył K-MAX w Afganistanie podczas operacji „Enduring Freedom” do wykonywania testowych dostaw ładunków lotniczych w trybie bezzałogowym w warunkach realnych działań bojowych. K-MAX UAV zachował kokpit i fotel pilota z wersji załogowej, które mogą być używane do

<sup>15</sup> <https://geekweek.interia.pl/raport-wojna-przyszlosci/news-pierwszy-bezzałogowy-smiglowiec-wzbil-sie-w-powietrze,nId,5198141> [dostęp: 6.09.2023].

<sup>16</sup> <https://www.swiatdronow.pl/labair-pierwszy-transport-medyczny-dronem-w-polsce-dla-alab-laboratoria> [dostęp: 6.09.2023].

<sup>17</sup> *Army Eyes Dual-Rotor Drone for Casualty-Evacuation*, Military.com [dostęp: 6.09.2023].

<sup>18</sup> *Safe Ride Standards for Casualty Evacuation Using Unmanned Aerial Vehicles*, North Atlantic Treaty Organization, TR-HFM-184, December 2012.

<sup>19</sup> DARPA, *Aerial Reconfigurable Embedded System (ARES)*, <http://www.darpa.mil/program/aerial-reconfigurable-embedded-system> [dostęp: 6.09.2023].

<sup>20</sup> *Safe Ride Standards...*, dz. cyt., s. 2–3.

przewozu zaopatrzenia lub ofiar. Dodatkowo kokpit zmodyfikowano tak, aby pomieścić jednego lub dwóch ewakuowanych<sup>21</sup>.

3. FIRE-X (MQ-8C Fire Scout) – to bezzałogowy śmigłowiec autonomicznego startu i lądowania, opracowany dla Marynarki Stanów Zjednoczonych przez Northrop Grumman. Pierwotnie był przeznaczony do bezzałogowego transportu ładunków, jednak docelowo wyposażony w sensory radiolokacyjne w 2019 r. osiągnął gotowość do służby jako jednostka dostarczająca danych z rozpoznania sytuacji i namierzania obiektów<sup>22</sup>.
4. *Black Knight Transformer* – powstały w ramach programu „Transformer”<sup>23</sup>. Jest to wielosilnikowy wiropłat czerpiący inspirację z małych elektrycznych „multi-kopterów”. Jednak w przeciwieństwie do małych wersji elektrycznych Black Knight jest pełnowymiarowym statkiem powietrznym ze znaczną ładownością i zasięgiem. Pojazd posiada również w pełni niezależny naziemny układ napędowy, który zapewnia mu możliwości jazdy w terenie, dzięki czemu może dotrzeć w dowolne miejsce, niezależnie od tego, czy jest dostępna odpowiednia strefa lądowania. Projekt Black Knight Transformer jest rozwijany od 2010 r. Prototyp „Mini-Knighta” o wadze 2000 ft został oblatany w czerwcu 2012 r. Operacyjna wersja koncepcyjna tej platformy może przewozić modułowe zasobniki ładunkowe na krótkich dystansach. Jest to pierwszy na świecie pojazd do pionowego startu i lądowania na drogach. Ta możliwość zapewniła mu nowy zestaw zadań, których wcześniej nie można było wykonać. Jako platforma ewakuacyjna dla ofiar i rannych pojazd może wylądować w bezpiecznej strefie lądowania z dala od ognia wroga, a następnie podjechać do rannego żołnierza, aby nie trzeba go było nosić, zmniejszając zagrożenie dla innych żołnierzy. W przypadku misji z zaopatrzeniem pojazd może wylądować w bezpiecznej strefie lądowania i podjechać do miejsca docelowego. Zdolność do jazdy jest modułowa i można ją usunąć, aby zapewnić znacznie większą ładowność. Alternatywny naziemny układ napędowy można zastąpić płozami helikoptera lub kadłubem łodzi w celu zwiększenia możliwości misji. Obecnie trwają prace nad demonstratorem o wadze 4400 funtów z możliwością lotu VTOL i możliwością jazdy naziemnej.
5. *Aerial Reconfigurable Embedded System (ARES)*<sup>24</sup> – był koncepcją bezzałogowego modułu lotu VTOL, który może transportować różne ładunki. Rozwój koncepcji rozpoczął się jeszcze w ramach programu „Transformer” w 2009 r. jako niezależny od warunków terenowych system transportowy, skoncentrowany na pojeździe naziemnym, który można było skonfigurować jako pojazd powietrzny VTOL i przewozić czterech żołnierzy. Podstawowa funkcja ARES była taka sama jak TX, polegała na wykorzystaniu lotu do unikania naziemnych zagrożeń transportowych, takich jak zasadzki i IED dla jednostek, które nie mają helikopterów do tego typu misji. Miał być zasilany dwoma przechyłanymi wirnikami

<sup>21</sup> Tamże, s. 2–4.

<sup>22</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Northrop\\_Grumman\\_MQ-8C\\_Fire\\_Scout](https://en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_MQ-8C_Fire_Scout) [dostęp: 6.09.2023].

<sup>23</sup> *Black Knight Transformer - Modular, Roadable Casualty Evacuation and Cargo Resupply Aircraft*, Advanced Tactics, <https://www.advancedtacticsinc.com/technology/black-knight/> [dostęp: 6.09.2023].

<sup>24</sup> Zob. <http://www.darpa.mil/program/aerial-reconfigurable-embedded-system> [dostęp: 6.09.2023].




kanałowymi i mieć własny system zasilania, cyfrowe sterowanie lotem oraz zdalne interfejsy dowodzenia i kontroli. Moduł lotu miałby różne odłączane moduły misji do określonych celów, w tym dostarczania ładunku, CASEVAC i ISR. Moduł może przenosić do 3000 ft (1400 kg) ładunku.

6. AirMule – został specjalnie zaprojektowany do misji logistycznych i medycznych (tj. zaopatrzenia i MEDEVAC). Pierwszy lot AirMule odbył się 30 grudnia 2015 r. na lotnisku Megiddo w północnym Izraelu. Jest to bezzałogowy samolot transportowy pionowego startu i lądowania, którego wirniki są ukryte wewnątrz kadłuba. Konstrukcja potrafi przenieść ładunek o masie do 500 kg na odległość do 50 km w ciągu 1 godziny. Może także zabrać na pokład 2 osoby ranne. Producent zakłada, że maszyna ważąca nieco ponad 770 kg zabierze na pokład 635 kg ładunku. Samolot zasilany jest przez silnik turbodrzutowy Turbomeca Ariel 2 o mocy 940 KM i rozwija prędkość 180 km/h na wysokości do 3650 m, a jego masa wynosi około 1 tony. Samolot ma zostać wykorzystany do ewakuacji rannych z pola walki oraz transportu amunicji i wyposażenia. Będzie w stanie lądować tam, gdzie nie poradzi sobie ani śmigłowiec, ani samolot. Najbardziej unikatowe w AirMule są wbudowane dwa zdalnie sterowane ramiona, którymi pilot-operator może operować na odległość, mając jedynie podgląd z kamery pokładowej. To oznacza, że prócz przewożenia rannych, ładunku, robienia dokumentacji fotograficznej AirMule potrafi z użyciem zdalnie sterowanych wbudowanych ramion wykonywać różne czynności w miejscach, w które nikt nie posłałby żołnierzy czy cywilów, np. po wybuchu elektrowni jądrowej czy w warunkach skażenia chemicznego. AirMule będą wykorzystywane także w akcjach poszukiwawczych i ratowniczych, w misjach podwyższonego ryzyka w miejscach niedostępnych lub zbyt niebezpiecznych dla śmigłowców. Przykładem takich misji może być ewakuacja ludzi z wyższych kondygnacji płonących budynków, dostarczanie zaopatrzenia oraz odzyskanie i podjęcie żołnierzy w warunkach gęstej zabudowy lub roślinności. AirMule został zaprojektowany jako platforma ewakuacji medycznej CASEVAC, MEDEVAC oraz CSAR.

Specyfikacje wyżej omówionych pojazdów przedstawiono w tabeli 3. Warto zauważyć, że z wszystkich BSP VTOL opisanych w tym zestawieniu, tylko jeden – Air Mule został zaprojektowany jednocześnie do zadań logistycznych i medycznych (tj. zaopatrzenia i MEDEVAC).

Zaprezentowane poniżej systemy bezzałogowe oraz ich zastosowanie stanowią pozytywne prognozy na przyszłość. Rozwiązania te mogą w znacznym stopniu wspomóc krytyczne obszary zabezpieczenia medycznego pola walki. Mocną stroną SBSP jest również kwestia bezpieczeństwa, np. wskaźnik wypadków systemu Predator w USA spadł do 7,5 wypadków na 100 000 godzin lotu, co jest porównywalne do wskaźnika wypadków F-16. Prawie 1/3 amerykańskich samolotów wojskowych jest obecnie bezzałogowych (31%) i oczekuje się, że trend ten utrzyma się w najbliższej przyszłości. Większość z tych bezzałogowych statków powietrznych to stałopłaty, liczba wiroplątów lub VTOL również wzrasta wraz z poprawą technologii napędu.

Tabela 3. Zestawienie parametrów analizowanych rozwiązań BSP

	Unmanned Little Bird	K-MAX	MQ-8C Fire Scout	Black Knight Transformer	ARES	AirMule
Sylwetka						
Producent	Boeing	Kaman Aircraft	Northrop Grumman/Bell Helicopter	Advanced Tactics	AAI Corp.	Tactical Robotics LTD.
Pochodzenie	USA	USA	USA	USA	USA	Izrael
Ładowność	1200 lb	6855 lb	3000 lb	4400 lb	1000 lb	1100 lb
Zasięg	260 NM	267 NM	530 NM	–	250 NM	27 NM
Prędkość	119 KTS	80 KTS	133 KTS	42 KTS	130 KTS	97 KTS
Pułap	15 000 ft	29 000 ft	>20 000 ft	<10 000 ft	10 000 ft	12 000 ft
Średnica wirnika	26 ft 4 in	48 ft 3 in	35 ft	–	50 ft	5 ft 11 in
Przewóz wewnętrzny	możliwy po modyfikacji kabiny	możliwy po modyfikacji kabiny	1–4 osób	–	1–4 osób / 1–3 osób i 1–2 rannych	–
Status	w służbie	w służbie	prototyp	prototyp	prototyp	prototyp

Źródło: opracowanie własne.

Mapa drogowa US Army dla SBSP przewiduje, że po 2020 r. 25% wszystkich misji transportowych będzie obsługiwana przez bezzałogowe platformy wielowirnikowe. Po 2025 r. powinna zostać sfinalizowana integracja technologii opcjonalnie pilotowanych pojazdów (OPV) we wszystkich platformach wielowirnikowych w US Army. Dla takiego wykorzystania SBSP występują realne wyzwania technologiczne i operacyjne, które obejmują m.in. misję w zróżnicowanym terenie, omijanie przeszkód, wytrzymałość konstrukcji, łączność, sterowanie i kontrolę oraz nawigację, kontrolę przestrzeni powietrznej i koordynację. Zakłada się, że postęp naukowy i technologiczny wytworzy w niedalekiej przyszłości inteligentne algorytmy, które będą wspierać operatora poprzez automatyzację działań oraz w podejmowaniu decyzji. Ewolucja bezzałogowych statków powietrznych z wiroplątami oznacza, że obecnie łamią one ograniczenia ich załogowych odpowiedników, zapewniając taktyczne przewagi i elastyczność zarówno na lądzie, jak i na morzu. Potencjalnie otwiera to drogę do ewakuacji ofiar za pomocą SBSP.

#### 4. KONCEPCJA DZIAŁANIA I SCENARIUSZE UŻYCIA SYSTEMU MILGEOMED

System MilGeoMed to nowoczesna propozycja Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych i Wojskowej Akademii Technicznej, opracowana we współpracy z Wojskowym Instytutem Medycznym oraz podmiotem prywatnym, stanowiąca odpowiedź na zapotrzebowanie armii na SBSP do realizacji zadań rozpoznania medycznego, jak również ewakuacji na szczeblu taktycznym.

W projekcie założono, że centralną częścią systemu MilGeoMed będzie mobilne centrum zarządzania i analiz (MCZA), które powinno być częścią stanowiska dowodzenia (SD) na szczeblu batalionu oraz dodatkowo być wpięte w batalionowy system rozpoznania. Dowódcą MCZA powinien być dowódca batalionowego zespołu ewakuacji medycznej – lekarz, wspierany w zakresie działalności rozpoznawczej przez oficerów sekcji rozpoznania (S-2) batalionu. Z założenia system MilGeoMed będzie używany na polu walki zanim jeszcze będą mogły rozpocząć działania zespoły ratownicze. Podzielony jest na dwa poziomy komponentu powietrznego, który stanowić będzie pięć BSP o różnym przeznaczeniu (oznaczonych odpowiednio: 1A, 1B, 2A, 2B, 2C) oraz komponent naziemny, w którego skład wchodzi MCZA i bezzałogowa platforma do podejmowania i ewakuacji rannych.

System rozpoznania batalionu będzie zasilany danymi zbieranymi przez BSP 1B, który będzie aktualizował mapę rejonu działań i posłuży jako podkład mapowy do opracowywania kolejnych warstw tematycznych (GIS). Na podstawie zebranych danych za pomocą BSP 1B sekcja S-2 batalionu uzyska wiedzę w zakresie skażenia terenu, jego ukształtowania, pokrycia roślinnością, jego przejezdności oraz aktualne i dokładne zobrazowania w postaci ortofotomap. Materiały te mogą uzupełniać informację rozpoznawczą o przeciwniku, jego rozmieszczeniu, liczebności oraz posiadanym uzbrojeniu i rozbudowie inżynieryjnej. Głównym wynikiem użycia BSP 1B będzie mapa z rozmieszczeniem rannych i poszkodowanych, która pozwoli na zaplanowanie misji ratowniczych z użyciem BSP poziomu 2 (tj. 2A, 2B, 2C) według zaprogramowanego algorytmu. Ponadto założono, że BSP 1A będzie dostarczał informacji obrazowej z powietrza w czasie zbliżonym do rzeczywistego, który może być wykorzystany do kierowania własnymi wojskami oraz poprawy świadomości sytuacyjnej dowódców na wszystkich szczeblach dowodzenia (tj. batalion, kompania, pluton, drużyna) poprzez wykorzystanie urządzeń typu *Remote Video Terminal* (RVT). Dodatkowo system BSP 1A będzie pełnił rolę huba komunikacyjnego do koordynacji użycia pozostałych systemów BSP poziomu 2. Może on wydatnie przyczynić się do poprawy łączności dowodzenia z pododdziałami batalionu w terenie górskim za pomocą retranslacji sygnałów radiowych jako tzw. latająca antena. W MCZA na stanowiskach pracy ze specjalistycznym oprogramowaniem do zarządzania i prowadzenia akcji ratunkowej powinni pracować dowódcy Grup Medycznych – ratownicy medyczni, którzy będą nadzorować podsystem integrujący zbierane dane z systemów BSP poziomu 2, które będą nanoszone na warstwę systemu GIS w postaci tzw. „Inteligentnej Mapy Życia”, integrującej wszystkie dane z pomiarów sensorami, biosensorami i na podstawie analiz (przetwarzania zebranych danych według zaimplementowanych algorytmów i sztucznej inteligencji) prezentowała aktualny stan rannych żołnierzy na polu walki wraz z propozycją segregacji. Dodatkowo połączenie poszczególnych warstw GIS pozwoli określić nie tylko położenie rannych (współrzędne), ale także wytyczyć najdogodniejsze trasy dojazdu i transportu poszkodowanych do batalionowego punktu medycznego. Dowódcy Grup Medycznych z wykorzystaniem systemu MilGeoMed będą mogli koordynować działania natychmiastowej ewakuacji medycznej za pomocą lądowych bezzałogowych platform ewakuacji poszkodowanych (PWE) oraz

zarządzać udzielaniem pomocy medycznej z wykorzystaniem BSP poziomu 2 (w zawisie lub z lądowaniem w pobliżu rannego), które będą miały możliwość, w zależności od potrzeb, transportu materiałów lub urządzeń medycznych. Ponadto, będą mogli z wykorzystaniem urządzeń audio przenoszonych przez BSP udzielać konsultacji głosowych pomocnych podczas samoratownictwa lub udzielania pomocy medycznej przez kolegów poszkodowanego.

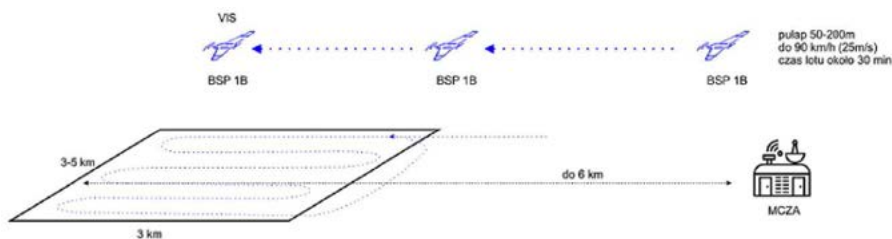
System MilGeoMed w sposób ciągły będzie zbierał i aktualizował dane na „Inteligentnej Mapie Życia” i wspomagał proces segregacji rannych, wypracowywał decyzje w zakresie kolejności ewakuacji rannych oraz wysyłanych sił i środków bezzałogowych do udzielania pomocy medycznej na polu walki. Po zakończeniu działań bojowych lub w trakcie przerw w działaniach dzięki funkcji automatycznego przesyłania danych na urządzenia mobilne ratowników medycznych, będzie można przyspieszyć udzielanie pomocy medycznej poszkodowanym oraz usprawnić ewakuację według przeprowadzonej segregacji.

W opisanym powyżej działaniu systemu MilGeoMed można wyróżnić cztery etapy użycia systemów bezzałogowych, tj.:

- ogólne rozpoznanie sytuacji taktycznej;
- rozpoznanie specjalistyczne w celu poprawy świadomości sytuacyjnej na MCZA;
- segregacja rannych i udzielenie pomocy poszkodowanym;
- ewakuacja rannych.

Powyższe etapy schematycznie zilustrowano na rysunkach 4–7.

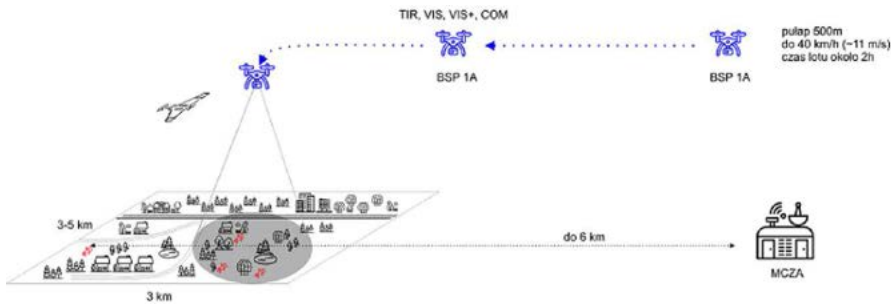
1. Etap ogólnego rozpoznania z użyciem BSP 1B przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Rozpoznanie z użyciem BSP 1B

Źródło: Dokumentacja Inicjująca Projekt systemu MilGeoMed, ITWL 2020.

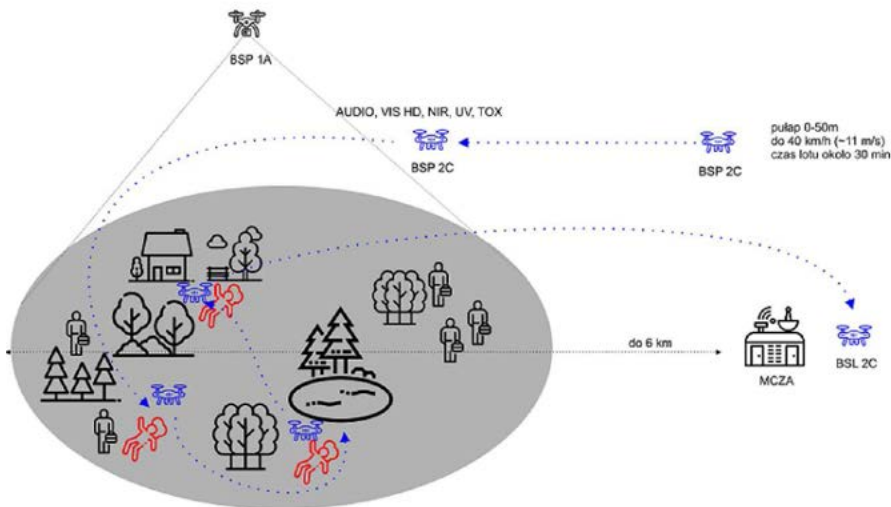
2. Etap specjalistycznego rozpoznania (poszukiwanie rannych i ofiar) oraz poprawy świadomości sytuacyjnej na potrzeby MCZA z użyciem BSP 1A przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Specjalistyczne prowadzenie rozpoznania

Źródło: Dokumentacja Inicjująca Projekt systemu MilGeoMed, ITWL 2020.

3. Etap segregacji rannych, wsparcia podczas udzielania pomocy rannym, zapewnienie komunikacji głosowej oraz transport specjalistycznych urządzeń i zaopatrzenia medycznego z użyciem BSP 2A, 2B, 2C przedstawiono na rysunku 6.

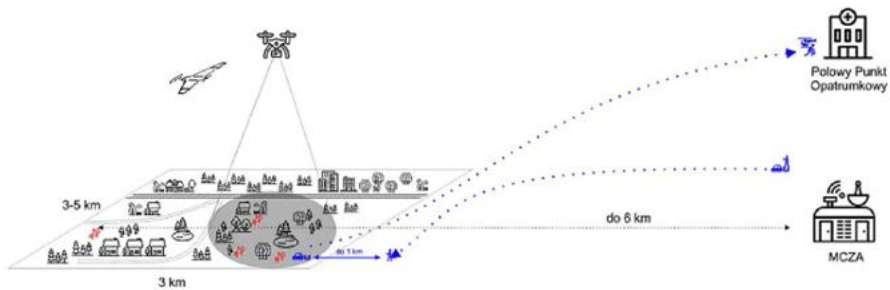


Rys. 6. Segregacja rannych

Źródło: Dokumentacja Inicjująca Projekt systemu MilGeoMed, ITWL 2020.

4. Etap ewakuacji poszkodowanych z użyciem PWE – naziemnej platformy bezzałogowej wsparcia ewakuacji umożliwiającej podjęcie rannego w sposób autonomiczny (rys. 7).





Rys. 7. Ewakuacja poszkodowanych

Źródło: Dokumentacja Inicjująca Projekt systemu MilGeoMed, ITWL 2020.

## 5. PODSUMOWANIE

Bezzałogowe statki powietrzne udowodniły swoją skuteczność na współczesnym polu walki w misjach ISTAR (ang. *Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, and Reconnaissance*). Dynamika rozwoju technologii bezzałogowej powoduje, że SBSP będą odgrywać ważniejszą rolę operacyjną w misjach bojowych i humanitarnych. Obejmuje to możliwość wykorzystania tych platform nie tylko do ISTAR, ale także do transportu personelu. Pomimo coraz większego zaawansowania technologii kwestia ograniczeń oraz ostatecznej akceptacji w zakresie transportu pasażerów bez obecności pilota na pokładzie pozostaje wciąż wątpliwa. Należy zauważyć, że bez człowieka na pokładzie pojazdy bezzałogowe są związane jedynie fizycznymi ograniczeniami konstrukcyjnymi i są w stanie działać nawet poza granicami bezpieczeństwa ludzi<sup>25</sup>. Akceptacja takiego stanu rzeczy będzie kluczowa w zakresie zastosowania SBSP w zadaniach CASEVAC, a w następnym etapie w zadaniach MEDAVAC z asystą personelu medycznego lub asystą urzędzeń medycznych i robotów medycznych.

Obecnie NATO i państwa partnerskie aktywnie eksperymentują w zakresie użycia bezzałogowych statków powietrznych do dostarczania ładunków i zaopatrzenia. Niektóre z powstających platform w niedalekiej przyszłości mogą być wykorzystywane do zadań CASEVAC. Wraz ze zwiększaniem ich możliwości transportowych będą zwiększały się zdolności w zakresie CASEVAC. Początkowo będzie się to odbywało w ramach transportu powrotnego lub jako środek okazjonalny, który umożliwi szybszy transport poszkodowanych do szpitala polowego przy braku możliwości transportu MEDAVAC z wykorzystaniem środków załogowych. Taka ewentualność użycia UAV z pewnością pozwoli uratować wielu rannych i poszkodowanych w występującym reżimie czasowym oraz braku możliwości transportu lądowego ze względu na ukształtowanie terenu, dostępność infrastruktury drogowej oraz ograniczenia operacyjne.

System MilGeoMed jest innowacyjnym projektem na skalę światową. Jego rozwój poprzez badania przemysłowe, prace rozwojowe, a w efekcie końcowym sprawdzenia

<sup>25</sup> Safe Ride Standards..., dz. cyt., pkt 7.3.

technologii w warunkach rzeczywistych, uwarunkowany będzie powołaniem zespołu wykwalifikowanych fachowców oraz odpowiedniego finansowania. System znajdzie z pewnością swoje zastosowanie nie tylko na polu walki, ale po drobnych modyfikacjach będzie także narzędziem wspierającym służby porządku publicznego w działaniach zarządzania kryzysowego, w przypadkach katastrof masowych i klęsk żywiołowych oraz zdarzeń terrorystycznych.

\*\*\*

Praca finansowana ze środków NCBR jako projekt B+R nr DOBSZAFIR/09/A/010/01/2020 realizowany w ramach Programu na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa pn. Rozwój nowoczesnych, przełomowych technologii służących bezpieczeństwu i obronności państwa, pk. SZAFIR konkurs nr 1/SZAFIR/2020 w latach 2022–2024.

## BIBLIOGRAFIA

### Artykuły i monografie

Brzezina J.M., *Atak dronów*, Warszawa 2013.

### Akty i dokumenty prawne

Dokumentacja inicjująca projekt systemu MilGeoMed, ITWL 2020.

Robotic and Autonomous Systems Strategy, U.S Army, March 2017.

Safe Ride Standards for Casualty Evacuation Using Unmanned Aerial Vehicles, North Atlantic Treaty Organization, TR-HFM-184, December 2012.

Doktryna logistyczna Wojsk Lądowych DD-4.2, DWLąd 33/2007.

NATO Allied Joint Publication AJP 4, Allied Joint Doctrine for Logistics, Edition B, Ver. 1 and NATO Standard Land Forces Logistic Doctrine ALP-4.2, Edition B, version 1, Dec 2015. Allied Joint Publication (AJP)-4, Allied Joint Doctrine for Logistics provides a common perspective for planning and conducting multinational joint logistic support for Allied operations to support NATO commanders.

Zabezpieczenie medyczne Sił Zbrojnych Rzeczpospolitej Polskiej DD-4.10 (A), Szkol. 914/2015.

### Źródła internetowe

*Army Eyes Dual-Rotor Drone for Casualty-Evacuation*, Military.com, <https://www.military.com/defensetech/2017/03/23/dp14-hawk>.

*Black Knight Transformer - Modular, Roadable Casualty Evacuation and Cargo Resupply Aircraft*, „Advanced Tactics”, Inc., <https://www.advancedtacticsinc.com/technology/black-knight/>.

DARPA, *Aerial Reconfigurable Embedded System (ARES)*, <http://www.darpa.mil/program/aerial-reconfigurable-embedded-system>.

Fisher N., Gilbert G.R., *Unmanned Systems in Support of Future Medical Operations in Dense Urban Environments*, „Small Wars Journal”, 4.02.2016, <http://smallwarsjournal.com/jrnl/art/unmanned-systems-in-support-of-futuremedical-operations-in-dense-urban-environments>.

Fisher N., Gilbert G.R., *Medical Robotic and Autonomous System Technology Enablers for the Multi-Domain Battle 2030-2050*, „Small Wars Journal”, 22.07.2017, <https://smallwarsjournal.com/jrnl/art/medical-robotic-and-autonomous-system-technology-enablers-for-the-multi-domain-battle-2030-2050>.

<https://drony.ulc.gov.pl>.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Northrop\\_Grumman\\_MQ-8C\\_Fire\\_Scout](https://en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_MQ-8C_Fire_Scout).

<https://geekweek.interia.pl/raport-wojna-przyszlosci/news-pierwszy-bezalogowy-smiglowiec-wzbil-sie-w-powietrze,nld,5198141>.

<https://swiatdronow.pl/labair-pierwszy-transport-medyczny-dronem-w-polsce-dla-alab-laboratoria>.



**Małgorzata KIRSCHENSTEIN**

 Lotnicza Akademia Wojskowa  
 e-mail: m.kirschenstein@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0002-4817-083X

**Krzysztof CUR**

 Lotnicza Akademia Wojskowa  
 e-mail: k.cur@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0003-4552-445X

DOI: 10.55676/asi.v3i1.39

## ANALIZA ZJAWISKA MGŁY W ASPEKCIE WYKONYWANIA OPERACJI LOTNICZYCH NA WYBRANYCH LOTNISKACH W POLSCE

ANALYSIS OF THE PHENOMENON OF FOG IN THE ASPECT OF PERFORMANCE OF AIR OPERATIONS AT SELECTED AIRPORTS IN POLAND

### Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę zjawiska mgły w aspekcie wykonywania operacji lotniczych na wybranych lotniskach w Polsce w latach 1971–2020. Uzasadnieniem wyboru tematu jest praktyczne wykorzystanie uzyskanych wyników w lotnictwie. Operacje startów i lądowań są uzależnione przede wszystkim od warunków pogodowych. Do jednych z najważniejszych należy mgła ograniczająca widzialność do poniżej 1000 m. Podczas występowania ograniczenia widzialności statki powietrzne oraz lotniska powinny być wyposażone w systemy umożliwiające wykonywanie procedur odlotu i podejścia do lądowania bez widzialności. W innym przypadku operacje lotnicze należy wstrzymać, ze względu na duże prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji niebezpiecznych. W związku z powyższym opracowanie statystyczne częstości i czasu trwania mgły oraz wyznaczenie okresów ich nasilenia stanowi istotną wiedzę w aspekcie zarządzania ruchem lotniczym. Założono, że realizacja celu artykułu będzie oparta o analizy zmienności czasowej oraz jej regionalnym zróżnicowaniu, wyrażonym w rozkładzie przestrzennym liczby i czasu trwania mgieł na wybranych lotniskach w Polsce. Dynamiczne ujęcie wybranego elementu jest bardzo istotnym problemem, którego rozwiązanie pozwoli na określenie indywidualnych cech wieloletniej zmienności mgieł.

**Słowa kluczowe:** mgła, operacja lotnicza, lotniska, Polska

### Abstract

The article presents an analysis of the phenomenon of fog in terms of the performance of flight operations at selected airports in Poland in 1971–2020. The rationale for choosing the topic is the practical use of the results obtained in aviation. Takeoff and landing operations depend primarily on weather conditions. Among the most important is fog that limits visibility to less than 1000 meters. During the presence of visibility limitation, aircraft and airports should be equipped with systems that allow departure and landing approach procedures to be performed without visibility. Otherwise flight operations should be halted, due to the high probability of dangerous situations. In view of the above, the statistical study of the frequency and duration of fog, as well as the determination of periods of their severity, constitutes important knowledge in the aspect of air traffic management. It was assumed that the realization of the purpose of the article will be based on the analysis of temporal variability and its regional variation, expressed in the spatial distribution of the number and duration of fog at selected airports in Poland. The dynamic inclusion of the selected element is a very important problem, the solution of which will make it possible to determine the individual characteristics of multi-year fog variability.

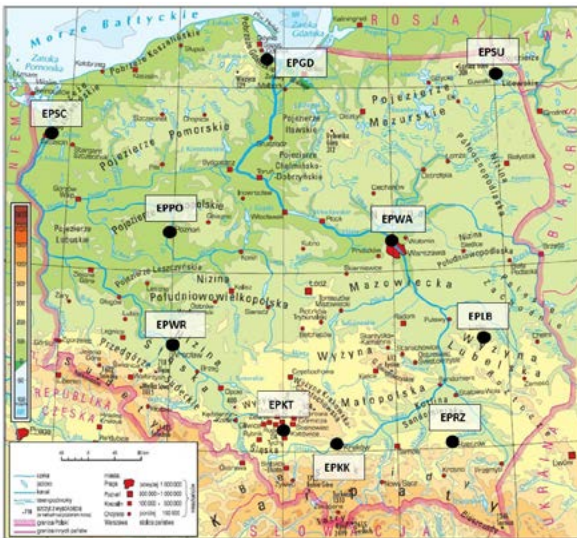
**Keywords:** fog, air operation, airports, Poland

## 1. WSTĘP

Celem artykułu była analiza statystyczna zjawiska mgły w aspekcie wykonywania operacji lotniczych na 10 wybranych lotniskach w Polsce:

- Szczecin-Goleniów im. NSZZ „Solidarność” (kod ICAO – EPSC) – położone na wysokości 47 m n.p.m.;
- Gdańsk-Rębiechowo im. Lecha Wałęsy (kod ICAO – EPGD) – położone na wysokości 138 m n.p.m.;
- Poznań-Ławica (kod ICAO – EPPO) – położone na wysokości 94 m n.p.m.;
- Wrocław-Strachowice im. Mikołaja Kopernika (kod ICAO – EPWR) – położone na wysokości 123 m n.p.m.;
- Katowice-Pyrzowice (kod ICAO – EPKT) – położone na wysokości 303 m n.p.m.;
- Kraków-Balice im. Jana Pawła II (EPKK) – położone na wysokości 241 m n.p.m.;
- Rzeszów-Jasionka (kod ICAO – EPRZ) – położone na wysokości 211 m n.p.m.;
- Lublin (kod ICAO – EPLB) – położone na wysokości 203 m n.p.m.;
- Chopina w Warszawie (kod ICAO – EPWA) – położone na wysokości 110 m n.p.m.;
- lotnisko sportowe Aeroklubu Suwalskiego (kod ICAO – EPSU) – położone na wysokości 179 m n.p.m.

Wybrane lotniska położone są w różnych częściach Polski<sup>1</sup> i na różnych wysokościach nad poziomem morza. Położenie geograficzne oraz uwarunkowania lokalne mają duży wpływ na tworzenie się mgieł i będą powodowały różnice w ich rozkładzie (rys. 1).



Rys. 1. Rozkład wybranych lotnisk na obszarze Polski

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <http://regiony-projekt.gozych.edu.pl/> [dostęp: 20.11.2023].

<sup>1</sup> <http://regiony-projekt.gozych.edu.pl/> [dostęp: 20.11.2023].

W analizie uwzględniono dane z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z lat 1971–2020 (50 lat) dotyczące liczby dni z mgłami oraz czasu występowania mgieł w godzinach. Analizę danych przeprowadzono dla przebiegu rocznego oraz przebiegu wieloletniego. Do oceny tendencji zmian zastosowano metodę regresji liniowej. Mapy rozkładu przestrzennego liczby mgieł, czasu trwania w godzinach oraz czasu trwania jednej mgły opracowano w programie graficznym SURFER15. Metoda ta pozwoliła ocenić zróżnicowanie w rozkładzie mgieł na wybranych lotniskach w Polsce oraz wskazać przyczyny ich występowania.

## 2. PRZEGLĄD LITERATURY

W lotnictwie widzialność odgrywa szczególnie istotną rolę podczas operacji startu i lądowania, które odbywają się na małej wysokości i wymagają od załogi wykonania największej liczby czynności w krótkim czasie. Trudne warunki atmosferyczne podczas startu i lądowania spowodowane zmniejszoną widzialnością mogą mieć niekorzystny wpływ na zaistnienie zdarzenia lotniczego, którego skutki mogą doprowadzić do katastrofy.

W literaturze podejmowana jest tematyka związana z wpływem ograniczonej widzialności na bezpieczne wykonywanie operacji lotniczych. O ważności tego zagadnienia świadczy analiza statystyczna wypadków lotniczych na świecie w latach 1967–2010. W badanym okresie uwzględniono elementy meteorologiczne, które mają wpływ na określone fazy lotu. Stwierdzono, że w fazie startu największy wpływ na bezpieczeństwo ma widzialność (65% wypadków), podobnie w fazie wznoszenia (52% wypadków) oraz podczas fazy lądowania (45%). Najmniejszy wpływ widzialność ma podczas fazy lotu (16%)<sup>2</sup>.

W literaturze znajdują się opracowania dotyczące zjawiska mgły dla wybranych lotnisk w Polsce i obejmują różne okresy badawcze. Analizą zjawiska mgły zajmowała się między innymi Skrzyńska<sup>3</sup>, która badała występowanie mgły oraz jej uwarunkowania cyrkulacyjne na wybranych lotniskach w południowej Polsce (wzięta pod uwagę 3 lotniska) w latach 1981–2010. Badaniem zależności występowania mgieł od cyrkulacji na wybranych lotniskach w Polsce zajmowała się również Śmigiera<sup>4</sup> – w opracowaniu uwzględniła dane z okresu 1981–2015 z ośmiu lotnisk. Problematyka mgieł na polskich lotniskach była również przedmiotem badań innych autorów: Wiązewskiego

<sup>2</sup> J. Mazon, J.I. Rojas, M. Lozano, D. Pino, X. Prats, M.M. Miglietta, *Influence of meteorological phenomena on worldwide aircraft accidents in the period 1967-2010*, 2017, <https://doi.org/10.1002/met.1686>.

<sup>3</sup> M. Skrzyńska, *Występowanie mgły na wybranych lotniskach w południowej Polsce i jego uwarunkowania cyrkulacyjne*, „Prace Geograficzne” 2019, nr 158, s. 27–44, DOI: 10.4467/20833113PG.19.014.10918.

<sup>4</sup> S. Śmigiera, *Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania mgieł na wybranych lotniskach w Polsce*, „Przegląd Geofizyczny” 2021, R. LXVI, z. 1–2.

i Bąkowskiego<sup>5</sup> w latach 1973–2002, Stolota<sup>6</sup> w latach 2005–2010, Skomorowskiego i Piotrowskiego<sup>7</sup> w latach 2005–2015. Związek występowania mgieł i ich cyrkulacyjne uwarunkowania badali również Łupikasza i Niedźwiedź<sup>8</sup> w latach 1966–2015, Błaś i Sobik<sup>9</sup> w latach 1994–2000 oraz Głowacka i in.<sup>10</sup> w latach 1973–2002. Natomiast Ustrnul i Czekierda<sup>11</sup> analizowali mgły trwające ponad dobę w różnych typologiach cyrkulacji. Analizą rozkładu przestrzennego mgieł na obszarze Polski zajmował się natomiast Piwkowski<sup>12</sup>. Na uwagę zasługuje opracowanie klimatologiczne mgły na obszarze Polski w latach 1981–2010<sup>13</sup> oraz analiza ryzyka wystąpienia mgły na wybranych stacjach w Polsce, opracowana dla okresu 1971–2005<sup>14</sup>.

W związku z tym, że opracowania te dotyczą różnych okresów badawczych oraz odnoszą się do kilku wybranych lotnisk – przygotowano opracowanie liczby dni z mgłą, czasu trwania oraz czasu trwania jednej mgły w godzinach dla długiego ciągu pomiarowego 1971–2020 (50 lat) dla dziesięciu lotnisk w Polsce, w tym opracowano zjawisko mgły w aspekcie tendencji zmian.

### 3. CHARAKTERYSTYKA ZJAWISKA MGŁY

Mgła jest produktem kondensacji pary wodnej. Występuje w warstwie przyziemnej atmosfery. Jej skoncentrowanie powoduje spadek widzialności do wartości mniejszej niż 1000 m. Bardzo silne mgły mogą ograniczyć widzialność nawet do kilku metrów. W zależności od temperatury mgły mogą składać się z kropel wody (w temperaturach dodatnich), przechłodzonych kropel wody (w temperaturach nieznacznie poniżej 0°C), kropel wody oraz kryształków lodu (poniżej –10°C)<sup>15</sup>.

W dokumentacji lotniczo-meteorologicznej wskaźnik mgły (skrót FG – ang. *fog*) stosuje się, gdy skutek kondensacji (mgła FG lub mgła marznąca FZFG – ang. *freezing*

<sup>5</sup> W. Wiązewski, R. Bąkowski, *Sytuacje synoptyczne sprzyjające wystąpieniu mgieł na lotnisku Kraków-Balice*, [w:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, red. K. Piotrowicz, R. Twardosz, IGiP UJ, Kraków 2007, s. 337–345.

<sup>6</sup> A. Stolot, *Liczba dni z mgłą na lotnisku Katowice-Pyrzowice w latach 2005-2010 w oparciu o typy cyrkulacji atmosfery*, [w:] *Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko*, red. R. Machowski, M. Rzętała, „Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego” 2013, nr 14, s. 51–59.

<sup>7</sup> A. Skomorowski, P. Piotrowski, *The occurrence of fog at meteorological stations located on the airport in Poland in the years 2005-2015*, „Przegląd Geofizyczny” 2018, nr 4, s. 315–327.

<sup>8</sup> E. Łupikasza, T. Niedźwiedź, *Synoptic climatology of fog in selected locations of southern Poland (1966-2015)*, „Bulletin of Geography, Physical Geography Series” 2016, nr 11, s. 5–15, DOI: 10.2478/11196.

<sup>9</sup> M. Błaś, M. Sobik, *The distribution of fog frequency in the Carpathians*, „Geographia Polonica” 2004, nr 77, s. 19–34.

<sup>10</sup> A. Głowacka, R. Bąkowski, W. Wiązewski, M. Paradowski, *Weather patterns: conditions preceding fog formation at Warsaw and Cracow airports*, [w:] *Proceedings, Short range forecasting methods of fog, visibility and low clouds*, red. S.C. Michaelides, Larnaca 2005, s. 3–78.

<sup>11</sup> Z. Ustrnul, D. Czekierda, *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*, IMGW, Warszawa 2009, s. 182.

<sup>12</sup> H. Piwkowski, *Rozkład mgieł w Polsce i ich długotrwałość*, „Przegląd Geofizyczny” 1976, nr 21, s. 41–49.

<sup>13</sup> *Meteorologiczna osłona kraju. Vademecum. Niebezpieczne zjawiska meteorologiczne geneza, skutki, częstość występowania, część druga – jesień, zima*, praca zbiorowa, IMGW-PIB, Warszawa 2013.

<sup>14</sup> *Kłęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju. Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku – Ryzyko wystąpienia mgły*, red. H. Lorenz, IMGW-PIB, Warszawa 2012.

<sup>15</sup> T. Compa, J. Rajchel, *Meteorologia dla pilota*, WSOSP, Dęblin 2012.



*fog*) widzialność jest mniejsza niż 1000 m. W tym przypadku wskaźnik FG koduje się bez wskaźników: MI (ang. *shallow*), BC (ang. *patches*), PR (ang. *partial*) lub VC (ang. *in the vicinity*):

- wskaźnik MIFG stosuje się, gdy widzialność na poziomie do 2 m nad gruntem wynosi 1000 m lub więcej, a we mgle jest mniejsza niż 1000 m;
- wskaźnik VCFG stosuje się do każdego rodzaju mgły zaobserwowanej w pobliżu lotniska;
- wskaźnik BCFG stosuje się przy mgle w płatach. Stosuje się go tylko wtedy, gdy widzialność w części lotniska wynosi 1000 m lub więcej. Jeśli jednak mgła występuje w pobliżu miejsca obserwacji, to minimalna widzialność przekazywana pod musi być mniejsza od 1000 m;
- wskaźnik PRFG używany jest przy mgle częściowo pokrywającej lotnisko. Widzialność w płatach mgły lub w jej warstwie musi być mniejsza niż 1000 m, a wysokość tej warstwy musi być nie mniejsza niż 2 m nad gruntem<sup>16</sup>.

Symbole zawarte w dokumentacji lotniczo-meteorologicznej są zgodne z wytycznymi Załącznika 3 do Konwencji ICAO<sup>17</sup>. Ponadto zabezpieczenie meteorologiczne lotów przez wojskowe statki powietrzne odbywa się zgodnie z wymaganiami zawartymi w następujących dokumentach:

- Instrukcja zabezpieczenia meteorologicznego działań powietrznych Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (IZMDP-2022) wprowadzona do użytku Decyzją Nr 1/SG Ministra Obrony Narodowej z dnia 20 stycznia 2023 r. DU-3.3.31.8<sup>18</sup>;
- Wytyczne SSH SZ RP w sprawie niebezpiecznych zjawisk pogody (NZP) i warunków meteorologicznych zagrażających bezpieczeństwu działań powietrznych. Marzec 2023<sup>19</sup>;
- Wytyczne SSH SZ RP w sprawie: autoryzowanych źródeł informacji hydrologiczno-meteorologicznej; wzorów formularzy ostrzeżeń na potrzeby działań powietrznych; wzorów opracowanych informacji meteorologicznych i dokumentacji. Marzec 2023<sup>20</sup>;
- Wytyczne SSH SZ RP w sprawie: wprowadzenia ostrzeżeń lotniczych obszarowych w formie graficznej do planowania i realizacji zabezpieczenia meteorologicznego zadań lotniczych. Grudzień 2022<sup>21</sup>.

<sup>16</sup> Wytyczne SSH SZ RP w sprawie programu wykonywania pomiarów i obserwacji elementów meteorologicznych oraz metodyki opracowywania depeesz SYNOP, METAR, SPECI I TAF. Edycja (F), SSH SZ RP, Warszawa, styczeń 2023.

<sup>17</sup> Załącznik 3 do Konwencji ICAO „Służba meteorologiczna dla międzynarodowej żeglugi powietrznej”, wyd. 20, lipiec 2018.

<sup>18</sup> Instrukcja zabezpieczenia meteorologicznego działań powietrznych Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (IZMDP-2022) wprowadzona do użytku Decyzją Nr 1/SG Ministra Obrony Narodowej z dnia 20 stycznia 2023 r. DU-3.3.31.8.

<sup>19</sup> Wytyczne SSH SZ RP w sprawie niebezpiecznych zjawisk pogody (NZP) i warunków meteorologicznych zagrażających bezpieczeństwu działań powietrznych, marzec 2023.

<sup>20</sup> Wytyczne SSH SZ RP w sprawie autoryzowanych źródeł informacji hydrologiczno-meteorologicznej; wzorów formularzy ostrzeżeń na potrzeby działań powietrznych; wzorów opracowanych informacji meteorologicznych i dokumentacji, SSH SZ RP, Warszawa, marzec 2023.

<sup>21</sup> Wytyczne SSH SZ RP w sprawie: wprowadzenia ostrzeżeń lotniczych obszarowych w formie graficznej do planowania i realizacji zabezpieczenia meteorologicznego zadań lotniczych, SSH SZ RP, Warszawa, grudzień 2022.

W dokumentacji lotniczo-meteorologicznej informacje o występowaniu mgły zawierają:

- depesze SYNOP, METAR, SPECI, TAF;
- ostrzeżenia lotniskowe;
- prognozę sektorową;
- mapy istotnych zjawisk pogody SIGWX: poziomy SWL, SWM, SWH;
- ostrzeżenia lotnicze obszarowe w formie graficznej na warunki meteorologiczne równe lub mniejsze minimalnym warunkom meteorologicznym;
- ostrzeżenia: depesze AIRMET, GAMET;
- informacje o stanie WMET z depesz SYNOP.

Tworzeniu mgieł sprzyjają określone warunki pogodowe, między innymi:

- słaby wiatr przyziemny;
- małe różnice między temperaturą powietrza a temperaturą punktu rosy ( $\leq 4^{\circ}\text{C}$ );
- spadki temperatury powietrza podczas bezchmurnych nocy;
- spadki temperatury powietrza podczas napływu ciepłej masy powietrza nad wychłodzone podłoże;
- duża ilość jąder kondensacji w powietrzu;
- kształt i pokrycie terenu;
- wilgotne podłoże<sup>22</sup>.

Ze względu na procesy prowadzące do tworzenia mgieł wyróżnia się<sup>23,24</sup>:

- mgły radiacyjne – powstają przy utracie ciepła nad powierzchnią gruntu podczas bezchmurnych nocy. Występuje wówczas silne wychłodzenie radiacyjne podłoża, skutkujące obniżeniem temperatury powietrza znajdującego się w jego bezpośrednim sąsiedztwie i w konsekwencji para wodna zaczyna kondensować. Mgły radiacyjne są mgłami o zasięgu lokalnym, zazwyczaj występują na podmokłych terenach lub w sąsiedztwie zbiorników wodnych, a ich grubość zazwyczaj wynosi kilkadziesiąt metrów;
- mgły adwekcyjne – powstają wskutek przemieszczenia wilgotnego, ciepłego powietrza nad chłodniejszy obszar. Początkowo mgła adwekcyjna utrzymuje się jedynie w warstwie przyziemnej, jednak dzięki turbulencji mgła zajmuje wyższe warstwy masy powietrza. Mgły adwekcyjne mogą osiągać grubość ok. 600 m i więcej. Mgły mieszane powstają, gdy występują oba czynniki adwekcyjne oraz radiacyjne, czyli zarówno napływanie cieplejszego powietrza, jak i ochładzanie się terenu przez oddawanie ciepła do atmosfery;
- mgły frontowe – tworzą się podczas przesuwania się frontu ciepłego bądź frontu okluzji ciepłej nad powierzchnią, nad którą zalegają masy chłodniejszego powietrza. Mgły te mogą tworzyć się przed linią frontu, w czasie jego przejścia oraz za linią frontu;
- mgły orograficzne – ich powstanie jest skutkiem nocnego wychłodzenia kotlin oraz dolin na skutek wypromieniowania ciepła, prowadzące do schłodzenia

<sup>22</sup> A. Jaśkowiak, *Lotnicza pogoda – Meteorologia dla pilotów*, 2013.

<sup>23</sup> P. Szewczak, *Meteorologia dla pilota samolotowego*, „AVIA-TEST”, Poznań 2010.

<sup>24</sup> *Meteorologia dla pilotów. Poradnik*, Dowództwo Sił Powietrznych, Warszawa 2012.

powietrza przemieszczającego się na dno kotliny/doliny, a tym samym wzrostu wilgotności względnej.

Mgła ze względu na to, że tworzy się przy powierzchni ziemi, stwarza największe zagrożenie podczas startów i lądowań wszystkich statków powietrznych. Powyżej wysokości, do jakiej sięga mgła, widzialność zazwyczaj poprawia się. Szczególnie niebezpieczna jest mgła adwekcyjna, która może powstać niezależnie od pory dnia i nocy, a następnie pozostawać nad dużym obszarem nawet do 2–5 dni. Mgły radiacyjne również stanowią zagrożenie dla operacji lotniczych, niemniej jednak ich charakter jest lokalny, a czas występowania ogranicza się do nocy i pory rannej – zazwyczaj zanikają na początku dnia. Mgły radiacyjne są natomiast gęściejsze przy powierzchni ziemi, dlatego też w bardzo dużym stopniu utrudniają lądowanie, lecz nie zakłócają istotnie lotu po trasie, podczas gdy w mgłach adwekcyjnych wraz z wysokością gęstość mgły zwiększa się, przez co widzialność spada<sup>25,26</sup>.

#### 4. ANALIZA CZĘSTOŚCI WYSTĘPOWANIA I CZASU TRWANIA MGIEŁ

W analizie uwzględniono dane częstości występowania mgieł czasu ich trwania w godzinach oraz określono czas trwania jednej mgły – w okresie 50 lat (1971–2020).

##### Liczba dni z mgłą

Z analizy danych wynika, że średnia roczna liczba FG (1971–2020) charakteryzowała się dużym zróżnicowaniem między lotniskami, co jest skutkiem położenia geograficznego i uwarunkowań lokalnych klimatu. Wartości wahały się od 34,7 (EPWA) do 67,3 (EPKK), (tabela 1). W porcie lotniczym EPKK w 1972 r. odnotowano aż 116 mgieł.

Tabela 1. Średnia wieloletnia liczba dni z mgłą (1971–2020)

Przyjęta skala barw oznacza nasilenie zjawiska od wartości najniższych – kolor niebieski, do wartości najwyższych – kolor czerwony.

lotnisko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok	max-min
EPGD	4,1	3,4	3,9	4,0	2,6	2,2	2,3	3,1	3,5	4,3	4,3	3,7	41,3	2,1
EPSC	4,4	4,0	3,9	3,0	2,4	1,9	1,8	3,5	5,6	7,3	6,0	4,4	48,2	5,5
EPPO	7,2	5,7	4,1	2,4	1,9	1,6	1,5	1,9	4,4	7,9	8,5	7,2	54,3	7,1
EPWR	5,8	4,4	3,7	2,8	2,6	2,3	1,7	3,3	6,1	8,3	7,7	5,9	54,5	6,6
EPKT	6,2	5,3	3,6	3,0	2,5	2,2	1,8	2,6	5,4	7,8	7,6	6,5	54,6	6,0
EPWA	4,1	3,7	2,5	1,6	1,2	1,2	1,0	1,6	3,2	5,1	5,1	4,4	34,7	4,2
EPLB	6,5	6,5	4,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	5,3	8,1	8,7	7,7	60,6	6,1
EPRZ	4,4	4,5	3,5	3,2	3,8	3,2	3,1	5,5	6,9	7,9	6,2	4,4	56,8	4,8
EPKK	7,5	5,3	4,3	3,0	3,1	2,9	2,2	3,6	7,2	9,8	9,3	8,9	67,3	7,6
EPSU	7,8	5,1	5,4	2,8	2,0	1,8	2,2	3,5	5,5	7,4	8,1	8,0	59,5	6,3

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW).

W przebiegu rocznym zdecydowanie częściej mgły pojawiały się w chłodnym okresie roku. Szczególnie od października do stycznia. Zdecydowanie rzadziej mgły pojawiały się od maja do września (tabela 1). Zakres wahań między miesiącami był również

<sup>25</sup> H. Jafernik, Z. Wilczek, J. Ziarko, *Meteorologiczna ostrona działań lotnictwa*, DM Bellona, Warszawa 2000.

<sup>26</sup> P. Szewczak, *Meteorologia dla pilota samolotowego*, AVIA-TEST, Poznań 2007.

największy na EPKK (7,6 dni z mgłą). Duże wahania wystąpiły również na lotniskach: EPPO (7,1 dni z mgłą), EPWR (6,6 dni z mgłą), EPSU (6,3 dni z mgłą), EPLB (6,1 dni z mgłą) i EPKT (6,0 dni z mgłą). Najmniejsze różnice w przebiegu rocznym występowały na lotnisku EPGD – 2,1 dni z mgłą (tabela 1).

### Czas trwania mgieł w godzinach

Ważnym wskaźnikiem, poza częstością występowania, jest określenie czasu trwania mgieł w godzinach. Jest to wskaźnik pozwalający ocenić rzeczywisty czas występowania mgieł w poszczególnych miesiącach roku i średnio w roku. Otrzymano następujące wyniki: średnio w roku (1971–2020) mgły trwały od około 130,2 godz. na EPWA do 362,7 godz. na EPSU. Na lotnisku EPKK, pomimo iż mgły występowały najczęściej, średni roczny czas ich trwania był krótszy niż na EPSU i wynosił 349,1 godz. (tabela 2). W porcie lotniczym EPKK w 1972 r. odnotowano najwyższą liczbę – 116 mgieł, które łącznie trwały aż 771,9 godz.

Tabela 2. Średni wieloletni czas trwania mgieł w godzinach (1971–2020)

Przyjęta skala barw oznacza nasilenie zjawiska od wartości najniższych – kolor niebieski, do wartości najwyższych – kolor czerwony.

lotnisko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok	max-min
EPGD	15,6	17,1	19,4	16,6	8,9	6,3	5,3	8,3	11,3	19,5	23,3	17,5	169,0	18,0
EPSC	24,8	18,7	15,5	9,7	5,6	4,1	3,5	8,2	21,0	35,5	35,4	21,0	203,0	32,0
EPPO	38,4	27,5	17,7	6,2	4,3	3,0	2,8	4,7	13,5	35,4	47,2	41,3	241,9	44,3
EPWR	25,6	20,8	13,3	7,8	6,1	4,7	3,3	7,5	17,7	38,8	37,7	28,1	211,3	35,4
EPKT	33,6	22,7	13,0	9,2	6,0	5,2	3,7	6,5	15,6	34,8	36,7	34,9	221,8	33,0
EPWA	18,4	15,3	9,6	4,6	2,5	2,1	1,3	3,6	9,2	20,2	23,4	20,2	130,2	22,1
EPLB	44,2	40,0	25,0	10,5	8,8	7,4	6,9	7,0	19,4	39,9	58,0	50,2	317,3	51,1
EPRZ	23,5	20,1	13,1	9,2	10,0	6,9	6,8	13,0	23,4	36,7	31,2	23,0	217,0	29,9
EPKK	56,3	29,5	18,3	10,0	8,2	7,5	5,2	9,4	25,7	52,5	63,1	63,4	349,1	58,2
EPSU	53,6	40,3	32,3	10,1	5,4	4,6	5,0	9,6	20,2	45,3	74,0	62,6	362,7	69,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

Czas trwania mgieł w poszczególnych miesiącach charakteryzował się dużym zróżnicowaniem między lotniskami. W przebiegu rocznym zdecydowanie dłużej mgły utrzymywały się w chłodnym okresie roku. Szczególnie od października do stycznia. Zdecydowanie krócej mgły utrzymywały się od maja do września. Zakres wahań między miesiącami był największy na EPSU (69,4 godz.). Duże wahania wystąpiły również na lotniskach: EPKK (58,2 godz.) i EPLB (51,1 godz.). Najmniejsze różnice w przebiegu rocznym występowały na lotnisku EPGD – 18 godz. (tabela 2).

### Czas trwania jednej mgły w godzinach

Ocena statystyczna czasu trwania jednej mgły jest ważną informacją w lotnictwie, pozwalającą określić najmniej korzystne okresy w roku, kiedy widzialność ograniczona jest do poniżej 1000 m. Z analizy wynika, że średnio w roku jedna mgła trwała najdłużej na EPSU – 6,1 godz., długi był również czas trwania jednej mgły na EPKK i EPLB – 5,2 godz. Natomiast na lotniskach EPWA i EPRZ jedna mgła trwała średnio tylko 3,8 godz. (tabela 3).

Tabela 3. Średni wieloletni czas trwania jednej mgły w godzinach (1971–2020)

Przyjęta skala barw oznacza nasilenie zjawiska od wartości najniższych – kolor niebieski, do wartości najwyższych – kolor czerwony.

lotnisko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok	max-min
EPGD	3,8	5,1	5,0	4,1	3,4	2,8	2,3	2,7	3,3	4,6	5,4	4,8	4,1	3,1
EPSC	5,7	4,6	3,9	3,3	2,3	2,1	2,0	2,4	3,7	4,9	5,9	4,8	4,2	3,9
EPPO	5,3	4,8	4,4	2,6	2,2	1,9	1,9	2,4	3,0	4,5	5,5	5,7	4,5	3,9
EPWR	4,4	4,7	3,6	2,7	2,3	2,0	1,9	2,3	2,9	4,7	4,9	4,8	3,9	3,0
EPKT	5,4	4,3	3,6	3,0	2,4	2,3	2,0	2,5	2,9	4,4	4,8	5,4	4,1	3,4
EPWA	4,4	4,1	3,9	2,9	2,0	1,7	1,4	2,3	2,8	3,9	4,6	4,6	3,8	3,2
EPLB	6,8	6,1	5,4	3,9	3,2	2,8	2,6	2,7	3,7	5,0	6,7	6,5	5,2	4,3
EPRZ	5,3	4,5	3,7	2,9	2,6	2,1	2,2	2,4	3,4	4,6	5,0	5,2	3,8	3,2
EPKK	7,5	5,6	4,3	3,3	2,6	2,6	2,4	2,6	3,6	5,3	6,8	7,1	5,2	5,1
EPSU	6,8	7,9	6,0	3,6	2,7	2,5	2,2	2,8	3,6	6,1	9,2	7,8	6,1	6,9

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

Czas trwania jednej mgły w poszczególnych miesiącach charakteryzował się również dużym zróżnicowaniem między lotniskami. W przebiegu rocznym zdecydowanie dłużej mgły zalegały w chłodnym okresie roku. Szczególnie od października do stycznia. Zdecydowanie krócej mgły utrzymywały się w ciepłym okresie roku. Zakres wahań między miesiącami był największy na EPSU (6,9 godz.). Duże wahania wystąpiły również na EPKK (5,1 godz.). Najmniejsze różnice w przebiegu rocznym występowały na lotnisku EPWR – 3,1 godz. (tabela 3).

Z powyższej analizy wynika, że zarówno liczba dni z mgłą, czas trwania w godzinach, jak również czas trwania jednej mgły stanowią największe zagrożenie dla operacji lotniczych w chłodnym okresie roku, szczególnie od października do stycznia. W chłodnym okresie roku mgły występują częściej i trwają dłużej, ponieważ panują korzystniejsze warunki do ich kształtowania. W tym okresie najczęściej występują mgły adwekcyjne i frontowe związane z frontem ciepłym oraz frontem okluzji ciepłej. W chłodnym okresie roku dominuje spływ powietrza z sektora zachodniego, co powoduje częsty napływ ciepłego i wilgotnego powietrza z Oceanu Atlantyckiego nad chłodniejszy obszar kontynentalny, który sprzyja tworzeniu frontów ciepłych. Ponadto w północnej części Polski spływ ciepłego i wilgotnego powietrza z Morza Bałtyckiego sprzyja tworzeniu mgieł adwekcyjnych. Na lotniskach położonych w południowej części Polski orografia terenu jest bardziej zróżnicowana i dodatkowo sprzyja tworzeniu mgieł orograficznych. W chłodnym okresie roku przy temperaturach spadających poniżej zera mgły stają się marznące i powodują oblodzenia statków powietrznych. W ciepłym okresie roku panujące warunki atmosferyczne sprzyjają tworzeniu mgieł radiacyjnych, głównie po zachodzie słońca. Ten rodzaj mgieł dość często zanika po wschodzie słońca.

## 5. TENDENCJE ZMIAN LICZBY MGIEŁ ORAZ CZASU ICH TRWANIA W PRZEBIEGU WIELOLETNIM

W ostatnich latach szeroko omawiany jest problem tempa zmian i wahań elementów meteorologicznych, w szczególności temperatury powietrza i sum opadów

atmosferycznych. Według raportu IPCC (2023)<sup>27</sup> w Polsce zmiany klimatu będą także duże. Nadal będzie postępował wzrost temperatury powietrza. Lata będą coraz gorętsze, częściej będą pojawiać się 35-stopniowe upały. Przy tak wysokiej temperaturze będą występowały burze, którym częściej towarzyszyć będą gradobicia i trąby powietrzne. Pogoda będzie bardzo zmienna. Zimy będą coraz cieplejsze, rzadziej będzie padać śnieg. Więcej będzie opadów deszczu i będą intensywniejsze niż obecnie. W ciepłym półroczu częściej będą występowały susze. Druga połowa jesieni, zima i początek wiosny to okres, kiedy w przyszłości częściej występować będą opady. Ważne są więc badania, które pokazują te zmiany w różnych regionach i są opracowane dla długich ciągów pomiarowych. Przy tak kompleksowej analizie możemy wykazać współzależność elementów meteorologicznych, zróżnicowanie regionalne oraz określić, jaki zespół czynników i procesów klimatotwórczych ma największy wpływ na ich zmienność. W rezultacie, w sposób bardziej dokładny pozna się cechy klimatu wybranego do badań obszaru. Nie otrzymamy pełnego obrazu cech klimatu, poprzez analizę pojedynczych jego elementów, czy też pojedynczych stacji, na których o warunkach klimatycznych w dużym stopniu decydują czynniki lokalne.

W związku z powyższym, podjęto próbę określenia zmienności liczby dni i czasu trwania mgieł na wybranych lotniskach w Polsce w latach 1971–2020. Wobec aktualnie rozwiązywanych problemów związanych ze współczesnym ociepleniem klimatu wykorzystanie 50-letniej serii pomiarów pozwoli na wskazanie tendencji zmian częstości i czasu trwania mgieł jako skutek globalnych zmian klimatu. Analiza zróżnicowania w przebiegu wieloletnim oraz w rozkładzie przestrzennym może stanowić uzupełnienie lub nawet zweryfikowanie wiedzy w skali regionalnej i pokazać różnice w odniesieniu do całego obszaru Polski.

Długi ciąg danych pozwala więc ocenić tendencję zmian mgieł na przestrzeni 50 lat. Do oceny zmian liczby mgieł i czasu ich trwania w funkcji czasu zastosowano metodę regresji liniowej, która określa wzrost lub spadek na jednostkę czasu. Metoda regresji liniowej umożliwi wyznaczenie linii trendu, będącej wykresem funkcji liniowej, gdzie objaśniającą  $X$  jest zmienna czasowa  $t$ , czyli dane stanowią szereg czasowy. Funkcja liniowa trendu jest wyrażona wzorem:

$$y = a \cdot t + b$$

gdzie:

$y$  – wartość danego zjawiska uzależniona od  $t$ ;

$t$  – zmienna czasowa;

$a$  – współczynnik kierunkowy trendu:  $a = \frac{\sum(t_i - \bar{t}) \cdot (Y_i - \bar{y})}{\sum((t_i - \bar{t})^2)}$ ;

$b$  – wyraz wolny trendu:  $b = \bar{y} - a \cdot \bar{t}$ ;

$t_i, y_i$  – wartości zmiennych  $t$  i  $y$ ;

$\bar{t}, \bar{y}$  – średnie zmiennych  $t$  i  $y$ .

<sup>27</sup> <https://www.ipcc.ch/> [dostęp: 18.07.2023].

Gdy  $a > 0$ , to trend jest rosnący. Im  $a$  jest większe, tym wartość  $y$  szybciej rośnie w czasie. Gdy  $a < 0$ , to trend maleje. Im mniejsze  $a$ , tym wartość  $y$  szybciej maleje<sup>28</sup>.

### Liczba dni z mgłą

Na podstawie równań trendu liniowego obliczono tendencję zmian liczby dni z mgłą i czasu ich trwania w godzinach w okresie 50 lat. Z przeprowadzonej analizy wynika, że w badanym 50-leciu średnia roczna liczba dni z mgłą na dziewięciu lotniskach wykazała tendencję spadkową od  $-2,4$  dni z mgłą/50 lat na EPKK do  $-31,2$  dni z mgłą/50 lat na EPKK. Duże tendencje spadkowe wystąpiły również na EPPO ( $-29,1$  dni z mgłą/50 lat) i EPRZ ( $-29,0$  dni z mgłą/50 lat). Tendencja wzrostowa wystąpiła wyłącznie na EPSU ( $18,5$  dni z mgłą/50 lat) – tabela 4.

W przebiegu rocznym największe tendencje spadkowe liczby dni z mgłą wystąpiły w lutym, natomiast listopad charakteryzuje się tendencją wzrostową liczby dni z mgłą na wszystkich lotniskach (tabela 4).

Tabela 4. Przyrost/spadek liczby dni z mgłą w okresie 50 lat, obliczony na podstawie równania trendu liniowego (1971–2020)

Przyjęta skala barw oznacza nasilenie zjawiska od wartości najniższych – kolor niebieski, do wartości najwyższych – kolor czerwony.

lotnisko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
EPGD	-1,7	-3,8	-3,8	-1,1	-0,6	-3,4	-2,4	-4,1	-1,5	-1,4	2,4	-3,2	-24,4
EPSC	-4,5	-5,7	-1,9	-2,5	-0,9	-1,8	-0,1	-1,1	-3,5	-4,5	2,1	-1,1	-25,5
EPPO	-4,4	-7,4	-4,0	-2,2	0,4	-1,2	0,0	0,2	-3,8	-3,6	0,9	-4,0	-29,1
EPWR	-2,9	-5,4	-0,3	-1,0	-1,0	-0,1	0,2	-2,1	-2,8	-1,5	2,3	-2,7	-17,4
EPKT	-3,5	-4,3	-0,3	-1,1	-0,1	-1,3	-0,4	-2,9	-5,3	1,1	5,0	2,0	-11,0
EPWA	-2,0	-4,3	-2,5	-2,0	-0,4	-1,7	-1,2	-2,5	-4,5	-1,0	0,5	-2,8	-24,5
EPLB	2,5	-2,2	-1,1	0,0	-1,1	-0,4	-0,6	-0,8	-2,7	1,2	3,4	-0,6	-2,4
EPRZ	-2,1	-3,1	-2,6	-1,0	-4,0	-3,1	-2,7	-4,0	-5,9	-2,1	2,2	-0,7	-29,0
EPKK	-5,6	-4,8	-1,9	-2,0	-1,4	-2,2	-1,3	-4,3	-8,3	-2,5	4,3	-1,9	-31,2
EPSU	2,6	0,2	-0,8	0,6	0,4	0,2	1,5	3,1	2,2	4,2	47,7	-0,5	18,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

### Czas trwania mgieł w godzinach

Czas trwania mgieł w godzinach w badanym 50-leciu na wszystkich lotniskach wykazał się tendencją spadkową od  $-82,8$  godz./50 lat na EPSU do  $-289,7$  godz./50 lat na EPKK. Duże tendencje spadkowe wystąpiły również na EPPO ( $-256,3$  godz./50 lat) i EPSC ( $-214,5$  godz./50 lat). Z analizy wynika, że pomimo iż na EPSU wystąpiła tendencja wzrostowa częstości mgieł, to ich łączny czas trwania wykazał tendencję spadkową. W przebiegu rocznym największe tendencje spadkowe czasu trwania mgieł wystąpiły w miesiącach zimowych. W listopadzie liczba mgieł charakteryzuje się tendencją wzrostową na większości lotnisk, poza EPPO i EPWA (tabela 5).

<sup>28</sup> M. Sobczyk, *Statystyka*, Warszawa 2005.

Tabela 5. Przyrost/spadek czasu trwania mgły w godzinach, w okresie 50 lat, obliczony na podstawie równania trendu liniowego (1971–2020)

Przyjęta skala barw oznacza nasilenie zjawiska od wartości najniższych – kolor niebieski, do wartości najwyższych – kolor czerwony.

lotnisko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
EPGD	-11,3	-28,6	-36,0	-3,9	-4,2	-9,9	-7,8	-10,4	-8,6	-15,2	0,4	-18,2	-153,7
EPSC	-38,6	-41,8	-15,2	-12,6	-2,4	-6,7	-1,5	-6,8	-27,2	-41,2	1,8	-22,2	-214,5
EPPO	-49,3	-53,1	-29,9	-9,2	0,2	-3,3	-2,7	-3,1	-17,2	-34,1	-6,0	-48,8	-256,3
EPWR	-23,9	-36,7	-4,6	-5,3	-3,2	-0,3	1,7	-9,4	-16,2	-29,0	6,9	-21,0	-140,9
EPKT	-43,1	-30,4	-8,0	-11,9	-4,5	-6,6	-5,4	-13,2	-29,7	-16,2	5,5	0,8	-162,6
EPWA	-15,7	-26,3	-8,6	-7,7	-1,7	-3,0	-1,3	-6,6	-13,7	-12,1	-4,4	-16,4	-117,4
EPLB	6,1	-31,4	-20,1	-6,4	-6,6	-3,8	-1,6	-3,6	-19,5	-9,3	10,0	-18,2	-104,4
EPRZ	-15,7	-28,4	-14,9	-5,4	-9,9	-6,6	-7,0	-10,8	-31,0	-9,8	14,4	-8,7	-133,8
EPKK	-89,7	-49,6	-19,9	-10,7	-6,2	-8,3	-5,5	-15,9	-40,3	-25,4	13,3	-31,5	-289,7
EPSU	-0,6	-31,3	-24,6	-0,2	-0,9	-1,8	-1,7	5,1	-0,1	-13,5	20,2	-34,0	-82,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

Z powyższej analizy wynika, że największe tendencje spadkowe liczby dni z mgłą i czasu trwania mgieł w godzinach wystąpiły w chłodnym okresie roku (poza listopadem) – szczególnie w miesiącach zimowych. Na zróżnicowanie częstości i czasu trwania mgły w godzinach mają wpływ położenie geograficzne lotnisk oraz uwarunkowania lokalne. Natomiast tendencja spadkowa częstości mgieł w okresie 50 lat jest skutkiem przede wszystkim wzrostu temperatury powietrza w skali globalnej, w tym na obszarze Polski.

## 6. ANALIZA CZĘSTOŚCI WYSTĘPOWANIA I CZASU TRWANIA MGIEŁ NA OBSZARZE POLSKI

Rozkłady przestrzenne stanowią istotne źródło informacji o nierównomiernym rozkładzie zjawiska mgły na obszarze naszego kraju. Polska ma jeden typ klimatu – umiarkowany ciepły o cechach przejściowych. Ważną rolę spełnia tu cyrkulacja atmosferyczna i związana z nią adwekcja mas powietrza, transport pary wodnej w dolnych warstwach atmosfery, rozwój ruchów konwekcyjnych oraz stopniowa transformacja mas powietrza na drodze od wybrzeża Atlantyku, powodująca wzrost cech kontynentalnych klimatu na wschód. Cyrkulacja atmosferyczna jest jednym z ważniejszych czynników klimatotwórczych w skali globalnej, regionalnej i lokalnej, który decyduje o tym, czy na badanym obszarze mamy do czynienia z przewagą wpływów kontynentalnych, czy też oceanicznych<sup>29</sup>, a one przekładają się na kształtowanie wszystkich elementów meteorologicznych, w tym mgieł. Do ważnych czynników, które wpływają na zróżnicowanie regionalne rozkładu mgieł, należą także uwarunkowania lokalne. Między innymi charakter podłoża – jego właściwości termiczne, aerodynamiczne i wilgotnościowe – wpływa na procesy radiacyjne, które decydują o wymianie energii na powierzchni granicznej między atmosferą i podłożem oraz w wyższych warstwach troposfery. Wielkość tej wymiany jest zmienna w różnych cyklach czasowych (doba,

<sup>29</sup> M. Kirschenstein, *Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w północno-zachodniej Polsce*, Słupsk 2013, s. 238.



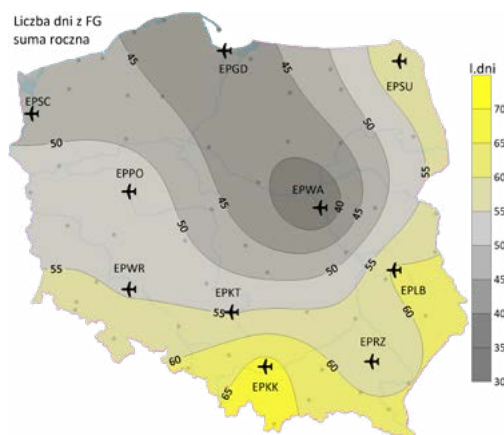
rok), od których zależy intensywność wielu procesów wymiany ciepła i sposobów jego przenoszenia. Ważnym elementem jest również ukształtowanie powierzchni – obszar Polski jest zróżnicowany pod względem rzeźby terenu – występują wyniesienia pojezierne na północy kraju, a na południu wyżyny i góry. Obszary zróżnicowane orograficznie sprzyjają tworzeniu mgieł zalegających w dolinach i kotlinach. W Polsce bardzo istotnym elementem klimatycznym, który ma wpływ na częstość i czas występowania mgieł, jest również odległość od Morza Bałtyckiego i wpływ Oceanu Atlantyckiego. W okresie jesienno-zimowym ciepłe masy powietrza znad Morza Bałtyckiego sprzyjają częstemu powstawaniu mgieł adwekcyjnych. Natomiast ocean, znad którego w okresie jesienno-zimowym napływają ciepłe i wilgotne masy powietrza, sprzyja tworzeniu frontów ciepłych oraz frontów okluzji ciepłej, które przyczyniają się do powstawania mgieł. Ten rodzaj mgieł utrzymuje się zdecydowanie dłużej niż mgły radiacyjne, co ma negatywny wpływ na wykonywanie operacji lotniczych.

W związku z tym, na poniższych mapach przedstawiono liczbę dni z mgłą oraz czas ich trwania w godzinach dla roku i dla miesięcy.

### Liczba dni z mgłą, czas trwania w godzinach i czas trwania jednej mgły w godzinach – średnie wartości roczne

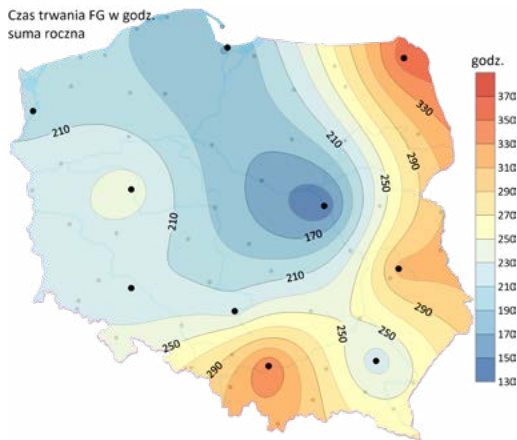
Średnie wartości roczne liczby dni z mgłą, czasu trwania w godzinach i czasu trwania jednej mgły w godzinach – charakteryzują się dużym zróżnicowaniem w rozkładzie przestrzennym:

- liczba dni z mgłą jest większa na lotniskach położonych w południowo-wschodniej części Polski, niż w części środkowej i północnej. Najwyższa średnia wieloletnia liczba dni z mgłą występuje na EPKK – 67,3 dni, najniższa na EPWA – 34,7 dni;
- biorąc pod uwagę czas trwania mgły w godzinach, najwyższe wartości wystąpiły na EPSU (363 godz.) i EPKK (349 godz.), najniższe na EPWA – 130 godz.;
- średni czas trwania jednej mgły w godzinach jest mocno zróżnicowany i wahał się od 3,8 godz. (w EPWA i EPRZ) do 6,1 godz. (w EPSU) (rys. 2–4).

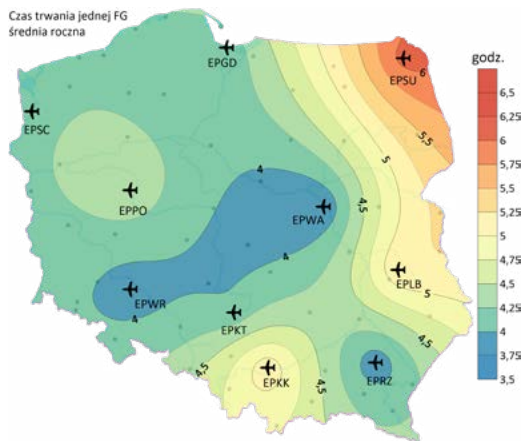


Rys. 2. Średnia roczna liczba dni z mgłą w latach 1971–2020

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.



Rys. 3. Średni roczny czas trwania mgieł w godzinach, w latach 1971–2020  
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.



Rys. 4. Średni roczny czas trwania jednej mgły w godzinach, w latach 1971–2020  
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

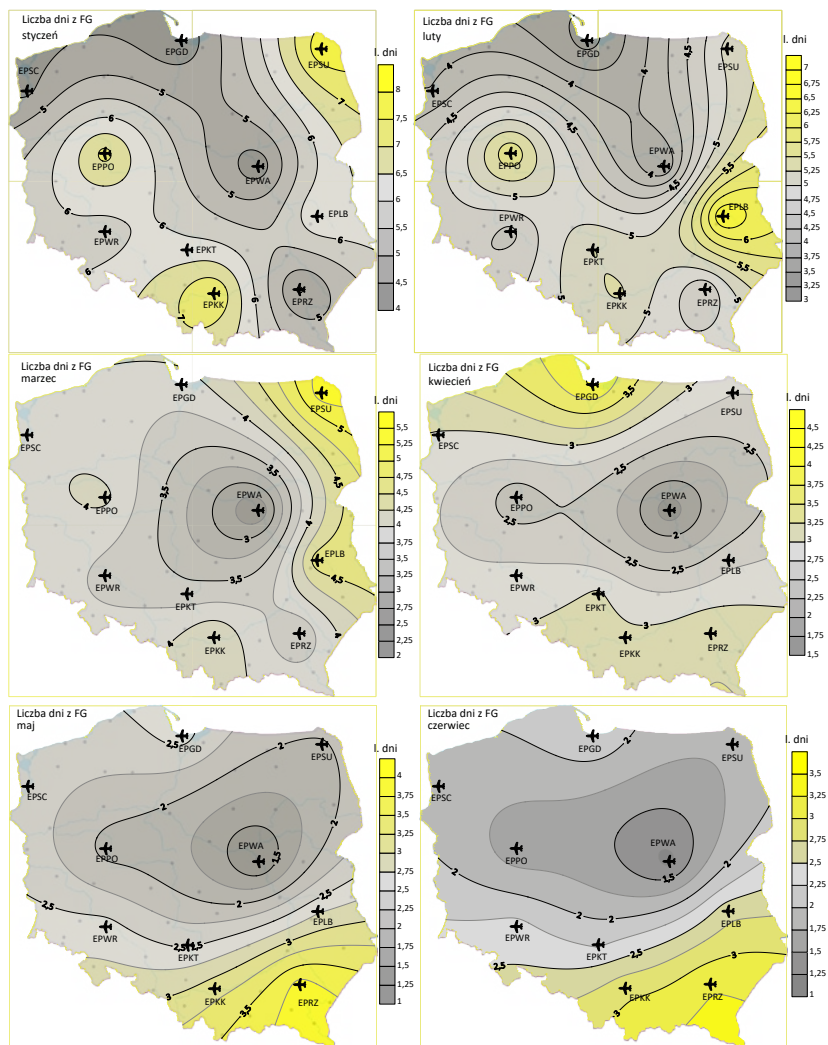
### Średnia miesięczna liczba dni z mgłą

Analiza rozkładów przestrzennych wskazuje, że w przebiegu rocznym rozkłady są do siebie podobne w określonych miesiącach (rys. 5–6):

- od października do lutego wyróżniają się dwa obszary o większym nasileniu występowania mgieł. Są to obszary zachodniej części Polski, rozciągające się od EPPO na południe – na obszary wyżynne i górskie. Drugi obszar to wschodnia część kraju – rozciągająca się od EPLU do EPLB. W okresie tym mgły rzadziej pojawiają się na EPWA oraz w północnej części Polski – na EPSC i EPGD, pomimo iż w tym okresie cieplejsze powietrze znad Bałtyku napływając nad chłodniejsze

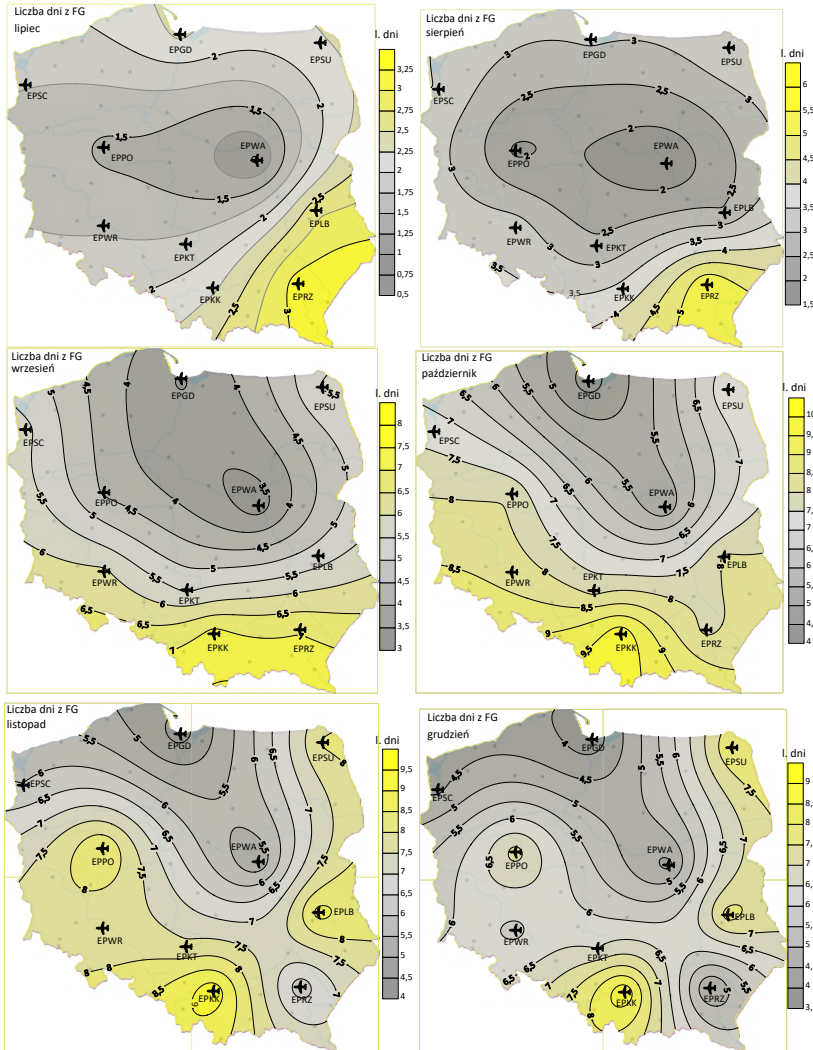
obszary lądowe, sprzyja tworzeniu mgieł, szczególnie adwekcyjnych. Oznacza to, że szczególnie na obszarze południowej Polski ważną rolę odgrywa orografia terenu, ponadto częste spadki temperatury powietrza i jego grawitacyjne sploty w kierunku dolin i kotlin powodują tworzenie zastoisk chłodu, sprzyjających tworzeniu mgieł. Ponadto w górach, szczególnie w chłodnym okresie roku, często tworzą się inwersje temperatury (w wyższych partiach gór masy powietrza mają wyższą temperaturę niż w dolinach i kotlinach górskich). Na granicy, gdzie masy powietrza się stykają, osiada warstwa mgły. We wschodniej części Polski niższe temperatury oraz dłużej zalegająca pokrywa śniegu, nad którą często dochodzi do wychłodzenia, mogą również sprzyjać tworzeniu mgieł. Należy również podkreślić, że szczególnie zimą zdarzają się dłuższe okresy występowania pogody „wyżowej”, która sprzyja tworzeniu się mgieł utrzymujących się dłużej (przez kilka dni) i obejmujących znaczny obszar. W wyróżnionym okresie częstość mgieł osiągała najwyższe wartości na lotniskach: EPKK (od 5,3 w lutym do 9,8 liczby dni z mgłą w październiku), EPLB (od 6,5 w lutym do 8,7 liczby dni z mgłą w listopadzie), EPP0 (od 5,7 w lutym do 8,5 liczby dni z mgłą w listopadzie) i EPSU (od 5,1 w lutym do 8,1 liczby dni z mgłą w listopadzie);

- w marcu mgły częściej tworzą się we wschodniej części Polski. W tym miesiącu na tych obszarach nadal panuje niska temperatura i duże wahania dobowe temperatury powietrza, często występują przymrozki. Ponadto we wschodniej części kraju występują obszary o dużej wilgotności podłoża. Wszystkie te elementy mogą sprzyjać tworzeniu mgieł, przede wszystkim radiacyjnych, które powstają w wyniku wypromieniowania ciepła w godzinach nocnych przy bezchmurnej pogodzie lub przy niewielkim zachmurzeniu i niewielkiej prędkości wiatru. Ponadto, we wschodniej części Polski, gdzie klimat ma bardziej cechy kontynentalne, w tym okresie tworzeniu mgieł może również sprzyjać pogoda wyżowa. W marcu różnice w liczbie mgieł na obszarze naszego kraju były zdecydowanie niższe niż w miesiącach chłodnego okresu roku. Częstość mgieł wahała się od 2,5 na EPWA do 5,4 na EPSU;
- w kwietniu największą częstością mgieł wyróżnia się obszar północnej Polski. Podobnie jak w marcu zróżnicowanie na obszarze kraju jest coraz mniejsze. Częstość mgieł wahała się od 1,6 na EPWA do 4 dni z mgłą na EPGD;
- od maja do września najczęściej mgły pojawiają się w południowej i południowo-wschodniej części Polski. Jest to okres sprzyjający tworzeniu mgieł, głównie radiacyjnych. W tym okresie częstość mgieł osiągała najwyższe wartości na lotniskach: EPKK (od 2,2 w lipcu do 7,2 dni z mgłą we wrześniu), EPRZ (od 3,1 w lipcu do 6,9 dni z mgłą we wrześniu) i EPWR (od 1,7 w lipcu do 6,1 dni z mgłą we wrześniu).



Rys. 5. Średnia liczba dni z mgłą w miesiącach: styczeń–czerwiec (1971–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.



Rys. 6. Średnia liczba dni z mgłą w miesiącach: lipiec–grudzień (1971–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

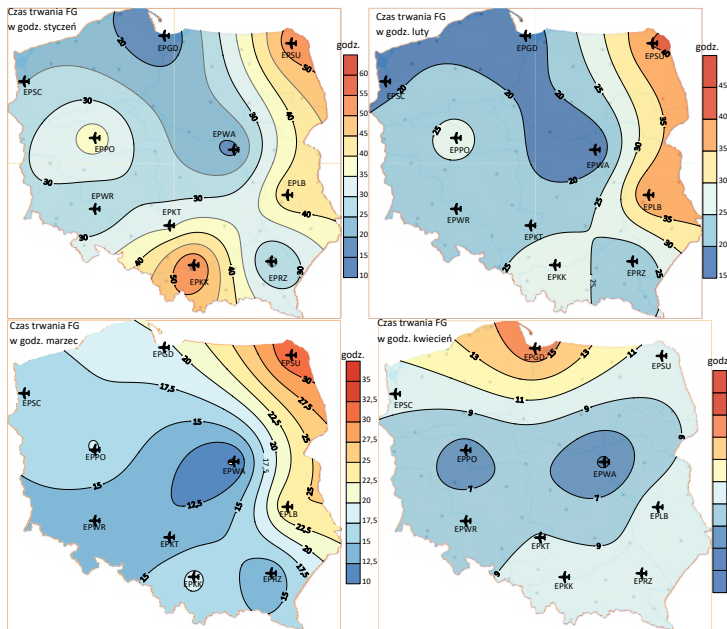
### Średni miesięczny czas trwania mgieł w godzinach

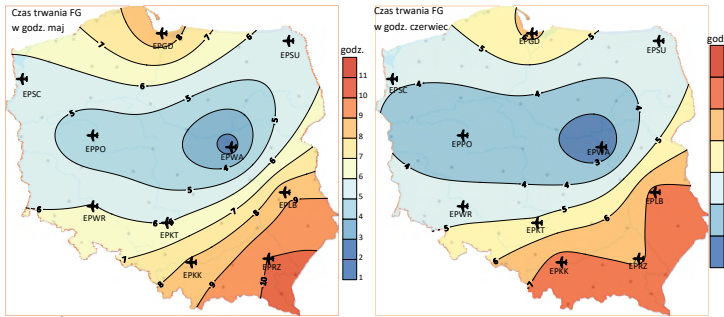
Z analizy rozkładów przestrzennych czasu trwania mgieł w godzinach wynikają następujące wnioski (rys. 7–8):

- rozkłady czasu trwania mgieł nieznacznie różnią się od rozkładów częstości występowania mgieł. W chłodnym okresie roku wyróżniają się wrzesień i październik. W tych miesiącach mgły najdłużej utrzymują się w części zachodniej, południowej i wschodniej Polski. Następnie od listopada do lutego mgły najdłużej utrzymują się na EPKK, EPSU i EPLB, czyli w południowej i wschodniej części kraju. W okresie tym rzadziej mgły pojawiają się na EPWA oraz w północnej części Polski – na EPSC

i EPGD. W wyróżnionym okresie częstość mgieł osiągała najwyższe wartości na lotniskach: EPSU (74,0 godz. w listopadzie), EPKK (63,4 godz. w grudniu), EPLB (58,0 godz. w grudniu);

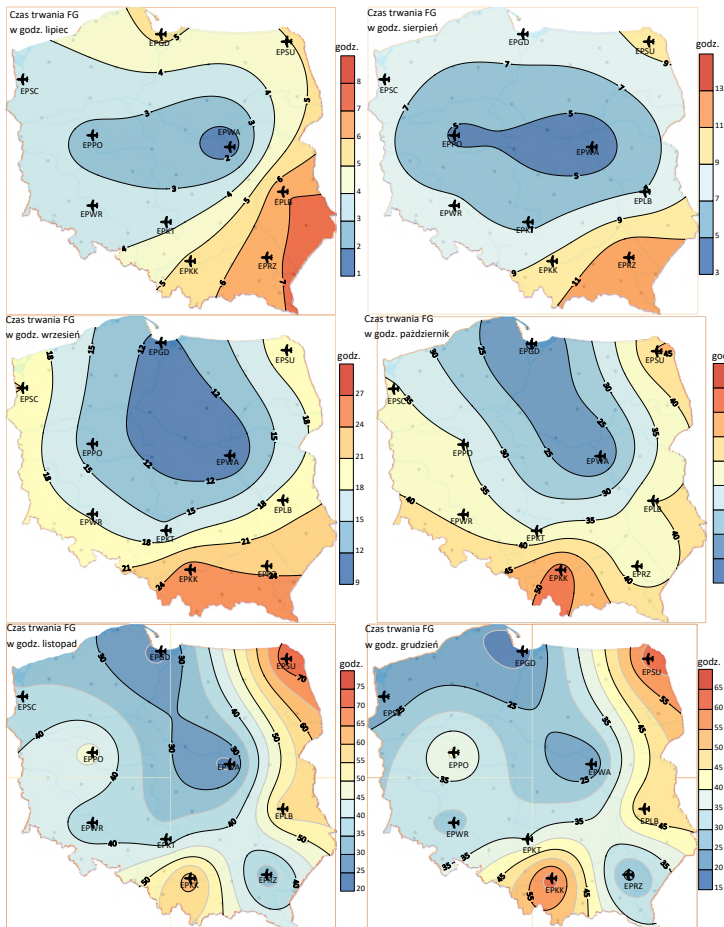
- w marcu mgły najdłużej utrzymują się we wschodniej części Polski. Częstość mgieł wahała się od 9,6 godz. na EPWA do 32,3 godz. na EPSU;
- w kwietniu na obszarze północnej Polski mgły występują najczęściej i najdłużej zalegają. Podobnie jak w marcu zróżnicowanie na obszarze kraju jest coraz mniejsze. Częstość mgieł wahała się od 4,6 godz. na EPWA do 16,6 godz. na EPGD;
- od maja do lipca rozkłady są do siebie bardzo podobne – najczęściej mgły pojawiają się w południowej i południowo-wschodniej części Polski oraz w północnej. Oznacza to, iż pomimo rzadszego występowania mgieł w północnej części kraju – w miesiącach letnich mgły na wybrzeżu utrzymują się dłużej. W tym okresie czas trwania mgieł osiągał najwyższe wartości na lotniskach: EPRZ (od 6,8 godz. w lipcu do 10,0 godz. w maju), EPGD (od 5,3 godz. w lipcu do 8,9 godz. w maju), EPLB (od 6,9 godz. w lipcu do 8,8 godz. w maju) i EPKK (od 5,2 godz. w lipcu do 8,2 godz. w maju);
- w sierpniu następuje zmiana – najdłużej mgły utrzymują się na EPRZ (13,0 godz.), EPSU (9,6 godz.) i EPKK (9,4 godz.).





Rys. 7. Średni roczny czas trwania mgieł w godzinach, w miesiącach: styczeń–czerwiec (1971–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.



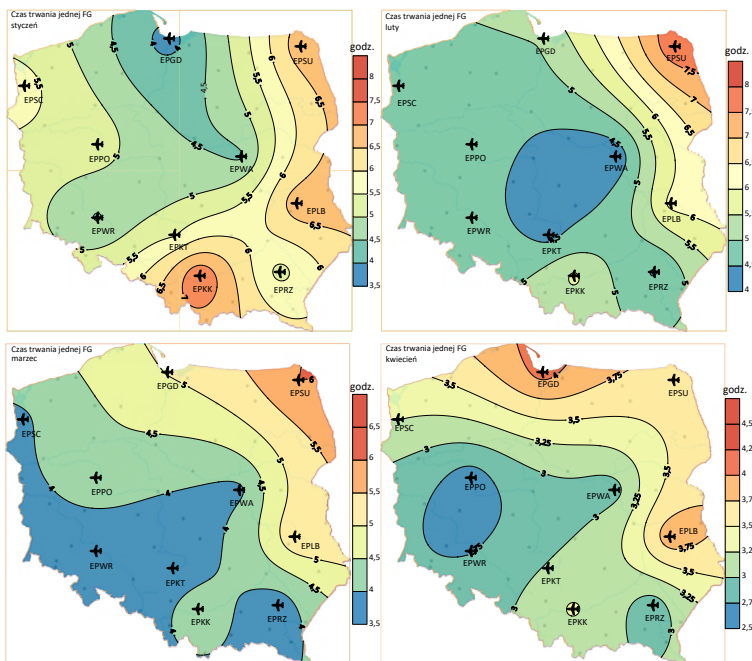
Rys. 8. Średni roczny czas trwania mgieł w godzinach, w miesiącach: lipiec–grudzień (1971–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

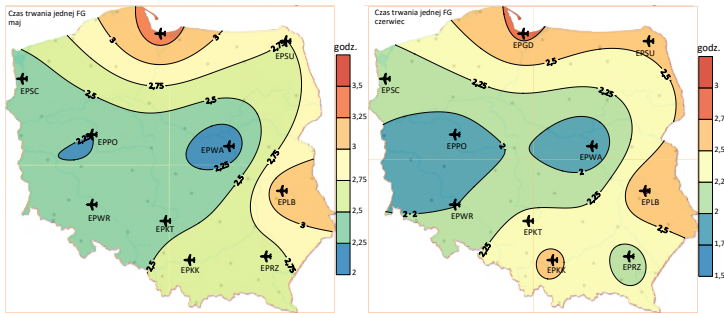
### Średni miesięczny czas trwania jednej mgły w godzinach

Ocena rozkładów przestrzennych czasu trwania jednej mgły daje ważną informacją dla lotnictwa, ponieważ pozwala określić najmniej korzystne okresy w roku, kiedy widzialność ograniczona jest do poniżej 1000 m. Z analizy rozkładów przestrzennych średniego miesięcznego czasu trwania jednej mgły w godzinach wynikają następujące wnioski (rys. 9–10):

- rozkłady czasu trwania jednej mgły są podobne do rozkładów czasu trwania mgły w godzinach. W chłodnym okresie roku wyróżniają się wrzesień i październik. W tych miesiącach czas trwania jednej mgły jest najdłuższy w części zachodniej, południowej i wschodniej Polski. Następnie od listopada do lutego średni czas trwania jednej mgły jest najdłuższy w południowej i wschodniej części kraju. W tym okresie średni czas trwania jednej mgły był najdłuższy na lotniskach: EPSU (9,2 godz. w listopadzie), EPKK (7,5 godz. w styczniu), EPLB (6,8 godz. w styczniu). Wyróżniły się również lotniska położone w północnej Polsce: EPSC (5,9 godz. w listopadzie) i EPGD (5,4 godz. w listopadzie) oraz EPPO (5,7 godz. w grudniu);
- od marca do sierpnia rozkłady średniego czasu trwania jednej mgły są bardzo podobne. Najdłużej trwają w częściach: wschodniej, południowej i północnej Polski. Szczególnie na lotniskach: EPGD, EPSU, EPLB i EPKK. Średni czas trwania jednej mgły wahał się od 1,4 godz. na EPWA do 6,0 godz. na EPSU.

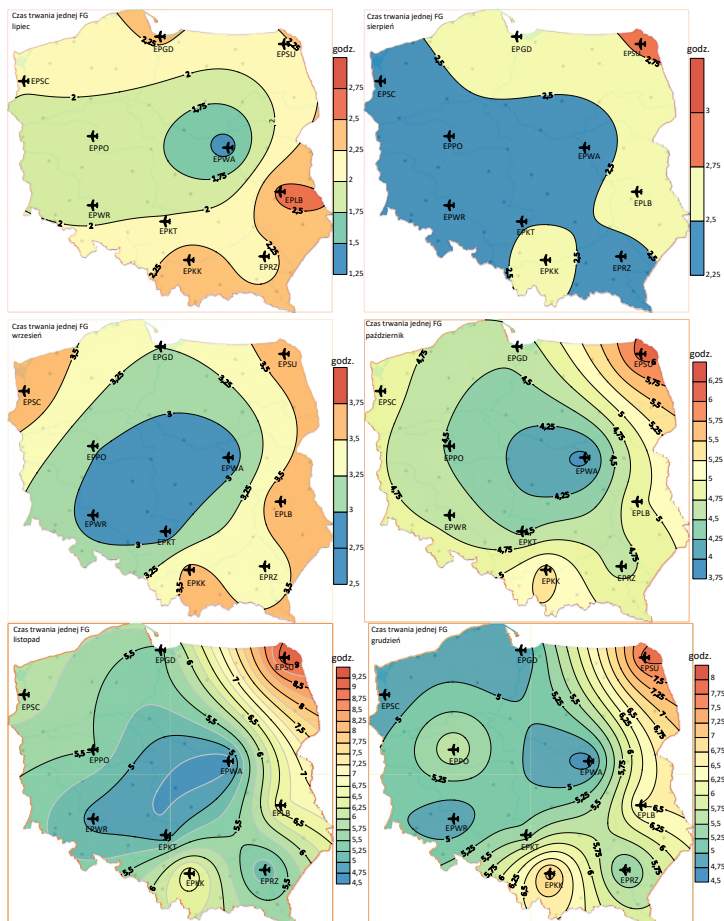






Rys. 9. Średni roczny czas trwania jednej mgły w godzinach, w miesiącach: styczeń–czerwiec (1971–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.



Rys. 10. Średni roczny czas trwania jednej mgły w godzinach, w miesiącach: lipiec–grudzień (1971–2020)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

## 7. PODSUMOWANIE I DYSKUSJA

Analiza mgieł w aspekcie wykonywania operacji lotniczych jest ważnym problemem, ponieważ ich występowanie powoduje wysokie ryzyko przy podejściu do lądowania, a w skrajnych przypadkach lądowania mogą być zawieszane. Dodatkowym zagrożeniem jest trudność w określeniu pozycji statku powietrznego względem ziemi, a w lotach z widocznością (ang. *Visual Flight Rules* – VFR) trudniej jest pilotom zauważyć kolizyjny ruch. W przypadku ograniczenia widzialności należy więc stosować się do przepisów normujących wykonywanie takich operacji, aby cały lot, start i lądowanie przebiegły według obowiązujących procedur.

W przygotowanym opracowaniu dotyczącym liczby dni z mgłą, czasu trwania oraz czasu trwania jednej mgły w godzinach, opartym o dane z okresu 1971–2020 dla dziesięciu lotnisk w Polsce, dzięki zastosowanej metodyce wykazano dużą zmienność tego elementu meteorologicznego, nie tylko w przekroju rocznym i wieloletnim, ale również w rozkładzie przestrzennym. Wiedza ta pozwoliła wskazać najważniejsze przyczyny tej zmienności, których wyjaśnienie często bywa bardzo trudne. Zależności, jakie występują w systemie klimatycznym, są bardzo złożone i wzajemnie ze sobą sprzężone. Szczególnie trudne do rozwiązania są problemy oceny, w jakim stopniu na zmienność danego elementu meteorologicznego mają wpływ procesy klimatyczne (obieg ciepła, obieg wilgoci i cyrkulacja atmosferyczna) rozpatrywane w skali globalnej, regionalnej czy lokalnej. Dodatkowo, procesy te modyfikowane są przez czynniki klimatyczne o różnej skali oddziaływania.

Z przeprowadzonej analizy wynikają następujące wnioski:

1. Najmniej korzystne warunki dla lotnictwa występują na lotniskach położonych w południowej i wschodniej części Polski.
2. Najwyższa średnia wieloletnia liczba dni z mgłą występowała na EPKK – 67,3 dni, najniższa na EPWA – 34,7 dni.
3. Biorąc pod uwagę czas trwania mgły w godzinach, najwyższe średnie roczne wartości wystąpiły na EPSU (362,7 godz.) i EPKK (349,1 godz.), najniższa na EPWA – 130,2 godz.
4. Średni roczny czas trwania jednej mgły w godzinach był mocno zróżnicowany i wahał się od 3,8 godz. na EPWA i EPRZ do 6,1 godz. na EPSU.
5. W przebiegu rocznym częstość mgieł, czas ich trwania oraz czas trwania jednej mgły osiągają największe wartości w okresie jesienno-zimowym. Jest to więc najmniej korzystny okres dla wykonywania operacji lotniczych. Najwyższe wartości występują w listopadzie, natomiast najniższe w lipcu.
6. Ważną informacją dla lotnictwa daje trend liniowy obliczony z okresu 50 lat:
  - średnia roczna liczba dni z mgłą wykazała tendencję spadkową na dziesięciu lotniskach i tendencję wzrostową na EPSU. Spadek liczby dni z mgłą na przestrzeni 50-lecia wahał się od –2,4 liczby dni z mgłą/50 lat (w EPLB) do –31,2 liczby dni z mgłą/50 lat (w EPKK). Natomiast tendencja wzrostowa wystąpiła wyłącznie na EPSU – o 18,5 liczby dni z mgłą/50 lat;

- trend liniowy czasu trwania mgły w godzinach na wszystkich lotniskach był ujemny. Spadek czasu trwania mgły na przestrzeni 50-lecia wahał się od –83 godz./50 lat (w EPSU) do –290 godz./50 lat (w EPKK).
7. Spadek liczby dni z mgłą jest skutkiem globalnych zmian klimatu. Jednakże w aspekcie wykonywania operacji lotniczych zmniejszająca się liczba dni z mgłą wpłynie na to, że liczba zagrożeń na lotniskach spowodowana ograniczeniem widzialności będzie się zmniejszała.

Porównując otrzymane wyniki do innych opracowań zawartych w literaturze dotyczącej mgły, należy stwierdzić, że pomimo, iż autorzy analizowali mgły w różnych aspektach – z uwzględnieniem liczby dni, czasu trwania mgły oraz zależności występowania tego zjawiska od typu cyrkulacji atmosferycznej – we wszystkich pracach uzyskano podobne tendencje rozkładu mgły w przebiegu rocznym. Mianowicie: Skrzyńska<sup>30</sup> badając występowanie mgły oraz jej uwarunkowania cyrkulacyjne na wybranych lotniskach w południowej Polsce, gdzie uwzględniła trzy lotniska w latach 1981–2010, otrzymała podobne wyniki – mgła najczęściej pojawiała się jesienią, szczególnie w październiku, a najrzadziej latem, szczególnie w lipcu. Największe prawdopodobieństwo pojawienia się mgły radiacyjnej występowało w typach bezadwekcyjnych, natomiast w przypadku mgły adwekcyjnej poza sektorem południowym ważną rolę odgrywał również sektor zachodni. Natomiast Śmigiera<sup>31</sup> w opracowaniu uwzględniła dane z okresu 1981–2015 z ośmiu lotnisk i wskazała, że w przypadku występowania mgły w Polsce w danym typie cyrkulacji istnieją inne istotne czynniki, które również mają wpływ na jej kształtowanie. Różnice wynikają między innymi z wpływu warunków lokalnych, przede wszystkim rzeźby terenu, a także obecność zbiorników wodnych. W przypadku mgły, szczególnie radiacyjnej, znajduje to potwierdzenie w wynikach otrzymanych w niniejszej pracy. W pracach innych autorów otrzymane wyniki dotyczące częstości i czasu trwania mgieł w przebiegu rocznym były podobne. Na uwagę zasługuje analiza mgieł przedstawiona w opracowaniu *Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku – Ryzyko wystąpienia mgły*<sup>32</sup>. W opracowaniu dokonano analizy danych z 53 stacji synoptycznych za okres 1971–2005. Określono między innymi trendy zmian liczby dni z mgłą. Uznając mgłę za zjawisko bardzo groźne, głównie określono jej zmienność z roku na rok i za cały okres 1971–2005, by wykazać jej tendencję występowania w rejonach najbardziej obfitujących w mgłę. Otrzymano – podobnie jak w niniejszej pracy – bardzo duże różnice w częstości występowania mgły. Zaobserwowano zaskakująco duże spadki średniej liczby dni z mgłą od 1971 r. na stacji w Opolu, Krakowie i Zielonej Górze. Natomiast największy wzrost liczby dni z mgłą (ponad 7 dni) odnotowuje się w Kielcach (głównie ze względu na przeniesienie stacji meteorologicznej w pobliżu zbiornika wodnego oraz rzeki). Analiza trendu wykazała spadek liczby dni z mgłą na zachodzie i w centralnej części kraju, a wzrost na wschodzie Polski. Stwierdzono, że czynnik antropogeniczny może wywierać duży wpływ na

<sup>30</sup> M. Skrzyńska, *Występowanie mgły...*, dz. cyt.

<sup>31</sup> S. Śmigiera, *Cyrkulacyjne uwarunkowania...*, dz. cyt.

<sup>32</sup> *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo...*, dz. cyt.

zmniejszenie się liczby dni z mgłą. W niniejszym opracowaniu dla 10 lotnisk otrzymano, że na wszystkich lotniskach w okresie ostatnich 50 lat trendy liniowe wykazały tendencję spadkową.

## BIBLIOGRAFIA

### Artykuły i monografie

Błaś M., Sobik M., *The distribution of fog frequency in the Carpathians*, „Geographia Polonica” 2004, nr 77.

Compa T., Rajchel J., *Meteorologia dla pilota*, WSOSP, Dęblin 2012.

Głowacka A., Bąkowski R., Wiązewski W., Paradowski M., *Weather patterns: conditions preceding fog formation at Warsaw and Cracow airports*, [w:] *Proceedings, Short range forecasting methods of fog, visibility and low clouds*, red. S.C. Michaelides, Larnaca 2005.

Jafernik H., Wilczek Z., Ziarko J., *Meteorologiczna osłona działań lotnictwa*, DM Bellona, Warszawa 2000.

Jaśkowiak A., *Lotnicza pogoda – Meteorologia dla pilotów*, 2013.

Kirschenstein M., *Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w północno-zachodniej Polsce*, Słupsk 2013.

Kłęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju. Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku – Ryzyko wystąpienia mgły, red. H. Lorenz, IMGW–PIB, Warszawa 2012.

Łupikasza E., Niedźwiedz T., *Synoptic climatology of fog in selected locations of southern Poland (1966-2015)*, „Bulletin of Geography, Physical Geography Series” 2016, nr 11, DOI: 10.2478/11196.

Mazon J., Rojas J.I., Lozano M., Pino D., Prats X., Miglietta M.M., *Influence of meteorological phenomena on worldwide aircraft accidents in the periods 1967-2010*, 2017, <https://doi.org/10.1002/met.1686>.

*Meteorologia dla pilotów. Poradnik*, Dowództwo Sił Powietrznych, Warszawa 2012.

*Meteorologiczna osłona kraju. Vademecum. Niebezpieczne zjawiska meteorologiczne geneza, skutki, częstość występowania, część druga – jesień, zima*, praca zbiorowa, IMGW–PIB, Warszawa 2013.

Piwkowski H., *Rozkład mgieł w Polsce i ich długotrwałość*, „Przegląd Geofizyczny” 1976, nr 21.

Skomorowski A., Piotrowski P., *The occurrence of fog at meteorological stations located on the airport in Poland in the years 2005-2015*, „Przegląd Geofizyczny” 2018, nr 4.

Skrzyńska M., *Występowanie mgły na wybranych lotniskach w Południowej Polsce i jego uwarunkowania cyrkulacyjne*, „Prace Geograficzne” 2019, nr 158, DOI: 10.4467/20833113PG.19.014.10918.

Sobczyk M., *Statystyka*, Warszawa 2005.

Stolot A., *Liczba dni z mgłą na lotnisku Katowice-Pyrzowice w latach 2005-2010 w oparciu o typy cyrkulacji atmosfery*, [w:] *Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko*, red. R. Machowski, M. Rzętała, Sosnowiec 2013.

Szewczak P., *Meteorologia dla pilota samolotowego*, AVIA-TEST, Poznań 2007.

Szewczak P., *Meteorologia dla pilota samolotowego*, Seria Szkolenia „AVIA-TEST”, Poznań 2010.

Śmigiera S., *Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania mgieł na wybranych lotniskach w Polsce*, „Przegląd Geofizyczny” 2021, R. LXVI, z. 1–2.

Ustrnul Z., Czekerda D., *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*, IMGW, Warszawa 2009.

Wiążewski W., Bąkowski R., *Sytuacje synoptyczne sprzyjające wystąpieniu mgieł na lotnisku Kraków-Balice*, [w:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, red. K. Piotrowicz, R. Twardosz, IGiGP UJ, Kraków 2007.

## Dokumenty

---

Instrukcja zabezpieczenia meteorologicznego działań powietrznych Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (IZMDP-2022) wprowadzona do użytku Decyzją Nr 1/SG Ministra Obrony Narodowej z dnia 20 stycznia 2023 r. DU-3.3.31.8.

Wytyczne SSH SZ RP w sprawie programu wykonywania pomiarów i obserwacji elementów meteorologicznych oraz metodyki opracowywania depesz SYNOP, METAR, SPECI I TAF. Edycja (F), SSH SZ RP, Warszawa, styczeń 2023.

Wytyczne SSH SZ RP w sprawie niebezpiecznych zjawisk pogody (NZP) i warunków meteorologicznych zagrażających bezpieczeństwu działań powietrznych, SSH SZ RP, Warszawa, marzec 2023.

Wytyczne SSH SZ RP w sprawie autoryzowanych źródeł informacji hydrologiczno-meteorologicznej; wzorów formularzy ostrzeżeń na potrzeby działań powietrznych; wzorów opracowanych informacji meteorologicznych i dokumentacji, SSH SZ RP, Warszawa, marzec 2023.

Wytyczne SSH SZ RP w sprawie wprowadzenia ostrzeżeń lotniczych obszarowych w formie graficznej do planowania i realizacji zabezpieczenia meteorologicznego zadań lotniczych, SSH SZ RP, Warszawa, grudzień 2022.

Załącznik 3 do Konwencji ICAO „Służba meteorologiczna dla międzynarodowej żeglugi powietrznej”, wyd. 20, lipiec 2018.

## Źródła internetowe

---

<https://www.ipcc.ch/>.

<http://regiony-projekt.gozych.edu.pl/>.



**Stepan SAVCHUK**

Polish Air Force University  
 e-mail: s.savchuk@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0002-2475-9666

**Janusz ĆWIKLAK**

Polish Air Force University  
 e-mail: j.cwiklak@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0001-5538-0440

**Vladyslav KERKER**

Lviv Polytechnic National University  
 e-mail: vladyslav.kerker.mhdkh.2022@lpnu.ua  
 ORCID: 00009-0007-3756-8125

DOI: 10.55676/asi.v3i1.54

## ACCURACY ASSESSMENT OF PRECISE POINT POSITIONING WITH MULTI-CONSTELLATION GNSS DATA UNDER STRONG SOLAR BURST EFFECTS

OCENA DOKŁADNOŚCI PRECZYJNEGO POZYCJONOWANIA PUNKTÓW NA PODSTAWIE DANYCH MULTI-GNSS PRZY SILNYM WPŁYWIE ROZBŁYSKÓW SŁONECZNYCH

### Abstract

Solar variations modify a layer of the Earth's upper atmosphere known as the ionosphere. This is of particular concern for the aviation sector because of the way its communications and navigation systems can be affected. At the same time, one of the most complex atmospheric effects is the response of ionospheric regions to geomagnetic storms. The ionospheric response during the same storm can vary in time in different locations, which can introduce significant errors/displacement (meters) in single-frequency relative GNSS positioning (DGNSS technology). The residual effect can be somewhat mitigated by using dual- or multi-frequency GNSS, but dual frequency is not a guarantee against degradation of relative observations results, especially during significant geomagnetic storms. In this regard, PPP absolute positioning technology can be effective. However, another atmospheric effect – ionospheric scintillation can have a significant impact on the accuracy of both GNSS positioning approaches. The main goal of this study was to analyze the effect of second-order ionospheric delay during geomagnetic storms and ionospheric scintillations on GNSS positioning using the PPP method. GNSS data corrected

### Streszczenie

Wahania aktywności Słońca modyfikują górną warstwę atmosfery Ziemi, zwaną jonosferą. Jest to szczególnie niepokojące dla sektora lotnictwa ze względu na wpływ, jaki może to mieć na jego systemy łączności i nawigacji. Jednocześnie jednym z najbardziej złożonych efektów atmosferycznych jest reakcja obszarów jonosfery na burze geomagnetyczne. Reakcja jonosfery podczas tej samej burzy może zmieniać się w czasie w różnych lokalizacjach, co może powodować znaczne błędy/przemieszczenia (rzędu kilku metrów) we względnym pozycjonowaniu GNSS przy jednej częstotliwości (technologia DGNSS). Efekt resztkowy można w pewnym stopniu złagodzić, stosując dwu- lub wieloczęstotliwościowy GNSS, jednak podwójna częstotliwość nie gwarantuje zapobiegania degradacji wyników względnych obserwacji, szczególnie podczas silnych burz geomagnetycznych. Pod tym względem skuteczna może być technologia pozycjonowania absolutnego PPP. Jednak inny efekt atmosferyczny – scyntylacja jonosferyczna może mieć znaczący wpływ na dokładność obu podejść do pozycjonowania GNSS. Głównym celem pracy była analiza wpływu opóźnienia jonosferycznego drugiego rzędu podczas burz geomagnetycznych i scyntylacji jonosferycznych na pozycjonowanie

and uncorrected for higher-order ionospheric delay, respectively, were processed by the static PPP-AR method using the PRIDE-PPPAR ver.2.2.6 software for the selected periods of geomagnetic storms. From the analysis of the influence of second-order ionospheric errors, it follows that their values can reach almost 4 cm for first-frequency signals under different states of ionospheric disturbances for the GPS constellation and almost an order of magnitude less for the GNSS quadroconstellation. The appearance of stronger geomagnetic storms increases the second-order ionospheric errors by several millimeters.

**Keywords:** GNSS, precise point positioning (PPP), geomagnetic storm effects, ionosphere, second-order ionospheric term

GNSS metodą PPP. Dane GNSS skorygowane i nieskorygowane pod kątem opóźnienia jonosferycznego wyższego rzędu przetworzono statyczną metodą PPP-AR z wykorzystaniem oprogramowania PRIDE-PPPAR wersja 2.2.6 dla wybranych okresów burz geomagnetycznych. Z analizy wpływu błędów jonosferycznych drugiego rzędu wynika, że ich wartości mogą sięgać prawie 4 cm dla sygnałów pierwszej częstotliwości w różnych stanach zaburzeń jonosferycznych dla konstelacji GPS i prawie o rząd wielkości mniej dla kwadrokonstelacji GNSS. Pojawienie się silniejszych burz geomagnetycznych zwiększa błędy jonosferyczne drugiego rzędu o kilka milimetrów.

**Słowa kluczowe:** GNSS, precyzyjne pozycjonowanie punktów (PPP), burze geomagnetyczne, ionosfera, opóźnienia jonosferyczne drugiego rzędu

## 1. INTRODUCTION

Today, the requirements for stability of operation and accuracy of global navigation systems (GNSS) are constantly increasing. With the improvement of GNSS technologies, the accuracy and stability of data from these systems increasingly depends on the signal propagation environment, mainly on the state of the ionosphere. The Earth's ionosphere is a heterogeneous plasma containing a high concentration of ionized gas molecules. It is quite heterogeneous, which is why the density of ionized gas varies depending on the place of observation and time. Radio signals in the satellite-to-Earth path can be significantly affected by the disturbed ionosphere. This can lead to severe jitter in the amplitude and phase of the radio signals used in GNSS systems and affect the performance of these systems.

The analysis of the relationship between space weather and aviation is a relatively new and intensively developing research topic<sup>1,2,3,4,5</sup>. Since early 2002, the International Civil Aviation Organization (ICAO) has been assessing the need to provide space weather information for international air navigation during solar flares, and now ICAO provides real-time and worldwide space weather updates to aviation to help

<sup>1</sup> G. Hubert, S. Aubry, *Study of the impact of past extreme solar events on the modern air traffic*, "Space Weather" 2021, vol. 19.

<sup>2</sup> C. Marque, K.L. Klein, C. Monstein, H. Opgenoorth, A. Pulkkinen, S. Buchert, S. Krucker, R. van Hoof, P. Thulesen, *Solar radio emission as a disturbance of aeronautical radionavigation*, "J. Space Weather Space Clim" 2018, vol. 65.

<sup>3</sup> H. Haukka, A.M. Harri, K. Kauristie, J. Andries, M. Gibbs, P. Beck, J. Berdermann, L. Perrone, B. van den Oord, D. Berghmans, N. Bergeot, E. De Donder, M. Latocha, M. Dierckxsens, H. Haralambous, I.M. Stanslawski, V. Wilken, V. Romano, M. Kriegel, K. Österberg, *PECASUS - ICAO Designated Space Weather Service Network for Aviation*, EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-7650.

<sup>4</sup> K. Kauristie, J. Andries, P. Beck, J. Berdermann, D. Berghmans, C. Cesaroni, E. De Donder, J. de Patoul, M. Dierckxsens, E. Doornbos et al., *Space Weather Services for Civil Aviation – Challenges and Solutions*, "Remote Sens" 2021, vol. 13.

<sup>5</sup> G. Grunwald, A. Ciečko, T. Kozakiewicz, K. Krasuski, *Analysis of GPS/EGNOS Positioning Quality Using Different Ionospheric Models in UAV Navigation*, „Sensors" 2023, vol. 23(3).



ensure flight safety<sup>6</sup>. Today, the growing concern about space weather in aviation is mainly related to safety concerns, as safety is indeed at its core. However, the real impact of space weather on aviation may go far beyond safety issues. We still do not know which aspects of aviation will be affected by space weather and how space weather will affect certain aspects of aviation.

Changes in the ionosphere are amplified during periods of increased solar activity, which occur at the beginning and peak of the next solar cycle, and GNSS users experience two distinct effects:

The first effect – directly increased ionospheric activity – can introduce large errors/displacements (up to 15 meters) in single-frequency DGNSS due to the inability of the differential process to minimize the effect of the ionospheric delay between the reference station and the user. When using GNSS technologies based on two or more frequencies, the influence of the ionosphere can be eliminated almost completely, although, depending on the choice of differential approaches (double-differenced observation) or absolute positioning (undifferenced GNSS processing), this procedure has its own peculiarities in these two approaches. This becomes especially noticeable in the conditions of geomagnetic storms.

The second effect is scintillation, which is a rapid fluctuation in the amplitude and phase of GNSS signals as they pass through the ionosphere. These fluctuations can have a significant impact on the accuracy of GNSS positioning and even cause complete loss of satellite signals. Flicker occurs mainly in the evening along the geomagnetic equator. This leads to fluctuations in the amplitude and phase of the carrier phase signal, additional noise, or even loss of communication with the satellite. This can result in a reduction in the number of usable GNSS satellites. Scintillation effects are typically observed six hours after sunset, but cannot be predicted.

Increased ionospheric activity is correlated with the following factors:

- sunspot activity – increased ionospheric activity associated with the 11-year solar cycle;
- solar and magnetic storms – cause increased ionospheric activity;
- geographic location – highest activity along the geomagnetic equator and in polar regions;
- seasonal variations – increased activity on the vernal and autumnal equinoxes;
- daily variations – maximum effects are usually observed one hour after local sunset to midnight.

The current solar cycle 25 began in December 2019 and will last until approximately 2030 with an expected peak in July 2025. This cycle is already showing signs of exceeding predicted levels with significantly elevated levels of solar activity that are growing faster than expected. Thus, Solar flares (SFs), coronal mass ejections (CMEs) and solar energetic particles (SEPs) are typical space weather events.

---

<sup>6</sup> International Civil Aviation Organization, Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation - Meteorological Service for International Air Navigation; Technical report; ICAO, Canada, Montréal 2018.

A large number of works have been devoted to the study of the impact of various space weather factors (geomagnetic storms, solar flares, etc.) on the stability and accuracy of GNSS positioning<sup>7, 8, 9</sup>. Over the past ten years, numerous and extensive studies have focused on the morphology and mechanisms of ionospheric storms based on the TEC (Total Electron Content) of the ionosphere derived from GNSS data and revealed some features of global and local storm evolution.

It should be noted that GNSS technologies have been significantly updated during this time (multi-frequency multi-GNSS, high-precision products, PPP with ambiguity resolution, etc.) and this, accordingly, affects the quality of applications, including ionospheric research.

A significant number of scientific GNSS applications require high accuracy of positioning and time transmission. Differential GNSS (relative positioning method), based on a network of observation stations, is currently the best tool for achieving such accuracy, as it usually eliminates most of the errors that affect satellite signals. However, for most scientific GNSS applications of the highest accuracy, this network approach leads to significant correlations and very often eliminates local environmental features. Precision point positioning (PPP) is an absolute positioning method that originated as an alternative to the relative positioning method. This method has been widely used in many applications in recent years, especially with the widespread introduction of precision products from various scientific organizations and institutions. An important source of error in PPP is the residual higher-order (second- and third-order) ionospheric error<sup>10</sup> (Elsobeiey and El-Rabbany, 2011) after the first-order ionospheric error has been removed by dual-frequency combinations of observations.

The goal of this paper is to analyze the effect of second-order ionospheric delay during geomagnetic storms and ionospheric scintillations on GNSS positioning using the PPP method. Three experiments were conducted to investigate the relationship between the effect of second-order ionospheric delay on the calculated coordinates during geomagnetic storms.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Datasets and Processing Strategies

The observation data used in our study were collected from GNSS stations of the EPN (EUREF Permanent Network) network located in the eastern half of Poland and the

<sup>7</sup> S. Bassiri, G.A. Hajj, *Higher-order ionospheric effects on the global positioning system observables and means of modeling them*, "Manuscr. Geod." 1993, vol. 18, 280.

<sup>8</sup> W. Zhang, D.H. Zhang, Z. Xiao, *The influence of geomagnetic storms on the estimation of GPS instrumental biases*, "Ann Geophys" 2009, vol. 27, p. 1613–1623.

<sup>9</sup> M. Garcia-Fernandez, S. Desai, M. Butala, A. Komjathy, *Evaluation of different approaches to modeling the second-order ionospheric delay on GPS measurements*, "J. Geophys. Res. Space Phys." 2011, vol. 118, p. 7864–7873.

<sup>10</sup> M. Elsobeiey, A. El-Rabbany, *Impact of second-order ionospheric delay on GPS precise point positioning*, "J. Appl. Geophys." 2011, vol. 5, p. 37–45.

western part of Ukraine (see Figure 1). Since there were only 7 stations from this network in this region: JOZE00POL (Jozefoslaw, POL), USDL00POL (Ustrzyki Dolne, POL), KRAW00POL (Krakow, POL), BPD00POL (Biala Podlaska, POL), SULP00UKR (Lviv, UKR), RVNE00UKR (Rivne, UKR), FRA200UKR (Ivano-Frankivsk, UKR), several stations from the national reference GNSS networks VRSNET (Poland) were taken to provide sufficient latitude and longitude coverage: DLIN (Deblin), and ZAKPOS (Ukraine): KOEL (Kovel). It should be noted that the main station at which the entire range of studies was carried out was the GNSS station DLIN (Deblin, PL). At the other stations, only control studies were conducted to verify the results obtained.

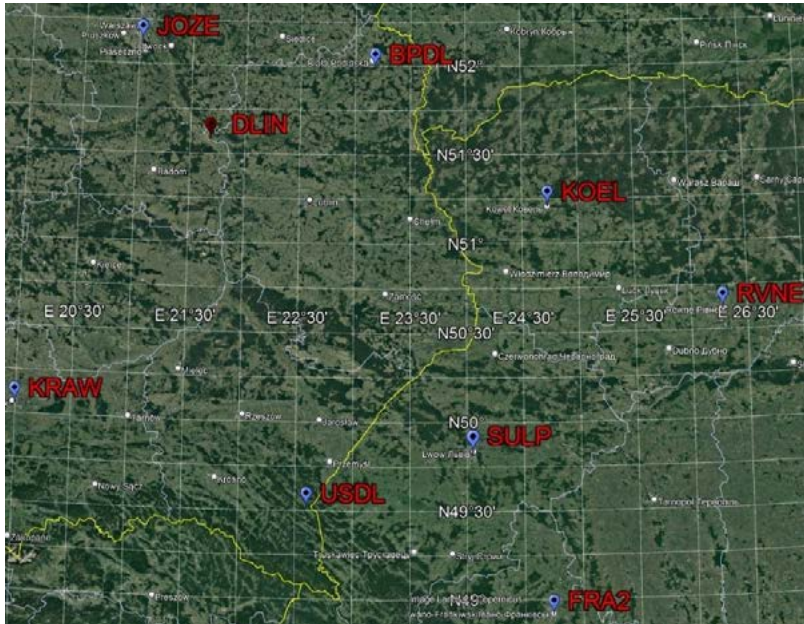


Figure 1. The distribution of GNSS stations used for analysis

Source: own study.

GNSS datasets from the first half of 2023 were generated on the selected dates to investigate the influence of second-order effects under different ionospheric conditions. Table 1 shows the values of increased geomagnetic parameters from February to June 2023 according to various international centers GODDARD Space Flight Center<sup>11</sup>, World Data Center in Kyoto<sup>12</sup>, SpaceWeatherLive<sup>13</sup>, GFZ German Research Center for Geosciences<sup>14</sup>, SPACE WEATHER PREDICTION CENTER<sup>15</sup>. In January and

<sup>11</sup> <https://omniweb.gsfc.nasa.gov> [access: 25.08.2023].

<sup>12</sup> <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html> [access: 25.08.2023].

<sup>13</sup> <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity.html> [access: 25.08.2023].

<sup>14</sup> <https://www.gfz-potsdam.de/en/section/geomagnetism/data-products-services/geomagnetic-kp-index> [access: 25.08.2023].

<sup>15</sup> <https://www.swpc.noaa.gov/products-and-data> [access: 25.08.2023].

July, no extreme indicators were observed, although they were slightly higher than the background.

Table 1. Geomagnetic disturbances in the first half of 2023

Date	Substorm class	Kp Index	Ap Index	Solar flares	
02	11		3+	8	X1.1
	15	G1	5+	27	M2.0
	16	G1	5	23	M1.1
	17		3	6	X2.2
	26	G2	6-	24	C5.4
	27	G3	7-	91	C4.5
	28	G2	6-	26	M8.62
03	04		4	20	X2.07
	23	G3	7	55	B9.6
	24	G4	8	73	C2
	25		4-	14	C1.6
	29		2	18	X1.2
04	23	G4	8+	65	C2.2
	24	G4	8	72	C2.8
05	6	G2	6	29	C5.2
	20	G2	6-	32	M8.96
	21	G2	6-	26	M2.6
06	15	G1	5+	26	C9.6
	16	G2	6	32	M1.0

Source: own study based on: SpaceWeatherLive<sup>16</sup> for getting substorm class and solar flares values; GFZ German Research Center for Geosciences<sup>17</sup> for obtaining Kp and Ap index.

As can be seen from Table 1, the largest geomagnetic storm in this period of time was observed on March 24 and April 23–24, respectively (class G4), while the highest solar activity was observed on February 11, 17, and March 4 and April 10. This is confirmed by the data shown in Figure 2.

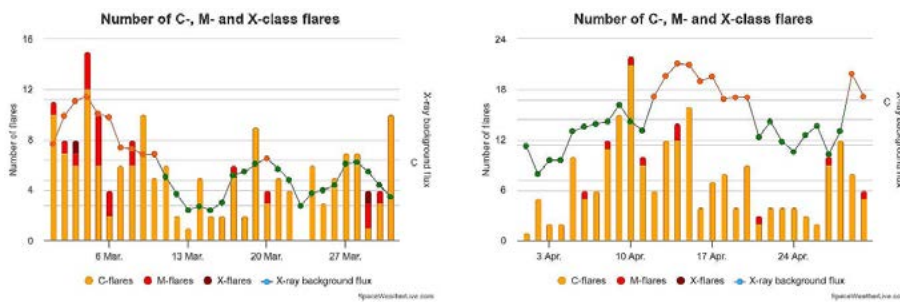


Figure 2. Solar activity (number and classes of solar flares) in March and April 2023

Source: SpaceWeather Live resource, <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/solar-cycle.html> [access: 25.08.2023].

<sup>16</sup> <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity.html> [access: 25.08.2023].

<sup>17</sup> <https://www.gfz-potsdam.de/en/section/geomagnetism/data-products-services/geomagnetic-kp-index> [access: 25.08.2023].

Based on the above data, it is impossible to predict the peaks of ionospheric activity on GNSS signals. It may be necessary to conduct an in-depth analysis of the impact of solar-magnetic coupling on a particular region of the Earth. This can be seen more clearly based on the behavior of the so-called Index-95, a value obtained from the analysis of data from a network of active reference stations. Thus, according to the ASG-EUPOS network<sup>18</sup>, the highest ionospheric activity was observed on February 15, March 23–24, and April 23–24. It was somewhat lower on May 20–21 and June 15–16, 2023. Figure 3 shows the temporal change of the Index95 on the specified dates, where its anomalous values are clearly visible.

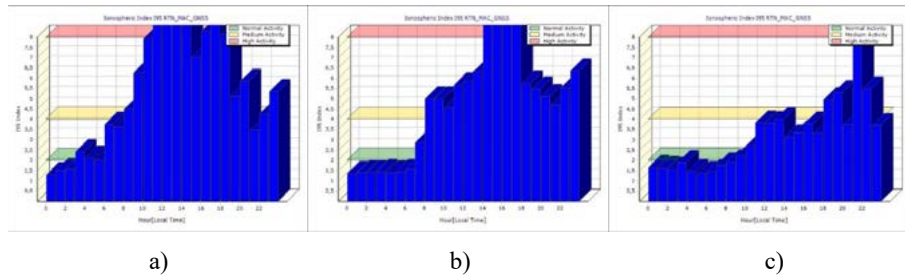


Figure 3. Ionospheric activity (Index95) on February 15 (a), March 23 (b) and April 23 (c), 2023  
 Source: ASG-EUPOS website, <https://system.asgeupos.pl/Iono/Ionosphere.aspx> [access: 25.08.2023].

Figure 4a shows a graph of changes in the TEC parameter obtained from the GNSS data of the DLIN station in the GPS-TEC analysis software package for February 15, 2023. For comparison, a similar change on a calmer day – May 17, 2023 – is shown next to it (Figure 4b).

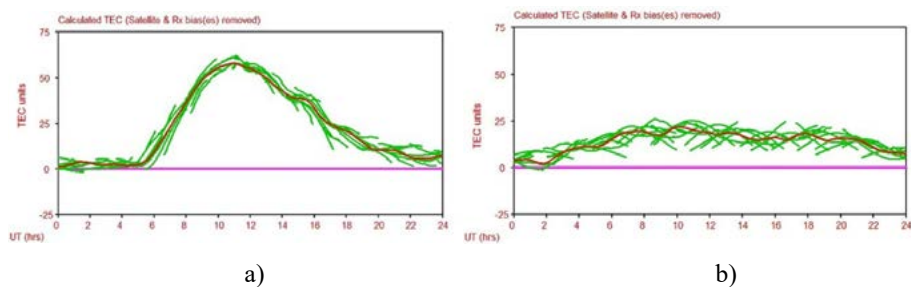


Figure 4. Ionospheric activity (TEC) on February 15 (a) and May 17 (b), 2023  
 Source: own study.

<sup>18</sup> <http://www.asgeupos.pl/> [access: 25.08.2023].

Next, we define the periods when ionospheric storms occurred as the “active period” (DOY<sup>19</sup> 45-48, DOY 82-84, DOY 109-114), and the period with low geomagnetic index and solar index as the “quiet period” (DOY 134-138) in 2023. It was for these periods that we processed the GNSS data. The „silent period” was considered to be, when the ionosphere is in its natural undisturbed state, and the processing results were considered to be control.

Table 2 summarizes the details of the PPP processing strategy. The processing itself was carried out in a Linux environment using the PRIDE PPP-AR software package<sup>20</sup>. The peculiarity of the processing was the double determination of the coordinates of the observation stations: first, it was carried out without taking into account the second-order ionosphere, and then with it. It should also be noted that the processing mode used was kinematic in the form of a fixed solution.

Table 2. Processing strategies of precise point positioning (PPP)

Item	Processing strategies
GNSS satellites	GPS, GLONASS, Galileo, BDS-2/3
File format	RINEX-3 support
Satellite product	Satellite orbit, Satellite clock, ERP, Quaternions, Code/phase bias (Precise products)
Tides (solid/ocean/pole)	Corrected
Observation	Ionosphere-free (IF) combination
Sampling rate	10 s
Elevation mask	7°
Weight for observations	Elevation-dependent weighting scheme
Estimator	Kalman filter
Ionosphere	With and without second-order corrections
Tropospheric mapping function	VMF3
Tropospheric wet delay	Estimated as random-walk model
Tropospheric gradients	Estimated as random-walk model
Phase center offset and variation	IGS Convention
Phase windup effect	Corrected

Source: own study.

From the initial data obtained from the “active period” (calculated coordinates), it is possible to determine the coordinate difference by comparing the coordinates of the “silent period” (control coordinates) with the calculated coordinates. These differences were further used to analyze the influence of second-order ionospheric errors.

## 2.2. Methodology

When a GNSS signal propagates through the ionosphere, phase advance and code delay occur, and its trajectory is bent. If we take into account the fact that at inclination angles > 7–10°, the trajectory bending error is about three orders of magnitude smaller than the phase delay error, the total ionospheric delay error can

<sup>19</sup> DOY –Day Of Year.

<sup>20</sup> J. Geng, X. Chen, Y. Pan et al., *PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution*. *GPS Solutions*, “GPS Solut.” 2023, vol. 23: 91, 2019.

be represented by the sum of the ionospheric delay values of the first, second and third orders<sup>21</sup>:

$$I = \frac{e^2}{8\pi^2 \cdot \epsilon_0 \cdot m \cdot f^2} \int N_e ds + \frac{-\mu_0 \cdot e^3 \cdot B_0 \cdot \cos\theta}{16\pi^3 \cdot \epsilon_0 \cdot m^2 \cdot f^3} \int N_e ds + \frac{-e^2}{128\pi^4 \cdot \epsilon_0^3 \cdot m^2 \cdot f^4} \int N_e ds \quad (1)$$

Where:

$e = 1,60218 \cdot 10^{-19}$  is the amount of charge carried by the electron;

$f$  is the carrier frequency;  $\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12}$  is the vacuum dielectric coefficient;

$m = 9,10939 \cdot 10^{-31}$  is the electron mass;

$B_0$  is the geomagnetic field strength along the propagation path;

$\theta$  is the angle between the GNSS signal propagation direction and the geomagnetic field;

$\int N_e ds$  represents the path integral of electron  $N_e$  from satellite  $s$  to receiver  $r$ .

Traditionally, to correct the first-order ionospheric delay, ionospheric-free combinations (IF) are formed, leaving the second- and third-order terms uncorrected.

As can be seen from Equation (1), to account for the influence of the second-order ionosphere, the values of  $B_0$ ,  $\theta$  and integral  $\int N_e ds$  must be known. As for the first two parameters, they can be determined based on a known magnetic field model and ephemeris information for a particular observation station. That is, the magnetic field vector  $B_0$  for the ionospheric piercing point (IPP) can always be calculated from a model, for example, IGRF-12<sup>22</sup>, and the angle  $\theta$  can be calculated from the given satellite ephemeris files and station coordinates. The time-dependent electron density  $N_e = N_e(\varphi, \lambda, h, t)$ , after integration along the beam path between the satellite position  $P^s$  and receiver  $P_r$ , is assumed to be equal to the total electron content (STEC – Slant Total Electron Content):

$$STEC(P^s, P_r, t) = \int_{P^s}^{P_r} N_e(\varphi, \lambda, h, t) ds. \quad (2)$$

Thus, the second component of equation (1), which is associated with the second-order ionospheric correction, can be represented as a function of STEC and geomagnetic induction. In this study, the global model IGRF 12 was used to obtain the geomagnetic induction<sup>23</sup>.

STEC can be calculated from dual-frequency GNSS observations<sup>24</sup>:

$$STEC = \frac{1}{40,3} \times \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{f_2^2 - f_1^2} \times [(P_1 - P_2) - c \cdot (DCB_r + DCB_s)] \quad (3)$$

<sup>21</sup> F.K. Brunner, M. Gu, *An improved model for the dual frequency ionospheric correction of GPS observations*, "Manuscr. Geod." 1991, vol. 16, p. 205–214.

<sup>22</sup> <https://www.ncei.noaa.gov/products/international-geomagnetic-reference-field> [access: 25.08.2023].

<sup>23</sup> E. Thébaud, C.C. Finlay, C.D. Beggan, P. Alken, J. Aubert, O. Barrois, E. Canet, *International geomagnetic reference field: The 12th generation*, "Earth, Planets and Space" 2015, vol. 67(1), p. 79.

<sup>24</sup> M. Fritsche, R. Dietrich, C. Knöfel, A. Rülke, S. Vey, M. Rothacher, P. Steigenberger, *Impact of higher-order ionospheric terms on GPS estimates*, „Geophys. Res. Lett.” 2005, vol. 32, p. L23311.

where  $DCB_s$  is the differential code shift in the satellite path, which can be obtained from the Center for Orbit Determination in Europe<sup>25</sup>,  $DCB_r$  is the differential code shift in the receiver path, which can be determined based on the assumption that VTECs calculated from different satellites at a certain inclination angle are close to each other<sup>26</sup>. Then, the receiver's  $DCB_r$  can be estimated by minimizing the standard deviation of the VTECs. Another approach to estimating the  $DCB_r$  is based on using the vertical TEC value from the global ionospheric map (GIM) based on linearly constrained least squares methods<sup>27</sup>. The residual term  $\epsilon$  is the unmodeled error. The conversion of STEC to VTEC is achieved by introducing an isotropic reflection function depending on the slope angle.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Given that the second-order ionospheric delay is a function of the TEC and the geomagnetic field, three experiments were conducted to investigate the relationship between the effect of this delay on the calculated coordinates during geomagnetic storms and the reference coordinates of the observation station.

The first experiment consisted of comparing the projected values from the vertical TPP, which was obtained from the global ionospheric maps (GIM)<sup>28</sup> from CODE, the  $STEC_{GIM}$  values and the calculated  $STEC_{Calc}$  values obtained from GNSS data of the selected observation stations in the GPS-TEC analysis software package<sup>29</sup>. The comparison was based on the differences in coordinates (reference and calculated) for all selected GNSS stations. The calculated coordinates when using  $STEC_{GIM}$  were determined by taking into account the second-order ionosphere directly from the PRIDE PPP-AR software package. Topocentric coordinates were obtained in a similar way, but with the replacement of  $STEC_{Calc}$ . The result was the differences in topocentric coordinates  $\Delta N$ ,  $\Delta E$ ,  $\Delta U$  for all stations and selected observation periods. The trends in these differences were very similar for the selected stations. Table 3 shows the statistical indicators for the DLIN GNSS station.

<sup>25</sup> CODE – Center for Orbit Determination in Europe, <http://ftp.aiub.unibe.ch/> [access: 25.08.2023].

<sup>26</sup> Y. Zhang, F. Wu, N. Kubo, A. Yasuda, *TEC measurement by single dual-frequency GPS receiver*, In Proceedings of the 2003 International Symposium on GPS/GNSS, Tokyo, Japan, 15–18 November 2003, pp. 351–358.

<sup>27</sup> M. Keshin, *A new algorithm for single receiver DCB estimation using IGS TEC maps*, "GPS Solut." 2012, vol. 16, pp. 283–292.

<sup>28</sup> M. Hernández-Pajares, J.M. Juan, J. Sanz, R. Orus, A. Garcia-Rigo, J. Feltens, A. Komjathy, S.C. Schaer, A. Krankowski, *The IGS VTEC maps: A reliable source of ionospheric information since 1998*, "Journal of Geodesy" 2009, vol. 83(3–4), p. 263–275.

<sup>29</sup> <https://seemala.blogspot.com/search/label/GPS-TEC%20RINEX%20analysis> [access: 25.08.2023].



Table 3. Statistical results of checking the coordinate differences (with  $STEC_{GIM}$  and  $STEC_{Calc}$ ) for DLIN station, mm

Differences of topocentric coordinates	DOY 45-48			DOY 82-84			DOY 109-114		
	mean	max	min	mean	max	min	mean	max	min
$\Delta N$	1,06	2,14	1,18	1,30	2,88	1,54	2,00	3,45	1,02
$\Delta E$	1,14	3,01	-0,56	1,66	2,65	1,23	1,95	3,24	1,01
$\Delta U$	2,01	3,22	1,10	2,46	3,18	0,84	2,78	3,25	1,14

Source: own study.

As can be seen from Table 3, the differences in topocentric coordinates (control and calculated) show that their maximum values with the replacement of  $STEC_{GIM}$  with  $STEC_{Calc}$  do not exceed 1–2 mm.

The second experiment concerned the study of the intensity of ionospheric inhomogeneities by calculating the rate of change of TEC –  $\vartheta_{TEC}$ . For this purpose, the difference of TEC of adjacent epochs divided by the sampling interval was determined:

$$\vartheta_{TEC} \left( \text{in } \frac{TECU}{\text{minute}} \right) = \frac{STEC_{Calc}(t+\Delta t) - STEC_{Calc}(t)}{\Delta t} \tag{4}$$

In our studies, the sampling interval was 10 s (see Table 2). We chose 5-minute intervals for estimating  $\vartheta_{TEC}$ , to obtain a sufficiently high temporal resolution without implying any specific geomagnetic phenomenon. Table 4 shows the maximum values of  $\vartheta_{TEC} \left( \frac{TECU}{\text{minute}} \right)$  for «quiet period» (DOY 134–138) and «active periods» (DOY 45–48, DOY 82–84, DOY 109–114) for the selected GNSS stations.

Table 4. Statistical results of estimating the velocity  $\vartheta_{TEC} \cdot \frac{TECU}{\text{minute}}$

GNSS stations	DOY 134-138	DOY 45-48	DOY 82-84	DOY 109-114
JOZE	0,35	4,25	5,18	6,12
USDL	0,34	4,18	5,54	6,01
SULP	0,34	4,51	5,09	5,96
DLIN	0,46	5,62	6,00	6,24
BPDL	0,41	5,53	5,91	6,14
KRAW	0,50	5,81	5,98	5,99
KOEL	0,53	5,44	6,05	6,02
RVNE	0,49	4,98	5,88	6,00
FRA2	0,51	5,72	5,95	6,22

Source: own study.

Thus, using a statistical analysis of the 10-second sampling rate, the threshold of the velocity  $\vartheta_{TEC}$  or calm geomagnetic conditions – the “quiet period” according to the data of GNSS stations of the Polish-Ukrainian border is determined as 0,45 TECU/min. This same velocity shows good consistency across stations during

the period of calm ionosphere and becomes noticeably variable during periods of geomagnetic storms.

The third experiment was focused on detecting the influence of the second-order ionosphere in the conditions of geomagnetic storms. It concerned only the GPS constellation and the GNSS quadroconstellation, respectively. The comparison was based on the differences in coordinates (control and calculated) for all selected GNSS stations. The calculated coordinates were determined taking into account the second-order ionosphere (with ion) and without it (no ion). The result was the differences of topocentric coordinates dN, dE, dU for all stations and selected observation periods. The trends in these differences were very similar for the selected stations. Figure 5 shows the changes in the differences in the coordinates of the DLIN GNSS station for DOY 046 when using only the GPS constellation. When comparing these differences for all three periods of geomagnetic storms, it turned out that they could reach up to 4 cm.

Similarly, Figure 6 shows the changes in the differences in the coordinates of the DLIN GNSS station for DOY 046 when using the GNSS quadroconstellation. When comparing these differences for all three periods of geomagnetic drills, it turned out that they can reach up to 0.5 cm.

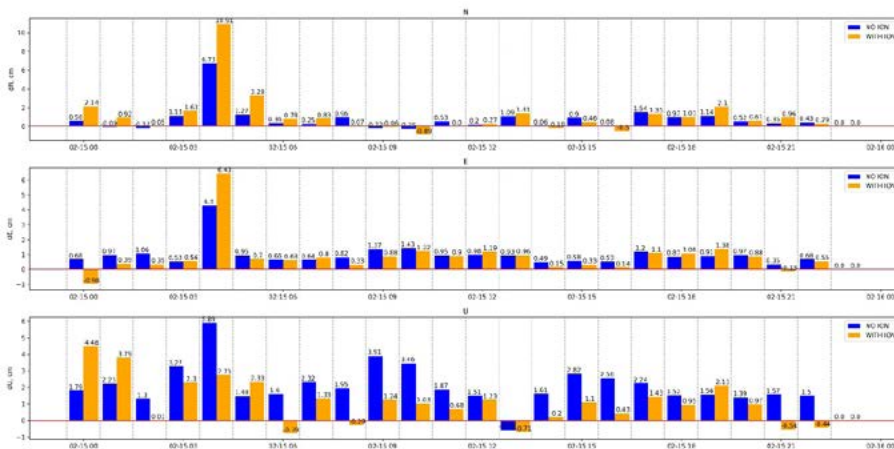


Figure 5. Changes in coordinate differences of the DLIN GNSS station for DOY 046 when using only GPS constellation  
 Source: own study.

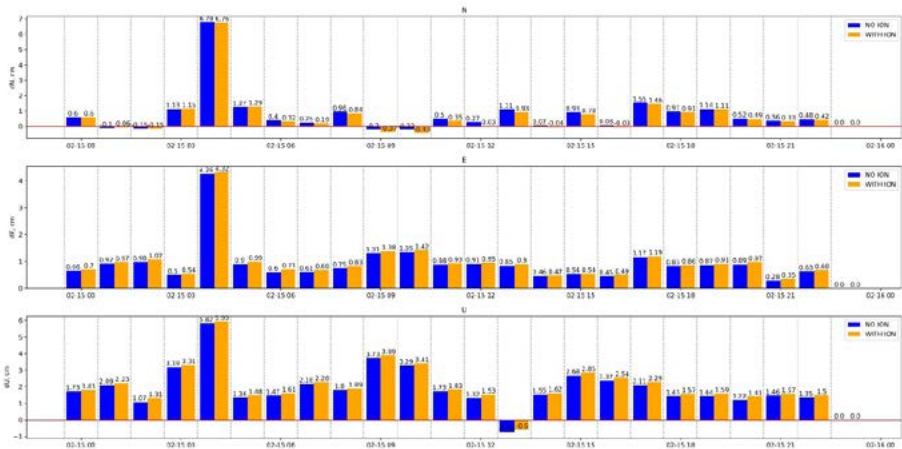


Figure 6. Changes in coordinate differences of the DLIN GNSS station for DOY 046 when using the GNSS quadroconstellation

Source: own study.

Thus, second-order ionospheric effects, if not properly accounted for, can affect the estimation of many parameters: tectonic motion rates, zenith topsospheric delays, horizontal tropospheric gradients, high-precision satellite orbit determination, differential coded offsets in the satellite-receiver path, etc.<sup>30, 31, 32, 33</sup>

#### 4. CONCLUSIONS

In this study, a PPP-AR approach with quad-constellation (GPS, GLONASS, BDS and Galileo) is proposed to detect the effect of second-order ionospheric corrections on GNSS positioning during geomagnetic storms. GNSS data selected for the “active periods” for the first half of 2023 (DOY 45-48, DOY 82-84, DOY 109-114) were corrected and uncorrected for second-order ionospheric delay when processed by the static PPP-AR method using the PRIDE-PPPAR ver.2.2.6 software.

- <sup>30</sup> T. Hadas, A. Krypiak-Gregorczyk, M. Hernández-Pajares, *Impact and implementation of higher-order ionospheric effects on precise GNSS applications*, “J. Geophys. Res. Solid Earth” 2017, vol. 122, pp. 9420–36.
- <sup>31</sup> L. Yankiv-Vitkovska, S. Savchuk, *Monitoring the Earth Ionosphere by Listening to GPS Satellites*, [in:] *Knowledge Discovery in Big Data from Astronomy and Earth Observation. AstroGeoinformatics. Book*, ed. Petr Škoda, Fathalrahman Adam, 2020, pp. 385–404.
- <sup>32</sup> Li. Hang, W. Zemin, C. Xiangbin, G. Jingxue, L. Lin, S. Bo, *The effect of the second-order ionospheric term on GPS positioning in Antarctica, Arctic, Antarctic, and Alpine*, “Research” 2020, vol. 52(1), pp. 210–221.
- <sup>33</sup> F. Zus, Z. Deng, J. Wickert, *The impact of higher-order ionospheric effects on estimated tropospheric parameters in Precise Point Positioning*, “Radio Sci.” 2017, vol. 52, pp. 963–971.

## Main conclusions:

1. To take into account the influence of the second-order ionosphere, the value of the magnetic field vector  $B_0$  for the point of penetration into the ionosphere must be known (we used the IGRF-12 model for this purpose, the angle between the direction of propagation of the GNSS signal and the geomagnetic field  $\theta$  (we used satellite ephemeris files and the coordinates of the observation station) and the first-order ionospheric delay STEC. The PRIDE-PPPAR program uses the projected  $STEC_{GIM}$  from the vertical TEC, which was obtained from the global ionospheric maps (GIMs) from CODE. We also used the calculated values of  $STEC_{Calc}$  obtained from GNSS data of selected observation stations in the GPS-TEC analysis software package. The comparative analysis showed that the calculated  $STEC_{Calc}$  values are slightly more accurate than the  $STEC_{GIM}$  values modeled by GIM, but for the second order of the ionosphere this turned out to be insignificant.
2. Since the observation stations were selected at almost the same local time, the same parameter from different stations shows good temporal consistency (when outliers are eliminated). This made it possible to focus on a more detailed analysis of only one station. We only note that when the TEC changes  $> 6$  TECU/min, the correlation of the same parameter from different stations decreases. However, the correlation improves significantly when the data is averaged daily.
3. From the analysis of the influence of the second-order ionosphere, it follows that its non-consideration can reach an error in coordinates of up to 4 cm for the first-frequency signals for the GPS constellation and almost an order of magnitude less for the GNSS quadroconstellation under different states of ionospheric disturbances. The emergence of stronger geomagnetic storms increases the second-order ionospheric errors by several millimeters.

---

Acknowledgments: The authors would like to thank EUREF Permanent Network (EPN) for providing the regional GNSS data and Center for Orbit Determination in Europe (CODE) for providing DCB products and the Global Ionospheric Map (GIM) as a reference ionosphere background. We thank the GNSS Research Center, Wuhan University for releasing the package PRIDE PPP-AR and Dr. Gopi Krishna Seemala from Indian Institute of Geomagnetism for the development of a computer program GPS-TEC analysis for calculation TEC from the GNSS observation.

## BIBLIOGRAPHY

- Bassiri S., Hajj G.A., *Higher-order ionospheric effects on the global positioning system observables and means of modeling them*, "Manuscr. Geod." 1993, vol. 18.
- Brunner F.K., Gu M., *An improved model for the dual frequency ionospheric correction of GPS observations*, "Manuscr. Geod." 1991, vol. 16, <https://doi.org/10.1134/S0016793207020120>.

Elmas Z.G., Aquino M., Marques H.A., *Higher order ionospheric effects in GNSS positioning in the European region*, "Ann. Geophys." 2011, vol. 29, <http://doi.org/10.5194/angeo-29-1383-2011>.

Elsobeiey M., El-Rabbany A., *Impact of second-order ionospheric delay on GPS precise point positioning*, "J. Appl. Geophys." 2011, vol. 5, <http://doi.org/10.1515/jag.2011.004>.

Fritsche M., Dietrich R., Knöfel C., Rülke A., Vey S., Rothacher M., Steigenberger P., *Impact of higher-order ionospheric terms on GPS estimates*, "Geophys. Res. Lett." 2005, vol. 32, <https://doi.org/10.1029/2005GL024342>.

Garcia-Fernandez M., Desai S., Butala M., Komjathy A., *Evaluation of different approaches to modeling the second-order ionospheric delay on GPS measurements*, "J. Geophys. Res. Space Phys." 2011, vol. 118, <http://doi.org/10.1002/2013JA019356>.

Geng J., Chen X., Pan Y. et al., *PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution*, "GPS Solutions" 2019, vol. 23, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10291-019-0888-1>.

Grunwald G., Ciećko A., Kozakiewicz T., Krasuski K., *Analysis of GPS/EGNOS Positioning Quality Using Different Ionospheric Models in UAV Navigation*, "Sensors" 2023, vol. 23, <https://doi.org/10.3390/s23031112>.

Hadas T., Krypiak-Gregorczyk A., Hernández-Pajares M., *Impact and implementation of higher-order ionospheric effects on precise GNSS applications*, "J. Geophys. Res. Solid Earth" 2017, vol. 122, <http://doi.org/10.1002/2017JB014750>.

Hang Li, Zemin Wang, Xiangbin Cui, Jingxue Guo, Lin Li, Bo Sun, *The effect of the second-order ionospheric term on GPS positioning in Antarctica, Arctic, Antarctic, and Alpine*, "Research" 2020, vol. 52(1), <https://doi.org/10.1080/15230430.2020.1742062>.

Haukka H., Harri A.M., Kauristie K., Andries J., Gibbs M., Beck P., Berdermann J., Perrone L., van den Oord B., Berghmans D., Bergeot N., De Donder E., Latocha M., Dierckxsens M., Haralambous H., Stanislawski I.M., Wilken V., Romano V., Kriegel M., Österberg K., *PECASUS - ICAO Designated Space Weather Service Network for Aviation*, EGU General Assembly 2020, 4–8 May 2020, EGU2020-7650, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-7650>.

Hernández-Pajares M., Juan J.M., Sanz J., Orus R., Garcia-Rigo A., Feltens J., Komjathy A., Schaer S.C., Krankowski A., *The IGS VTEC maps: A reliable source of ionospheric information since 1998*, "Journal of Geodesy" 2009, vol. 83 (3–4), <https://doi.org/10.1007/s00190-008-0266-1>.

Hoque M.M., Jakowski N., *Higher order ionospheric effects in precise GNSS positioning*, "J. Geod." 2007, vol. 81, <https://doi.org/10.1007/s00190-006-0106-0>.

Hubert G., Aubry S., *Study of the impact of past extreme solar events on the modern air traffic*, "Space Weather" 2021, vol. 19, e2020SW002665, <https://doi.org/10.1029/2020SW002665>.

ICAO, Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation-Meteorological Service for International Air Navigation, Technical report, Canada, Montréal 2018.

Kauristie K., Andries J., Beck P., Berdermann J., Berghmans D., Cesaroni C., de Donder E., de Patoul J., Dierckxsens M., Doornbos E., et al., *Space Weather Services for Civil Aviation—Challenges and Solutions*, “Remote Sens.” 2021, vol. 13, <https://doi.org/10.3390/rs13183685>.

Keshin M., *A new algorithm for single receiver DCB estimation using IGS TEC maps*, “GPS Solut.” 2012, vol. 16, <http://doi.org/10.1007/s10291-011-0230-z>.

Liu Z., Li Y., Guo J., Li F., *Influence of higher-order ionospheric delay correction on GPS precise orbit determination and precise positioning*, “Geod. Geodyn.” 2016, vol. 7, <http://doi.org/10.1016/j.geog.2016.06.005>.

Marque C., Klein K.L., Monstein C., Opgenoorth H., Pulkkinen A., Buchert S., Krucker S., van Hoof R., Thulesen P., *Solar radio emission as a disturbance of aeronautical radionavigation*, “J. Space Weather Space Clim.” 2018, vol. 65, <http://doi.org/10.1051/swsc/2018029>.

Thébault E., Finlay C.C., Beggan C.D., Alken P., Aubert J., Barrois O., Canet E., *International geomagnetic reference field: The 12th generation*, “Earth, Planets and Space” 2015, vol. 67(1), <https://doi.org/10.1186/s40623-015-0228-9>.

Yankiv-Vitkovska L., Savchuk S., *Monitoring the Earth Ionosphere by Listening to GPS Satellites*. In: *Knowledge Discovery in Big Data from Astronomy and Earth Observation*, AstroGeoinformatics. Book, ed. P. Škoda, A. Fathalrahman, 2020, <https://doi.org/10.1016/C2018-0-02187-8>.

Zhang W., Zhang D.H., Xiao Z., *The influence of geomagnetic storms on the estimation of GPS instrumental biases*, “Ann Geophys” 2009, vol. 27, <https://doi.org/10.5194/angeo-27-1613-2009>.

Zhang Y., Wu F., Kubo N., Yasuda A., *TEC measurement by single dual-frequency GPS receiver*, Proceedings of the 2003 International Symposium on GPS/GNSS, Tokyo, Japan, 15–18 November 2003.

Zus F., Deng Z., Wickert J., *The impact of higher-order ionospheric effects on estimated tropospheric parameters in Precise Point Positioning*, “Radio Sci.” 2017, vol. 52.

#### Internet resources

GPS-TEC RINEX analysis website, <https://seemala.blogspot.com/search/label/GPS-TEC%20RINEX%20analysis>.

*Precise products*, <ftp://igs.gnsswhu.cn/pub/whu/phasebias/>.

**Andrzej FELSKI**

 Polish Naval Academy  
 e-mail: a.felski@amw.gdynia.pl  
 ORCID 0000-0002-0326-3397

**Tomasz KOWALIK**

 Polish Navy  
 (no ORCID No.)

DOI: 10.55676/asi.v3i1.51

## SOFTWARE DEFINED RADIO AND OPEN SOFTWARE AS A CRITICAL THREAT FOR UNMANNED OBJECTS

RADIO PROGRAMOWALNE I OTWARTE OPROGRAMOWANIE JAKO KRYTYCZNE ZAGROŻENIE DLA OBIEKTÓW BEZZAŁOGOWYCH

### Abstract

Implementation of the Global Navigation Satellite Systems into almost all aspects of life causes the specific, new troubles in the form of jamming and spoofing. The origin of the problem comes from the fact that power of received signals are weak, and format and modulation of the signals are publicly known. If so, it seems to be easy to transmit falsified data to the receiver. However in the opinion of some specialists the idea to generate false signals with GNSS structure seems to be very complicated. In this paper will be shown that in fact, this can be conducted with use of cheap and widely accessible tools, without demanding any extraordinary skills nor great funds. If so, this threat gathers the new meaning. Described experiment was performed within the framework of student's thesis on major navigation with the cheap software defined radio and open sources software, accessible via Internet.

**Keywords:** GPS threatened, jamming, spoofing, SDR

### Streszczenie

Zastosowanie globalnych, satelitarnych systemów nawigacyjnych w niemal każdym aspekcie życia powoduje powstanie specyficznego, nowego zagrożenia pod postacią zagłuszenia lub fałszowania sygnałów satelitarnych. Przyczyną problemu jest to, że sygnały docierające do Ziemi są niezwykle słabe, zaś ich struktura i sposób modulacji są powszechnie znane. W tej sytuacji nietrudno wyemitować w kierunku odbiornika sygnały fałszywe. Jednak w opinii wielu specjalistów próba wyemitowania fałszywych sygnałów posiadających taką strukturę jak te, które są emitowane przez satelity, wydaje się niezwykle złożona. W artykule wykazano, że w istocie można tego dokonać, posługując się tanimi i powszechnie dostępnymi narzędziami bez potrzeby posiadania nadzwyczajnych umiejętności lub funduszy. Jeśli tak, to zagrożenie nabiera nowego znaczenia. Opisany eksperyment został wykonany w ramach pracy nad pracą magisterską z nawigacji w oparciu o tanie radio programowalne oraz bezpłatne, dostępne za pośrednictwem Internetu oprogramowanie.

**Słowa kluczowe:** zagrożenie dla GPS, zagłuszenie, fałszowanie, radio programowalne

## 1. INTRODUCTION

GPS – like systems are considered to be extremely accurate, very reliable, and this is a reason why Global Navigation Satellite Systems are implemented into almost all aspects of life. Now it is especially important for all unmanned vehicles when the GNSS receiver is treated as the self-evident data source about the position and the movement. However the power of GNSS signals received on the earth is very weak. This is a reason why it is easily subjected to environmental interference or deliberate generated transmissions of radiofrequency signals in the receiver's band. This is a very general jamming, which is more and more comprehended issue these days. In effect this can be observed as a decline of received signals power, ongoing until the moment of entire blockade of the receivers circuits. Whereas, spoofing refer to generate signals that acquire the identical structure with these which are transmitted from satellites, however contains false data. This leads to the situation when receiver's work seems to be correct while presented parameters can be completely false. Such process is available to complete with using equipment similar to this which is installed on satellites. In such case, the spoofing seems to be very difficult and expensive task.

There is a lot of papers about spoofing, which is in fact – some kind of hacking. Mentioned threats can refer to plenty areas of the human activity, such as the tracking some goods (precious or hazardous), traffic control (railways, air, car, as well as marine). A separate problem is the use of these systems in electronic commerce, what is inseparable with the general tracking cell phones users. What is more, the average GPS user does not realize, how important is the time synchronization in nowadays word and how commonly GPS is in use as the precise time-scale. Intention of this paper is to communicate how easy is the process of spoofing and how big threat it can create. The paper describes experiments with spoofing GPS receiver with the device built on the basis of easy and cheap electronic elements and software free-accessible via Internet.

This paper is divided into three parts. At the beginning of the text, the importance of this problem is mentioned. In the second one some general information about discussed spoofing process is given. And finally some results of spoofing experiments made with free-accessible components are presented.

## 2. BACKGROUND OF THE SURVEY

Description of all details of open GNSS signals can be found in official documents so all information for this procedure, such as frequency of the signal, modulation, as well as message content are known. So the procedure of evaluate false signal can be easily generate with the proper application and radio-transmitter. Such signal will be interpreted as correct satellite signal in the receiver although it will consists the false navigation data. But in the opinion of many experts this is impossible to force the receiver to receive spoofer's signals when if it tracking real satellite signals. This



is because the spoofer's signal is recognised in this moment as the same signals. So in the some sense receiver is "closed" on additional signals with the same codes (SV identifiers). These opinions were crossed out in 2013, when the research team of University of Texas led by Professor Humphreys successfully demonstrate spoofing<sup>1</sup>. Similar experiment was conducted by researchers from Stanford and Cornell Universities<sup>2</sup>. Then they proved, as highly vulnerable to spoofing is GPS receiver and how it is difficult for the user to detect this attack.

Spoofing possibilities became showed not only in the academic area. Very brightly it is visible on the military field. According to some suspicions, incident with the US RQ-170 "Sentinel" drone forced to landing in December 2011 on Iran territory is the example of spoofing attack<sup>3</sup> what is a first example of this threat for autonomous objects. There are suggestions, that Iranians adopted spoofing and in addition they sent some wrong instructions to this object. Anyway finally they caused the mentioned drone to land on enemies territory. In turn December 2012, Iran announced that they captured the next US drone by using the same technology<sup>4</sup>. According to US Coast Guard, in June 2017 at least 20 ships near the Novorossiysk at Black Sea had incorrect GPS positioning. There are opinions, that this is the evidence that Russians can use spoofing too<sup>5</sup>. Today can be found a lot the suggestion in the press that Russians universally use this technique in Ukraine that to counteract the weapon which is based on GPS.

Problem of jamming or spoofing the GPS is very common in field of maritime transportation. Lot of announcements is accessible on web page of Navigation Centre of US Coast Guard. For example, the message of 23, August of 2022 (GPS Problem Report, 2022) which can be interpreted as jamming activity at the beginning and spoofing as the next: "Merchant ship in the area of Strait of Hormuz informs as they approached Dubai area they experienced loss of GPS signal. It took 4 hours before signal was back. Ship reports other ships informing on VF 16 channel that they too have lost GPS signal. Ship informs losing GPS signal in all systems and receivers (GPS, Sat C, Satellite Log, AIS). GPS signal would come back for a minute, however it would show wrong location and back at Das Island. Ship informs total of 4 hours experienced without GPS. All GPS issues started 2 hours before passing Abu Musa Island and 2 hours after passing the island"<sup>6</sup>. In this message should be noticed, that wrong work of GPS receiver means in the same time problems with many other devices,

<sup>1</sup> T.E. Humphreys, B.M. Ledvina, M.L. Psiaki, B.W. O'Hanlon, P.M. Kintner Jr., *Assessing the spoofing threat: Development of a portable GPS civilian spoofer*. In ION GNSS 21st. International Technical Meeting of the Satellite Division, Savannah, GA, 16–19 September 2008.

<sup>2</sup> M.L. Psiaki, T.E. Humphreys, *GNSS spoofing and detection*. Proc. IEEE, vol. 104, no. 6, pp. 1258–1270, Jun. 2016. DOI: 10.1109/JPROC.2016.2526658.

<sup>3</sup> S. Bian, Y. Hu, B. Ji, *Research status and prospect of GNSS anti-spoofing technology*. Scientia Sinica Informationis, vol. 47, no. 3, pp. 275–287, 2017. DOI: 10.1109/AIM.2017.8014219.

<sup>4</sup> D. Cenciotti, *Iran has captured another U.S. spy drone. Once again with minimal damage*, The Aviationist, 4.12.2012, <https://theaviationist.com/2012/12/04/scan-eagle/> [access: 20.05.2022].

<sup>5</sup> D. Goward, *Mass GPS Spoofing Attack in Black Sea?* The Maritime Executive, <https://www.maritimeexecutive.com/editorials/mass-gps-spoofing-attack-in-black-sea> [access: 12.07.2022].

<sup>6</sup> GPS Problem Report/ Status/Navigation Center, <https://www.navcen.uscg.gov/contact/gps-problem-report> [access: 23.08.2022].

as Sat communication, Automatic Identification System (AIS), Satellite Compass etc., and this can mean the entire loss of the control over the autonomous vessel and AIS blocked. This seems to be extremely important in the context of unmanned vessels in the future<sup>7</sup>.

Mentioned above cases are bound with activities of professionals, who surely possessed the very complicated equipment. The question comes into being, whether this is possible for not specialists?

### 3. METHODOLOGY OF SPOOFING THE GPS

According to many references, for example<sup>8</sup>, the GPS spoofing attacks must consist of two steps: at first, the attacker lures the victim GPS receiver to migrate from the legitimate signal to the spoofing signal (takeover step). This phase can be either brute forced or smooth. In the first case, a spoofer simply transmits the false signals at a high power, causing the victim to lose track of the satellites and lock-on to the stronger spoofing signals. In this version, some “jump” of receiver position and/or speed as well as course can be observed. If so, some method of cross-checking of the data from different navigation sources can be implemented as a method for alarming the user. In this variant, the spoofer produces for himself false ephemerides data. In contrast, smooth takeover begins by transmitting signals synchronized with the original ones and then the false signal should be amplified over the original one to cause the migration. The advantage of smooth takeover is the stealthiness since it will not generate abnormal “jumps” in the received signal. However, smooth takeover requires specialized hardware to real-time track and synchronize with the original signals at the victim’s location. Next, in the second step, the attacker can manipulate the GPS receiver by either shifting the signals’ arrival time or modifying the navigation messages. This case is difficult to notice by the GPS user without any additional information. Regardless of the employed technique, spoofing demands the radio transmitter working in the GPS band. If the transmitter has to broadcast signals in the GPS structure, the system for the formation of these signals is indispensable. It is important to remember that these signals contain navigational data, suitable codes, and, what is the most important, need to be precisely timed. In smooth mode, the attacker must synchronize their own system with real satellites, so authentic ephemerides are needed. All that suggests the extraordinary complexity of the process and the necessity of the possession of specialistic tools, but in fact all these elements are easily accessible. A transmitter can be made with software-defined radio when the rest is accessible via Internet as a free software.

<sup>7</sup> A. Felski, K. Zwolak, *The Ocean-Going Autonomous Ship – Challenges and Threats*, J. Mar. Sci. Eng. 2020, 8, 41, DOI: 10.3390/jmse8010041.

<sup>8</sup> T.E. Humpreys et al., *Assessing the spoofing...*, op. cit.; M.L.Psiaki, T.E.Humpreys, *GNSS spoofing...*, op. cit.

## 4. EXPERIMENTS

Described cases were acquired within the framework of student's diploma thesis<sup>9</sup>. In experiments the programmable radio HackRF One, by Great Scott Gadgets<sup>10</sup> was applied. This is the very popular device with advantage of the low price and the wide range of the frequency, from 1 to 6 MHz. The device can be used both as the receiver, and as the transmitter.



Figure 1. Software-defined radio used for experiments

Source: photo authors.

In the experiment the device was used as the transmitter generating signals about the GPS structure. Software was applied from `hackrf_transfer.exe`<sup>11</sup>. For these experiments, the antenna ANT500 (product of the same company) with the band from 1 up to 75MHz has been used. Connections of the device with computer was realised with cable with connectors micro-USB and USB-A. As the interference for GPS was produced, important is the power of the transmitter. HackRF One is equipped with one controlled output with the maximum power in the antenna port of 50mA/3,3V. During experiments, which was conducted in the closed area of Polish Naval Academy, transmitter worked with the minimum power. In practice the range of the system was no more than of 5 meters from the spoofer.

For the experiment following elements were regulated:

- transmitted frequency in 1575,42MHz;
- sampling rate (possible is from 2 to 20 Million samples per sec);
- amplifier (On/Off);
- level of the signal gain in db.

At a beginning the transmitted radio signal were verified with the use of spectrum analyser RSA5100A of Textronix. Figure 2 presents the result of the analysis of the generated signal. Here transmitter is connected to the analyser with the cable. On

<sup>9</sup> T. Kowalik, *Capabilities to disturb GNSS systems*, Master thesis (in Polish), Polish Naval Academy, Gdynia 2022.

<sup>10</sup> Great Scott Gadgets, <https://github.com/greatscottgadgets/hackrf> [access: 12.05.2022].

<sup>11</sup> User osqzss, GitHub, <https://github.com/osqzss/gps-sdr-sim> [access: 12.05.2022].

the graph apparently that the central frequency of the signal is 1,57542 GHz, signal level in this case medianly carried out  $-22$  dBm, and the shape of the envelope curve is agreeable with the shape of the C/A GPS signal. It is worth adding that as far as the central frequency was very stable, then the power level displayed to continuous oscillations from  $-16$  to  $-40$  dBm. Similar verification with the use of the antenna showed the fall of the power of the signal to  $-60$  dBm which evidently diminished as the distance increased. At the same time, the signal bandwidth has expanded a little.

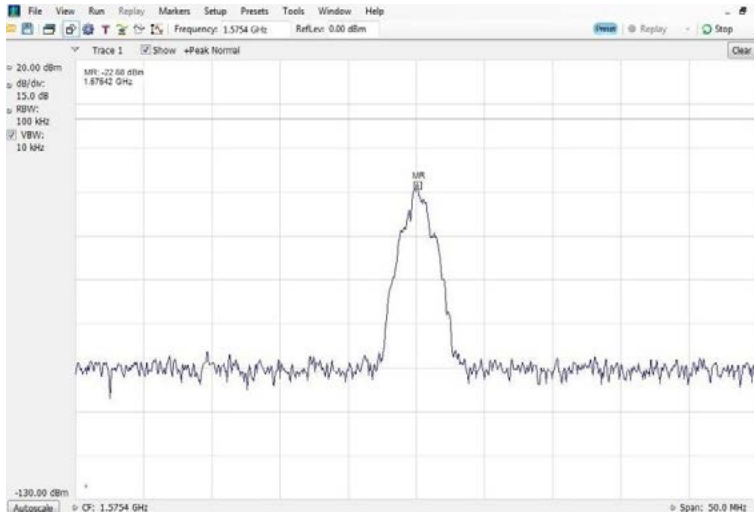


Figure 2. Spectrum of the generated signal

Source: own study.

Before the beginning of spoofing experiments the reaction of GPS receivers on such signal was examined. It appeared that the signal generated in the GPS band, even without manipulations, had worked as a jammer. During the experiments Samsung Galaxy A5 has been tested. Firstly the reaction of receivers on spoofing signals without the access of real satellite signals was tested. Reactions was the same as in the presence of the jammer – mainly the signal to noise ratio was decreasing, depending of the distance between transmitter and receiver.

For spoofing experiment first of all ephemerides of the system must be delivered. It was made with free accessible software *gps-sdr-sim*<sup>12</sup>. The first step, when the receiver was isolated in the room, without real signals of the satellites, spoofing process was very easy. Device “jump” from historical position to the false without any troubles. Experiment was executed in Gdynia, but ephemerides has been modelled for Gibraltar. After the switch on the spoofer, in few seconds exactly, the position “jumped” to Gibraltar.

<sup>12</sup> *gps-sdr-sim*, Accessible at GitHub, [osqzss/gps-sdr-sim](https://github.com/osqzss/gps-sdr-sim): Software-Defined GPS Signal Simulator [access: 12.05.2022].

Experiments in the presence of real satellite signals was carried out in the open area, with the clear visibility of the sky. In this stage ephemerides must be compatible with the trough. For this purpose almanac broadcasted by NASA via Internet was used (<https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily/>). This files are modified every hour, so this solution give opportunity to simulate constellation only by one hour and only for one place (in static mode). Anyway it was surprisingly easily made. Here is presented experiment from 22 May of 2022, at 11:15 UTC. At the beginning, before to start the spoofer, GPS module in Smartphone work properly presenting correct position LAT = 54°32'43,3"N and LON = 018°32'54,4"E. Blue symbol on Google Maps shows active position (see Figure 3), as well as some other information (for example S/N ratio) is presented. It is worthy to stress, that in this moment some GLONASS satellites are accessible (presented as triangles), however only GPS satellites are in use.



Figure 3. Starting data during experiment with real satellites (22-05-2022 11:15UTC)

Source: own study.

At the beginning additional jammer has been used for extinguishing of true satellite signals. When receiver display “no signals” spoofer was switched-on and after that position fluently moved to Gibraltar signalling no faultiness! Sky plot presents all “new” satellites (transmitted via spoofer) and still present the presence of GLONASS satellites observed in Gdynia! This is intelligible, as spoofer generates only GPS signals and GLONASS one are received from the space. Also it should be noticed, that GPS module shows wrong time, which is determined in the spoofer (10:01), the different than Smartphone (11:34).



Figure 4. Data after spoofer switched on  
 Source: own study.

More complicated is discussion about satellites when spoofer works. On Figure 5 are presented graphs with received signals (left–before spoofing and right–after). Important is to notice the strength of received signals after spoofing starts. This is clear answer why so easy spoofing was made. It is not clear why number of satellites in view got smaller.

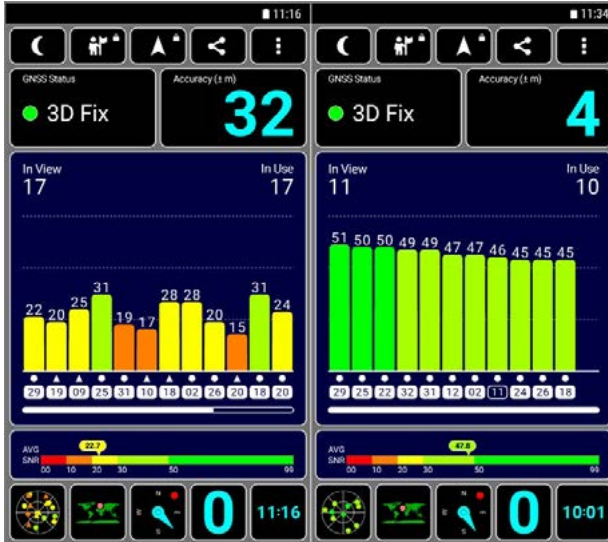


Figure 5. Graf presenting status of receiving signals (left – before spoofing and right – when spoofing is activated)  
 Source: own study.

## 5. DISCUSSION

The goal of this paper is to show how easy and trivial spoofing process is, as well that hardware and software for this is easy accessible. Presented method, as it base on open access software, has some borders anyway. This can be done only in static mode and generated signals are usable only during one hour. Though that will do also to disturb the receiver of the user who moves, not making mention on GPS users in static mode and disruption which lasts one hour can be costly for many users. In addition, experiments was conducted using amateur radio, so range of spoofer was short. However this limitation results in absence of stronger transmitter and the more excellent GPS simulator. Any way results shows, that spoofing can be easily produced and in real life seems be very big problem in the near future, as one ought to perceive this threat also on the part of amateurs and terrorists.

## 6. CONCLUSIONS

GNSS is commonly used in many military and civilian applications to provide continuous, secure and reliable positioning, speed measurement, course and timing services for users who require navigation, timing and location services. Aside from the wide use it in all aspects of people's life and work, it is the main source of information for autonomous vehicles, so the authenticity and integrity of satellite navigation signals are particularly important. In case of unmanned systems it has negative influence on the navigation of the vehicle, but also threatens the loss of the contact. If the receiver suffers spoofing or jamming but does not take any counteraction the results calculated by the receiver are likely to cause huge errors. It is few publications about methods of spoofing and it gets out of them that this assignment is difficult and expensive. According the experts' opinion spoofing demands the highly qualified staff and the complicated apparatus. The present announcement proves that this is not a truth, because this is realizable almost unprofessional methods, and consequently the threat is greater than till now one founded. In this paper the simple method how spoofing can be easy realised is presented with the free accessible software and tiny and cheap hardware. if unmanned vehicles , for example Marine Autonomous Surface Ships, will rely only on GNSS signals, then in soon we should be afraid about the growths of such threat.

## REFERENCES

- Bian S., Hu Y., Ji B., *Research status and prospect of GNSS anti-spoofing technology*, "Scientia Sinica Informationis" 2017, vol. 47, no. 3, DOI. 10.1109/AIM.2017.8014219.
- Cenciotti D., *Iran has captured another U.S. spy drone. Once again with minimal damage*, The Aviationist, 4.12.2012, <https://theaviationist.com/2012/12/04/scan-eagle/> [access: 20.05.2022].

Felski A., Zwolak K., *The Ocean-Going Autonomous Ship – Challenges and Threats*, “J. Mar. Sci. Eng.” 2020, vol. 8(41), DOI:10.3390/jmse8010041.

Goward D., *Mass GPS Spoofing Attack in Black Sea?*, The Maritime Executive, <https://www.maritimeexecutive.com/editorials/mass-gps-spoofing-attack-in-black-sea> [access: 12.07.2022].

GPS Problem Report/ Status/Navigation Center, <https://www.navcen.uscg.gov/contact/gps-problem-report> [access: 23.08.2022].

*gps-sdr-sim*, osqzss/gps-sdr-sim: Software-Defined GPS Signal Simulator [access: 12.05.2022].

Great Scott Gadget, <https://github.com/greatscottgadgets/hackrf> [access: 12.05.2022].

Humphreys T.E., Ledvina B.M., Psiaki M.L., O’Hanlon B.W., Kintner Jr P.M., *Assessing the spoofing threat: Development of a portable GPS civilian spoofer*, ION GNSS 21st. International Technical Meeting of the Satellite Division, 16–19, September 2008, Savannah, GA.

Kowalik T., *Capabilities to disturb GNSS systems*, Master thesis (in Polish), Polish Naval Academy, Gdynia 2022.

Psiaki M.L., Humphreys T.E., *GNSS spoofing and detection*, “Proc. IEEE” 2016, vol. 104, no. 6, DOI: 10.1109/JPROC.2016.2526658.

User mossmann, GitHub, [https://github.com/greatscottgadgets/hackrf/blob/master/host/hackrf-tools/src/hackrf\\_transfer.c](https://github.com/greatscottgadgets/hackrf/blob/master/host/hackrf-tools/src/hackrf_transfer.c) [access: 12.05.2022].

User osqzss, GitHub, <https://github.com/osqzss/gps-sdr-sim> [access: 12.05.2022].



**Jarosław CYDEJKO**

 Gdynia Maritime University, Poland  
 e-mail: j.cydejko@wn.umg.edu.pl  
 ORCID: 0000-0002-0365-155X

DOI: 10.55676/asi.v3i1.46

## GALILEO HAS – FIRST PERFORMANCE TESTS DURING ITS INITIAL PHASE OF OPERATION

GALILEO HAS – PIERWSZE TESTY PARAMETRÓW OPERACYJNYCH SERWISU W JEGO POCZĄTKOWEJ FAZIE OPERACYJNEJ

### Abstract

Galileo High Accuracy Service (HAS) became available in January 2023. As declared, in its final operational capability, it should be able to provide to users the Precise Point Positioning (PPP) at horizontal accuracy level better than 20 cm in real-time with 95% confidence globally. At the moment Galileo HAS works in its initial phase of operation with some limitations regarding its availability, convergence time and accuracy but gives the chance to observe the performance of positioning tool at the accuracy level which was available before by using differential measurement only. Galileo HAS PPP, free of charge and based only on satellite signals delivered by nominal Galileo constellation is unique in its kind between various GNSS positioning modes. This article presents the results of first, preliminary tests on Galileo HAS performance conducted in July 2023 in Gdynia, Poland. The field tests were conducted with Galileo HAS capable receiver in static conditions and focused on the verification the declared service performance in the real positioning scenarios. Additionally, the Galileo HAS PPP performance was compared with the simultaneous performance of other GNSS positioning methods such as EGNOS, DGPS, dual frequency GPS+Galileo or dual frequency GPS and dual frequency Galileo. This first experiences with Galileo HAS positioning should show all potential users what performance level can be achieved with this new, unique in its kind GNSS positioning method at the present state of its implementation.

**Keywords:** Galileo, Global Navigation Satellite System (GNSS), High Accuracy Service (HAS), Precise Point Positioning (PPP), Precise Navigation

### Streszczenie

*Galileo High Accuracy Service (HAS)* stał się dostępny w styczniu roku 2023. Tak jak zadeklarowano, po osiągnięciu finalnej fazy operacyjnej serwisu powinien on zapewnić użytkownikom globalną możliwość realizacji trybu *Precise Point Positioning (PPP)* z dokładnością wyznaczania pozycji na płaszczyźnie na poziomie lepszym niż 20 cm w czasie rzeczywistym i na 95% poziomie ufności. Aktualnie serwis Galileo HAS pracuje w początkowej fazie operacyjnej z pewnymi ograniczeniami dotyczącymi dostępności, czasu inicjalizacji oraz dokładności, ale pozwala już na uzyskiwanie dokładności wyznaczeń pozycyjnych na poziomie dokładności, który wcześniej był osiągalny tylko z wykorzystaniem metod różnicowych GNSS. Ponadto, serwis Galileo HAS PPP jest serwisem ogólnodostępnym i wykorzystującym tylko nominalne satelity nawigacyjne systemu Galileo, co czyni go unikalnym wśród aktualnie dostępnych metod GNSS. W artykule zaprezentowano wyniki pierwszych, wstępnych eksperymentów oceniających parametry operacyjne serwisu Galileo HAS przeprowadzonych w Gdyni w lipcu 2023 r. Testy serwisu przeprowadzono w warunkach statycznych z wykorzystaniem odbiornika realizującego wyznaczenia pozycyjne z zastosowaniem sygnału Galileo HAS. Pomiarzy miały na celu weryfikację deklarowanych parametrów dokładnościowych i dostępnościowych serwisu w rzeczywistych warunkach pomiarowych. Dodatkowo, obserwowane parametry serwisu Galileo HAS PPP zostały porównane z rejestrowanymi równoległe wynikami wyznaczeń pozycyjnych uzyskiwanych innymi metodami GNSS, takimi jak: EGNOS, DGPS, dwuczęstotliwościowe pomiary GPS+Galileo oraz dwuczęstotliwościowy

GPS i dwuczęstotliwościowy Galileo. Przedstawione w artykule wyniki pierwszych doświadczeń z wykorzystaniem serwisu Galileo HAS pokazują wszystkim potencjalnym użytkownikom, czego mogą się spodziewać, wykorzystując w procesie wyznaczania pozycji tę nową i unikalną w swoim rodzaju metodę pozycyjną GNSS na jej aktualnym etapie wdrażania.

**Słowa kluczowe:** Galileo, GNSS, HAS, PPP, nawigacja precyzyjna

## 1. INTRODUCTION

Since its very beginning, the design of Galileo satellite navigation system considered to deliver to users its service at several levels which vary in accuracy, availability, range and accessibility. Various Galileo services are designed to meet users expectations and to fulfil their specific needs regarding the positioning and navigation. Originally it was planned that among other capabilities, Galileo satellite navigation system will “offer a commercial service (CS) for the development of applications for professional or commercial use by means of improved performance and data with greater added value than those obtained through the open service”<sup>1</sup>. Further, the implementing decisions of European Commission started to define technical and operational specifications of the commercial service (CS) to fulfil the stated above function of the service. At first, the EU Commission Implementing Decision 2017/224 of 8 February 2017 provided that the general specifications of the ‘CS high precision’ service offered by the commercial service envisage a positioning error of less than a decimeter and that access to this ‘CS high precision’ service, monitored by one or more service providers, is subject to a fee depending on the pricing policy in force<sup>2</sup>. However, not much later on 02nd of March 2018 above decision was amended by EU Commission Implementing Decision 2018/321 where it was decided that the ‘CS high precision’ service will supply data in order to obtain a positioning error of less than 20 cm in nominal condition of use and moreover that the access to the Galileo high precision service will be free of charge<sup>3</sup>. This decision was motivated with several technical, commercial and political arguments. Among them the following statements are worth to be cited<sup>4</sup>:

- “fee-paying access to the commercial service’s high precision service could slow the development of the applications required to use this service and hinder the promising growth of economic activities based on satellite navigation systems, particularly within the Union”;

<sup>1</sup> The European Parliament and The Council Of The EU. EU Regulation No 1285/2013 of 11 December 2013. Article 2(4)(c), Official Journal of the European Union L347/1, European Union, 2013.

<sup>2</sup> European Commission, EU Commission Implementing Decision 2017/224 of 8 February 2017, Official Journal of the European Union L34/36, European Union, 2017.

<sup>3</sup> European Commission, EU Commission Implementing Decision 2018/321 of 2 March 2018, Official Journal of the European Union L62/34, European Union, 2018.

<sup>4</sup> Ibidem.

- fee-paying access may “make it more difficult for the system established under the Galileo programme to penetrate global markets given that rival systems propose to offer high precision services free of charge”;
- “changing the minimum precision requirement from one decimetre to two will thus reduce the time needed to achieve that precision”;
- “enterprises in the expanding sectors most likely to use the high precision commercial service, such as those developing autonomous vehicles, robotics or drones, do not need such high precision positioning as initially envisaged for the commercial service. Positioning error of less than two decimetres is sufficient for those enterprises, and is more attractive if, in return, the time needed to achieve such precision can be reduced”.

Finally, the new name of Galileo commercial service (CS) shaped out and in EU Regulation 2021/696 of 28 April 2021, which superseded previous documents defining implementation of Galileo satellite navigation system, this service was named as a high-accuracy service (HAS). This document states, that a Galileo high-accuracy service (Galileo HAS):

“shall be free of charge for users and shall provide, through additional data disseminated in a supplementary frequency band, high-accuracy positioning and synchronisation information intended mainly for satellite navigation applications for professional or commercial use”<sup>5</sup>.

In this way the legal directives created the fundamentals for the technical implementation and development of the Galileo based positioning method which brings satellite based, absolute and non-differential point positioning to the precise level of less than 20 cm. In the international context Galileo HAS is not the only among other planned PPP (Precise Point Positioning) solutions, which probably will be developed within other satellite navigation systems (GPS, Beidou, QZSS, Glonass) but it is unique in its class<sup>6,7</sup>. The Japanese QZSS CLAS (Centimeter-Level Augmentation Service) and BeiDou PPP-B2b are already providing similar PPP services but on the regional scale only<sup>8</sup>. The Galileo HAS at its fundamentals is the first global high accuracy service free of charge.

The Galileo HAS was declared available for the public use on 24th January 2023. This date marked the start of Phase 1 called “HAS initial service”. Galileo HAS Phase 1 was preceded by Phase 0 when the HAS data were available only during limited periods and to selected laboratories which were able to validate service dissemination capabilities and conduct various SIS (Signal-in-Space) tests. Results of these tests

<sup>5</sup> The European Parliament and The Council Of The EU, EU Regulation 2021/696 of 28 April 2021. Article 45(1)(b), Official Journal of the European Union L170/69, European Union, 2021.

<sup>6</sup> Blonski D., Choi S., *Standards and Interoperability of Precise Point Positioning Services*, Presentation at 14th Meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite Systems, ICG-14, December 2019, Bengaluru, India.

<sup>7</sup> Blonski D., de Blas J., Fernandez-Hernandez I., *Galileo High Accuracy Service*, Presentation from ICG Workshop GNSS Data Processing for HA Positioning, January 2021, Tokyo 2021.

<sup>8</sup> Quasi-Zenith Satellite System Services Inc., *Quasi-Zenith Satellite System Performance Standard (PS-QZSS-003)*, The Cabinet Office, Government of Japan, March 2022.

delivered the preliminary estimation of the expected service performance before it went into its initial operational phase. Those tests referred to various aspects such as: the benefits of HAS in terms of coverage and accuracy<sup>9</sup>, the quality of the transmitted correction<sup>10</sup>, the ability of satellite anomaly detection based on HAS corrections<sup>11</sup>. All above announced very promising HAS service performance during its experimental and validation phase and creating a big expectations among users waiting for the Galileo HAS signal become available for the wide users community.

Making Galileo HAS available in January 2023, supported with publication of the service definition document<sup>12</sup>, has opened the possibilities to explore service capabilities in the user domain<sup>13, 14</sup>. This article presents the results of tests on Galileo HAS performance conducted in July/August 2023 in Gdynia, Poland. The field tests were conducted with the first, generally available to users, the Galileo HAS capable receiver – “EOS Arrow Gold+”, which is providing so called “out of box” positioning for various user needs. Implementing in tests the user “ready to go” GNSS equipment allows to check what users may “get” from the Galileo HAS service with the tools (receivers), which might be within their hand. The experiments described in the paper, as the first approach to the verification the declared Galileo HAS performance were set up in static conditions with antennas located at known, geodetically surveyed points. The main tests objectives were focused on:

- the verification of the relative and absolute accuracy of Galileo HAS positioning observed during various periods of the day (nighttime, daytime, sunset and sunrise) and for various service configurations (GPS+Galileo HAS, HAS GPS only and HAS Galileo only);
- the comparison of the Galileo HAS performance with positioning results observed simultaneously with other GNSS methods such as: EGNOS, dual frequency GPS+Galileo or dual frequency GPS and dual frequency Galileo;
- testing of the Galileo HAS convergence times before it reaches the expected performance level in the periods with nominal and limited satellites availability (various elevation masks applied for GPS and/or Galileo constellation).

The tests were conducted in the facilities of the Navigation Faculty of Gdynia Maritime University, located at the Polish Coast of The Baltic Sea as the author’s main

<sup>9</sup> Fernandez-Hernandez I., Chamorro-Moreno A., Cancela-Diaz S., Calle-Calle J.D., Zoccarato P., Blonski D., Mozo A., *Galileo High Accuracy Service: Initial definition and performance*, GPS Solutions 26 Article No.65 (2022), Springer, 2023.

<sup>10</sup> Naciri N., Yi D., Bisnath S., de Blas J., Capua R., *Assessment of Galileo High Accuracy Service (HAS) test signals and preliminary positioning performance*, GPS Solutions 27 Article No. 73 (2023), Springer, 2023.

<sup>11</sup> Martini I., Susi M., Paonni M., Sgammini M., Fernandez-Hernandez I., *Satellite Anomaly Detection with PPP Corrections: A case study with Galileo’s high accuracy service*, Proceedings of the 2022 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, 25–27 January 2022 Long Beach, CA, USA, 2022.

<sup>12</sup> European Agency for the Space Programme (EUSPA), Galileo – High Accuracy Service - Service Definition Document (Galileo HAS SDD) Issue 1.0, EUSPA, January 2023.

<sup>13</sup> Angrisano A., Ascione S., Cappello G., Gioia C., Gaglione S., *Application of Galileo High Accuracy Service on Single-Point Positioning*, Sensors 2023, vol. 23(9), 4223, MDPI, Basel, Switzerland 2023.

<sup>14</sup> European Agency for the Space Programme (EUSPA), Galileo HAS Days (28 - 29 June 2023) Presentations, EUSPA, July 2023, [https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/ services/galileo-hi-gh-accuracy-service-has](https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/services/galileo-hi-gh-accuracy-service-has) [access: 15.08.2023].

interest is in the potential applicability of Galileo HAS in maritime applications. However, the scope of the conducted research, due to its cognitive nature during the initial operational phase of Galileo HAS may be valuable for all other potential service users. Additionally, all data collected during early stage of Galileo HAS operation are the good reference for future evaluations of the effects gained by the further service development towards its final phase (Galileo HAS Full Service - Phase 2).

## 2. GALILEO HAS DESCRIPTION

In general terms, the Galileo HAS definition executes goals set up EU regulations mentioned above and is an open access and free of charge service which allows the user to achieve improved positioning performance compared to the performance of the Galileo Open Service. The improved positioning performance is achieved by the provision of precise corrections (i.e. orbits and clocks) and biases transmitted in the Galileo E6 signal (E6-B, data component) from a subset of the Galileo satellites as well as via the internet<sup>15</sup>.

In its concept, the Galileo HAS corrections are referring to following GNSS Signals and data:

- Galileo E1, E5a, E5b and E6 signals;
- GPS L1 C/A, L2C signals;
- Galileo satellite I/NAV navigation messages;
- GPS satellite LNAV navigation messages.

To obtain Precise Point Positioning (PPP), HAS corrections regarding orbit and clocks should be applied to correct data received via mentioned above navigational messages. Additionally, code and phase biases discriminated by the service can be used to correct ranging measurements obtained using above listed signals. It has to be highlighted that currently, during Galileo initial phase of operation, only code biases are delivered to users to enhance accuracy of the ranging measurements.

Galileo HAS ground infrastructure in its majority is based on existing Galileo core system facilities. The service corrections are generated by High Accuracy Data Generator (HADG) which is hosted by European GNSS Service Center (GSC) located in Madrid, within National Institute of Aerospace Technology (INTA). HADG calculates Galileo HAS corrections based on data collected from worldwide network of Galileo Sensor Stations (GSS), which collect and forward Galileo SIS measurements and data to the Galileo Control Centers (GCC) and GSC in real time. The corrections generated by HADG are disseminated via GSC in two ways:

- forwarded to the Galileo Uplink Stations (ULS) and then uplinked to the Galileo satellites to be broadcasted via the Galileo E6-B signal component;
- formatted to be broadcast via internet in real-time using NTRIP Caster capabilities.

<sup>15</sup> European Agency for the Space Programme (EUSPA), Galileo – High Accuracy Service - Service Definition Document (Galileo HAS SDD) Issue 1.0, EUSPA, January 2023.

It is worth to highlight that, in the case of SIS broadcast, Galileo satellites will only broadcast high accuracy data when connected to an uplink station. Currently, it is planned that HAS data will be populated with up to 20 Galileo satellites of all available in the Space. The HADG has the capability to select the data to be broadcasted by each connected Galileo satellite to secure the proper scheduling the provision of high accuracy data to the potential Galileo HAS users located within the service area<sup>16</sup>. Currently, with Galileo HAS operating in its Initial Service phase, high accuracy data is calculated based on the network of 15 GSSs. The capability of Galileo to broadcast high accuracy corrections through the SIS will evolve over time along with the continuous infrastructure deployment. It will include the extension of GSS network and the number of uplink stations engaged by service. This will have direct and positive impact on service performance in the context of the accuracy, the availability and the enlarged service area. The Galileo HAS is executed within Galileo time and geodetic frames: Galileo System Time (GST) and Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF).

The SIS broadcast of the Galileo HAS is executed on E6B Galileo satellites' signals. The HAS corrections are encoded to C/NAV navigational data message. Galileo C/NAV E6B data are transmitted at the rate of 500 bits/second. HAS messages are formed as 448 bit pages of C/NAV format and all marked with Header containing Mask ID and IOD (Issue of Data) set ID. The Galileo HAS corrections are grouped into two types of HAS messages:

- “HAS slow messages” which contain the mask, satellite orbit corrections, code and phase biases;
- “HAS fast messages” which contain the satellite clock corrections.

HAS SIS broadcast scheme assumes that within 10 seconds period the following sequence is applied: 7 “HAS slow messages”, 2 “HAS fast messages”, 1 “HAS dummy message”. HAS slow and fast messages are linked through the Mask ID and the IOD set ID parameters. The transmission of HAS encoded pages for each HAS message is not restricted to a single Galileo satellite. It enables the decoding of the HAS messages once a sufficient number of HAS pages has been retrieved by the user, independently of the Galileo satellite from which they were transmitted. So the user do not need to “wait” to collect full set of the HAS data from one satellite and may “compose” the required data package of the high accuracy data receiving it simultaneously from several Galileo satellites. In this way the HAS corrections latency can be reduced significantly.

The second channel of Galileo HAS data dissemination is executed via Internet Data Distribution (IDD). The IDD channel is governed by European GNSS Service Center (GSC) and available upon registration. The data are made available to users via NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol) caster and are a subset of the messages defined in the RTCM 10403.3 standard.

---

<sup>16</sup> Ibidem.

The Galileo HAS IDD provides the following set of data for Galileo and GPS satellites<sup>17</sup>:

- satellite orbit corrections to the broadcast Galileo I/NAV and GPS LNAV ephemeris;
- satellite clock corrections to the broadcast Galileo I/NAV and GPS LNAV clock parameters;
- code biases;
- Galileo I/NAV and GPS ephemeris (since July 2023).
- The above data are encoded into following types of RTCM messages:
- message type 1243 – SSR (Space State Representation) Galileo Combined Orbit and Clock Corrections;
- message type 1242 – SSR Galileo Code Bias;
- message type 1060 – SSR GPS Combined Orbit and Clock Corrections;
- message type 1059 – SSR GPS Code Bias;
- message type 1046 – Galileo I/NAV ephemeris (since July 2023);
- message type 1019 – GPS ephemeris (since July 2023).

The supported SSR correction messages are nominally provided with 10 seconds update rate. Additional information may be provided in the future as part of the HAS service evolutions towards the HAS full operational capability<sup>18</sup>.

The design of Galileo HAS assumes that at its final shape the service will be delivered on two performance levels described as: Service Level 1 (SL1) and Service Level 2 (SL2). These two service levels will differ in the respect of the type of corrections served to users. Service Level 2 will be enhanced by giving users the ability of use atmospheric corrections. This will improve the final service performance in the user domain mainly by reducing the target convergence time. Additionally, while SL1 is assumed to be available globally, the enhanced SL 2 will be designed to cover only so called “The European Coverage Area – ECA”. Table 1 summarizes the main features describing two service levels of Galileo HAS.

Table 1. Galileo HAS Full Service planned service levels

	Service Level 1 – SL1	Service Level 2 – SL2
Service area	Global coverage	The European Coverage Area – ECA
Correction type	orbits corrections, clocks corrections, code biases, phase biases	orbits corrections, clocks corrections, code biases, phase biases, atmospheric corrections
Delivery channels	HAS Signal-in-Space HAS Internet Data Distribution	HAS Signal-in-Space HAS Internet Distribution Data
Accuracy target (95%)	Horizontal – <20 cm Vertical – <40 cm	Horizontal – <20 cm Vertical – <40 cm
Availability target	99%	99%
Convergence time target	< 300 seconds	< 100 seconds

Source: European Agency for the Space Programme (EUSPA), Galileo – High Accuracy Service - Service Definition Document (Galileo HAS SDD) Issue 1.0, EUSPA, January 2023.

<sup>17</sup> Ibidem.

<sup>18</sup> Ibidem.

Currently, Galileo HAS operates in its Initial Service Phase (Galileo HAS Phase 1) which means that the users may experience the Service Level 1 operational quality but with following exceptions:

- the “global coverage” exclude the areas over Far East, Australia and Pacific Ocean between latitudes 60°N and 60°S and to the East from longitude 090°E and to the West from longitude 125°W;
- phase biases are not included in Galileo HAS message.

For the Galileo HAS Initial Service Phase the following Minimum Performance Levels (MPLs) are set<sup>19</sup>:

Table 2. Galileo HAS Initial Service Phase corrections accuracy and corrections availability MPLs

	Minimum Performance Level (MPL)	Conditions and Constrains
HAS orbit corrections accuracy	≤ 20 cm (95%) for Galileo ≤ 33 cm (95%) for GPS over the instantaneous constellation average (computed as RMS)	Calculated over a period of 30 days; All HAS-corrected and valid Galileo/GPS satellites in view from any point in the defined service area;
HAS clock corrections accuracy	≤ 12 cm (95%) for Galileo ≤ 15 cm (95%) for GPS over the instantaneous constellation average (computed as RMS)	
HAS code biases accuracy	≤ 50 cm (95%) for Galileo and GPS over the instantaneous constellation average (computed as RMS)	
HAS corrections availability	≥ 87% for Galileo only ≥ 95% for Galileo+GPS	5 degrees elevation mask; Calculated over a period of 30 days; At least 5 satellites in view for Galileo only mode or At least 8 satellites in view for Galileo+GPS mode (all HAS-corrected and valid) At the Worst User Location of the service area

Source: European Agency for the Space Programme (EUSPA), Galileo – High Accuracy Service - Service Definition Document (Galileo HAS SDD) Issue 1.0, EUSPA, January 2023.

Performance report covering first 3 months of Galileo HAS operation from January to March 2023 indicates that during this period the service fulfilled all target values of defined Minimum Performance Limits<sup>20</sup>.

The main interest of this publication is the Galileo HAS performance in the user domain, It means what the main focus is set on the position horizontal and vertical accuracy, which may be achieved by service user. This type of minimum performance limits usually are not set precisely by service provider due to its dependence from the quality of users’ equipment. However, the Galileo HAS Service Definition Document<sup>21</sup>

<sup>19</sup> Ibidem.

<sup>20</sup> Ibidem.

<sup>21</sup> Ibidem.



describes the expected, typical positioning accuracy performance. Table 3 summarizes these parameters as expected by Galileo HAS provider.

Table 3. Typical, expected Galileo HAS Initial Service Phase positioning accuracy performance

	Signal Combination	Typical Performance	Conditions and Constrains
HAS horizontal positioning accuracy	GALILEO only: E1/E5a E1/E5b E1/E5a/E6-B	≤ 25 cm (68%)	- Over any 24 hours period; - All HAS-corrected and valid Galileo/GPS satellites in view from any point in the defined service area; - At least 5 satellites in view for Galileo only mode or at least 8 satellites in view for Galileo+GPS mode (all HAS-corrected and valid above 5 degrees elevation under open sky conditions); - Static User; - At Average User Location of the service area; *The impact of the following contributions is not considered in the computation of the and typical performance: - Signal distortions caused by propagation effects. - Receiver hardware/software faults. - Multipath and receiver multipath mitigation. - User antenna effects. - Receiver operator errors.
	GALILEO+GPS: E1/E5a + L1/L2C E1/E5b + L1/L2C E1/E5a/E6-B + L1/L2C	≤ 15 cm (68%)	
HAS vertical positioning accuracy	GALILEO only: E1/E5a E1/E5b E1/E5a/E6-B	≤ 30 cm (68%)	
	GALILEO+GPS: E1/E5a + L1/L2C E1/E5b + L1/L2C E1/E5a/E6-B + L1/L2C	≤ 20 cm (68%)	

Source: European Agency for the Space Programme (EUSPA), Galileo – High Accuracy Service - Service Definition Document (Galileo HAS SDD) Issue 1.0, EUSPA, January 2023.

Next sections of this publication describe tests and their results which allow to verify in the experimental way the expected, typical performance positioning parameters of Galileo HAS presented in Table 3.

### 3. GALILEO HAS PERFORMANCE TESTS SET UP

Testing of Galileo HAS performance described in the paper, as the first approach leading to the recognition of this service capabilities, was focused on checks of the service positioning accuracy observed in static conditions. The experiment was conducted in the facilities of The Navigational Faculty of Gdynia Maritime University on several days in July and August 2023. All positioning data was collected with two sets of GNSS receivers:

- EOS Arrow Gold+ – multisystem GNSS, Galileo HAS capable receiver – used to collect all Galileo High Accuracy positioning data;
- Trimble BX992 – multisystem GNSS, multi-frequency receiver – used to collect data observed simultaneously for other GNSS positioning methods.

The antennas of both receivers were located on the roof of the Faculty building where the open sky conditions can be secured with no risk of the multipath interferences. The antennas were placed in the points with known coordinates which were

determined before experiment in post-processing calculations using precise GNSS observations (reported post-processing accuracy: latitude – 0.003 m; longitude – 0.003 m; height – 0.007 m). For the purpose of conducted tests the precise antennas coordinates were expressed in ITRF 2014 reference frame adjusted to the Epoch 2023.6 aligning them as close as possible to Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF) for the time of the experiment. During the analysis of the tests results, the known coordinates of the antennas positions were considered as a “true positions” and were used to evaluate the absolute accuracy of the recorded observations.

The experiment was organized in the several sessions, while the simultaneous observations of both receivers were recorded as the set of NMEA text messages outputted with 1Hz frequency into the logging computer. The observation sessions lasted for 24–48 hours to cover various times of the day (daylight, sunrise, night, sunset) and varying satellite constellation. In the subsequent measurements periods both receivers were set up in different modes of operations allowing the evaluation of Galileo HAS performance in various available service configurations and its comparison to the performance of other, simultaneously observed, GNSS positioning methods. Table 4 summarizes the receivers set up during all day sessions.

Table 4. The receivers set up during all day observations

	EOS ARROW Gold+			TRIMBLE BX 992		
	<i>mode of operation</i>	<i>GPS signals</i>	<i>Galileo signals</i>	<i>mode of operation</i>	<i>GPS signals</i>	<i>Galileo signals</i>
<i>A</i>	<i>Galileo HAS</i>	<i>L1/L2C</i>	<i>E1/E5a/E6-B</i>	<i>GPS+Galileo 2f</i>	<i>L1/L2C</i>	<i>E1/E5a</i>
<i>B</i>	<i>Galileo HAS (Galileo only)</i>	<i>not in use</i>	<i>E1/E5a/E6-B</i>	<i>Galileo 2f</i>	<i>not in use</i>	<i>E1/E5a</i>
<i>C</i>	<i>Galileo HAS (GPS only)</i>	<i>L1/L2C</i>	<i>E6-B (HAS data only)</i>	<i>GPS 2f</i>	<i>L1/L2C</i>	<i>not in use</i>
<i>D</i>	<i>Galileo HAS</i>	<i>L1/L2C</i>	<i>E1/E5a/E6-B</i>	<i>SBAS –EGNOS PRN 136</i>	<i>L1 (+PRN 136 GEO)</i>	<i>not in use</i>

Source: own study.

All above setups used for long term recording allowed to execute the accuracy parameters checks, which are presented in the next paragraphs of this paper.

Additional aspect of the conducted analysis refers to testing of the Galileo HAS convergence time before it reaches the desired performance parameters after enabling the reception of Galileo E6B signal. To execute this scope of testing the EOS Arrow Gold+ receiver was used in the several short term measurement sessions. The experiments were conducted in static conditions with the receiver antenna located at known point, same as for described above long term measurements. The Galileo HAS convergence time was estimated with receiver set up in various modes of operations and during periods, when the normal and reduced satellite constellation was observed. Before every test, the receiver was initialized in predefined configuration

from cold start and with disconnected antenna. The antenna was connected after data logging had been started. The recording was performed same as before by logging set of NMEA messages in 1 second intervals. The test usually lasted for 35–40 minutes which was in general enough to reach the desired Galileo HAS accuracy levels [horizontal < 20 cm (95%); vertical < 40 cm (95%)]. For the test purposes the Galileo HAS receiver was set up in the following modes:

- Galileo HAS (GPS+Galileo) – nominal Galileo constellation;
- Galileo HAS (GPS+Galileo) – bad Galileo constellation (5 Galileo satellites only);
- Galileo HAS (GPS+Galileo) – elevation mask – 30 deg;
- Galileo HAS (Galileo only).

The fact that the receiver antenna was located in fix, known location allowed to analyze the Galileo HAS accuracy convergence not only by observing reported by receiver estimated positioning accuracy (NMEA message type GST) but mainly by observed position error referred to antenna known position. The evaluation of observed data is presented in the subsequent paragraphs.

#### 4. TESTING THE GALILEO HAS ACCURACY

Due to the cognitive nature of the experiment, while the new, unknown positioning service is tested in the field conditions, usually the first focus is on the accuracy, which can be achieved with this particular method. Table 5 and Figure 1 presents the results of data evaluation showing the accuracy of Galileo HAS observed during the conducted tests. The service accuracy is analyzed in two ways. First is a relative accuracy, which is described mainly as the standard deviation ( $\sigma$ ) of the position coordinates registered during experiment giving the idea of the positions spread around mean position during observations. Additionally, the mean position offsets from known, true position were calculated to show the potential systematic error of observed data set. The second factor which is taken into the analysis is an absolute accuracy. The absolute accuracy refers to known, true position and it is described as 68 percentile of the observed horizontal position errors and the observed vertical position errors. This accuracy parameter was selected to have the direct comparison with performance parameters stated in service definition documents (see Table 3). The value of 68 percentile can be interpreted as the horizontal and vertical range measured from true position, where 68 percent of observations are present.

To receive the comprehensive picture of the Galileo HAS performance, the accuracy parameters are calculated and presented for the various modes of operation and varied observation periods. The modes of operations under study vary in the context of the satellite constellation used to estimate position and include the following: joint GPS and Galileo constellation, Galileo only satellites and GPS only satellites. The varied observation periods show the service performance during various periods of the day (sunrise, daylight, sunset, night) to verify the consistency of accuracy parameters or its potential dependence from the changing propagation factors.

Table 5. The accuracy parameters of Galileo HAS for various modes of operation and varied observation periods

		RELATIVE ACCURACY							ABSOLUTE ACCURACY	
		mean position offset [m]				sigma [m]			68 percentile of observed errors	
		latitude	longitude	2D offset	altitude	latitude	longitude	altitude	2D position [m]	altitude [m]
<b>GALILEO HAS</b> (GPS+GALILEO)	sunrise	0,055	-0,040	0,067	0,021	0,032	0,037	0,040	0,102	0,038
	daylight	0,022	-0,035	0,041	0,003	0,032	0,025	0,092	0,062	0,100
	sunset	-0,008	-0,058	0,059	-0,113	0,044	0,025	0,047	0,087	0,142
	night	0,017	-0,053	0,056	-0,188	0,037	0,028	0,093	0,083	0,870
	<b>all day – 24 h</b>	<b>0,022</b>	<b>-0,043</b>	<b>0,048</b>	<b>-0,026</b>	<b>0,040</b>	<b>0,029</b>	<b>0,090</b>	<b>0,080</b>	<b>0,098</b>
<b>GALILEO HAS</b> (GALILEO only)	sunrise	-0,016	-0,051	0,054	0,099	0,019	0,022	0,051	0,076	0,074
	daylight	-0,028	-0,059	0,066	0,034	0,033	0,032	0,194	0,087	0,101
	sunset	-0,035	-0,016	0,039	-0,029	0,028	0,051	0,045	0,078	0,048
	night	-0,046	-0,058	0,074	-0,073	0,031	0,045	0,082	0,099	0,134
	<b>all day – 24 h</b>	<b>-0,030</b>	<b>-0,051</b>	<b>0,059</b>	<b>0,034</b>	<b>0,032</b>	<b>0,040</b>	<b>0,148</b>	<b>0,086</b>	<b>0,097</b>
<b>GALILEO HAS</b> (GPS only; GIL, E6 on)	sunrise	-0,017	0,020	0,026	0,063	0,038	0,040	0,068	0,064	0,075
	daylight	0,028	-0,068	0,074	-0,041	0,069	0,070	0,151	0,125	0,143
	sunset	-0,026	-0,055	0,061	-0,058	0,066	0,052	0,146	0,115	0,142
	night	-0,035	0,027	0,044	0,047	0,062	0,048	0,047	0,086	0,124
	<b>all day – 24 h</b>	<b>0,001</b>	<b>-0,035</b>	<b>0,035</b>	<b>-0,035</b>	<b>0,069</b>	<b>0,073</b>	<b>0,139</b>	<b>0,107</b>	<b>0,126</b>

Source: own study.

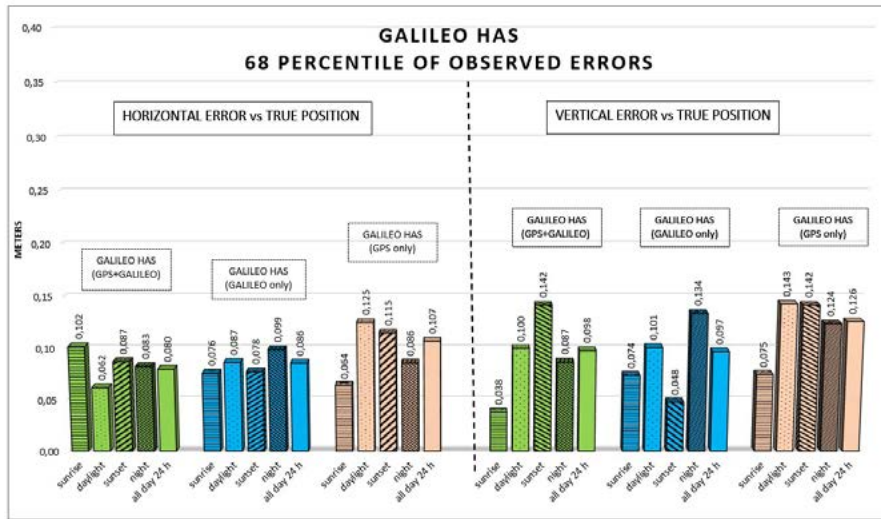


Figure 1. The accuracy parameters of Galileo HAS for various modes of operation and varied observation periods

Source: own study.

The results of tests presented in Table 5 and in Figure 1 show that the accuracy of Galileo HAS fulfills the expected service performance as declared in the service definition document<sup>22</sup>. For the nominal operational modes (GPS+Galileo and Galileo only), 68 percentile of horizontal position errors during 24 hours observations stays below 10 cm, while the expected accuracy is to be 15 cm for the GPS+Galileo constellation and 25 cm for the Galileo only mode. For the nominal operational modes (GPS+Galileo and Galileo only), 68 percentile of vertical errors during 24 hours observations is 1–2 cm worse than for 2D positions but still stays below 10 cm while the expected accuracy is to be 20 cm for the GPS+Galileo constellation and 30 cm for the Galileo only mode. The slightly worse service accuracy is observed when the GPS only constellation is used. The difference is minimal but noticeable. The adequate parameters are deteriorated by 2–3 cm for horizontal positioning and 3–4 cm for vertical axis. Though this mode of operation is not considered as the nominal mode of operation for Galileo HAS, its accuracy stays within the desired performance limits.

The short periods observations during various periods of the day are in general consistent with results obtained for 24 hour observations with differences  $\pm 2$  cm for 2D positions and  $\pm 5$  cm for vertical errors. Across all obtained results for 2D positioning the best 68 percentile value was 6.2 cm and was recorded for daylight observations (12 hour period) with the GPS+Galileo constellation in use. The worse value of the same accuracy parameter reached 12.5 cm and refers to 12 hour daylight observations while only GPS constellation was in use. While analyzing the vertical error accuracy the best accuracy go down to 3.8 cm and is observed for sunrise period (4 hours observation) during joint GPS+Galileo positioning but the highest values of 68 percentile are reaching 14.3 cm and are recorded for the GPS only mode during daylight (12 hours) and sunrise (4 hours) periods.

The observed data was evaluated as well to calculate 95 percentile accuracy parameters for 2D position and altitude. In this case the trends described above were followed with the minimal values of 95 percentile reaching 9.7 cm both for horizontal positions and vertical axis. Across all measurements sessions, the maximum value of 95 percentile was 35.0 cm for altitude and 21.6 cm for horizontal positions, but in both cases it was observed for the not nominal Galileo HAS mode of operation while the GPS only constellation was in use. While considering the nominal operational modes of Galileo HAS ie. using GPS+Galileo or Galileo only constellation, 95 percentile value always stays below 12.8 cm for the 2D positioning and below 20.3 cm for the altitude estimations.

The relative accuracy parameters of Galileo HAS describing the spread of estimated positions around mean value follow same trends as described above. They are consistent with the results expressed as 68 percentile of errors referred to the true position even though they are not biased by mean position offset. This is due to the

---

<sup>22</sup> Ibidem.

fact that observed mean position offsets are not significantly high and in general stay within 5–6 cm for horizontal positioning and 3–4 cm for vertical axis.

To have a full picture of the positioning quality delivered by Galileo HAS it has to be highlighted that during all measurements sessions the positions estimations were executed based on carrier-phase measurements with fixed integer ambiguity solution maintained almost all time. During all day (24 hours) observations the percentage of “fixed mode” solutions was as follows:

- HAS Galileo (GPS+Galileo constellation) “fixed integer mode” – 99.9% of observations;
- HAS Galileo (Galileo only constellation) “fixed integer mode” – 97.6% of observations;
- HAS Galileo (GPS only constellation) “fixed integer mode” – 97.9% of observations;
- Among all sessions, the highest percentage of float solutions was 4.8% and refers to the 12 hours daylight session conducted with HAS Galileo based on the GPS constellation only.

**5. GALILEO HAS PERFORMANCE VS OTHER GNSS POSITIONING METHODS**

During the conducted Galileo HAS performance tests, the next point of interest was focused on the comparison of the observed Galileo HAS accuracy with other available GNSS positioning methods. The Galileo HAS is classified as absolute positioning method, which is not augmented by any regional or local differential service.

Table 6. The accuracy parameters of Galileo HAS versus other positioning GNSS methods (24 hours of simultaneous observations)

	RELATIVE ACCURACY							ABSOLUTE ACCURACY	
	mean position offset [m]				sigma [m]			68 percentile of observed errors	
	latitude	longitude	2D offset	altitude	latitude	longitude	altitude	position [m]	altitude[m]
<b>GALILEO HAS (GPS+GALILEO)</b>	0,022	-0,043	<b>0,048</b>	-0,026	0,040	0,293	0,090	0,080	0,098
<b>GPS+GALILEO 2f (E1/E5a/E6-B + L1/L2C)</b>	0,150	-0,219	<b>0,265</b>	-1,069	0,411	0,589	1,847	0,834	2,471
<b>GALILEO HAS (GALILEO only)</b>	-0,030	-0,051	<b>0,059</b>	0,034	0,032	0,040	0,148	0,086	0,097
<b>GALILEO 2f (E1/E5a/E6-B)</b>	0,014	-0,630	<b>0,630</b>	-1,896	0,695	0,542	2,164	1,165	3,758
<b>GALILEO HAS (GPS only, GalE6 on)</b>	0,001	-0,035	<b>0,035</b>	-0,035	0,069	0,073	0,139	0,107	0,126
<b>GPS 2f (L1/L2C)</b>	0,832	0,882	<b>1,212</b>	0,794	0,927	0,733	2,188	1,789	2,328
<b>GALILEO HAS (GPS+GALILEO)</b>	-0,029	-0,057	<b>0,064</b>	0,060	0,036	0,070	0,092	0,091	0,086
<b>EGNOS (PRN 136)</b>	0,001	0,006	<b>0,006</b>	0,406	0,279	0,195	0,626	0,342	0,745

Source: own study.

So, as such, in the first approach, it was compared to GNSS positioning methods with similar status, ie. which are based on signals available to users solely from the navigational satellites creating the constellation of the particular system. In this way the following comparisons pairs were created and studied:

- HAS Galileo (based on GPS+Galileo constellation) versus GPS+Galileo dual frequency positioning;
- HAS Galileo (Galileo only constellation) versus Galileo dual frequency positioning;
- HAS Galileo (GPS only constellation) versus GPS dual frequency positioning.

For every comparison, the data was collected simultaneously in two different receivers as it is summarized in Table 4 (see the paragraph 3). Furthermore, having in mind almost worldwide coverage and the wide accessibility of Satellite-Based Augmentation Services (SBAS), the additional session was conducted to compare Galileo HAS (GPS+Galileo constellation) with EGNOS based positioning. The obtained results are presented in the Table 6, Figure 2 and Figure 3.

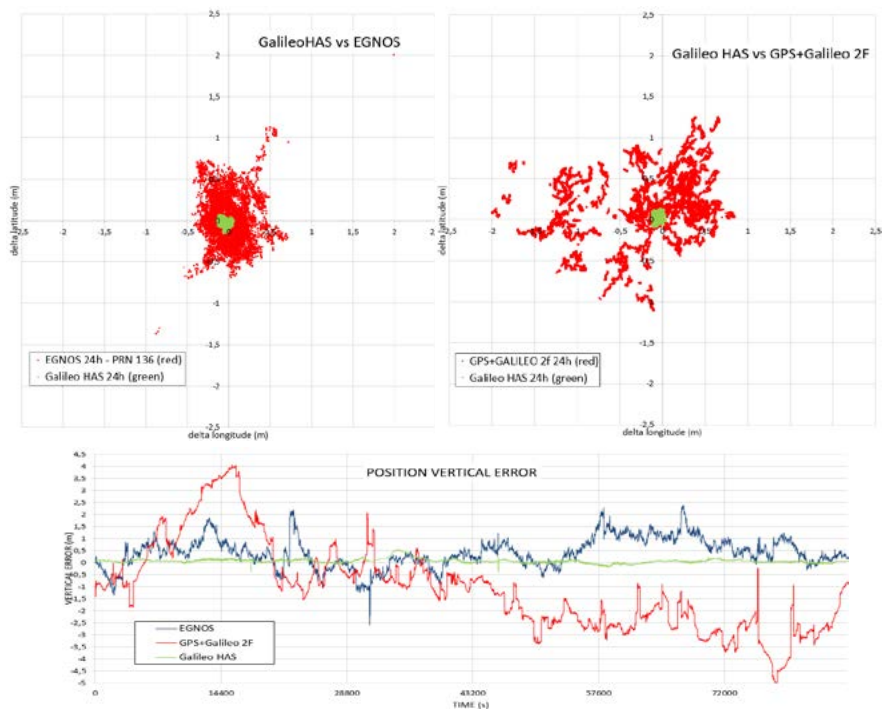


Figure 2. The accuracy parameters of Galileo HAS versus other positioning GNSS methods (24 hours of simultaneous observations)

Source: own study.

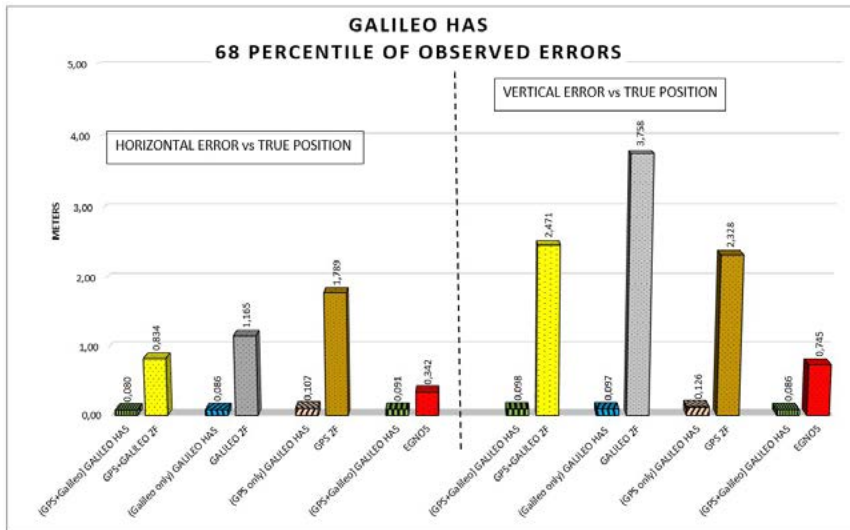


Figure 3. The accuracy parameters of Galileo HAS versus other positioning GNSS methods – 68 percentile of observed errors

Source: own study.

The performance of various GNSS positioning methods selected for the comparison is described with the same accuracy parameters as in the previous paragraph. Analysis of the observed relative and absolute accuracy shows clearly that the Galileo HAS is able to deliver the positioning accuracy which is an order of magnitude better than what can be achieved with the adequate dual frequency absolute GNSS positioning methods. It refers both to the horizontal positioning errors and the errors observed in vertical axis. Furthermore, the Galileo HAS, even being non differential system, by creating the ability to execute the standalone carrier-phase measurements, is significantly more accurate than the code-based, differentially augmented, positioning system represented during tests by EGNOS. While EGNOS maintains the submeter accuracies of the horizontal and vertical positioning (68 percentile/24 hours), the Galileo HAS is able to reach in the same conditions the subdecimeter precision (68 percentile/24 hours) for both the horizontal and vertical position estimations.

## 6. CHECKING GALILEO HAS CONVERGENCE TIME

The third aspect of testing the Galileo HAS performance refers to the checks of time required by the service to reach the converge to required accuracy level. As it was described in paragraph 3, The Galileo HAS convergence time was estimated with receiver set up in various modes of operations and during periods when the normal and reduced satellite constellation was observed. The results are presented in Table 7, Figure 4 and Figure 5.



Table 7. The Galileo HAS positioning convergence times observed for various modes of operation and varied constellations

	CONVERGENCE TIME to true position		CONVERGENCE TIME to estimated 1-sigma*		Integer fix convergence time	REMARKS
	2D distance < 20 cm	delta height < 40 cm	2D sigma < 20 cm	1-sigma height < 40 cm		
<b>GALILEO HAS</b> (GPS+Galileo) good constellation	12 m 38 s (758 s)	01 m 37 s (97 s)	25 m 59 s (1559 s)	09 m 29 s (569 s)	24 m 04 s (1444 s)	7 x GAL; 9 x GPS; HDOP 0.7; PDOP 1.2
<b>GALILEO HAS</b> (GPS+Galileo) bad constellation	35 m 28 s (2128 s)	03 m 08 s (188 s)	16 m 58 s (1018 s)	11 m 48 s (708 s)	25 m 09 s (1509 s)	5 x GAL; 8 x GPS; HDOP 0.8; PDOP 1.4
<b>GALILEO HAS</b> (GPS+Galileo) elev. mask 30deg	22 m 43 s (1363 s)	23 m 54 s (1434 s)	28 m 03 s (1683 s)	21 m 44 s (1304 s)	no integer fix (35 min obs.)	5 x GAL; 5 x GPS; HDOP 1.2; PDOP 2.8
<b>GALILEO HAS</b> (GALILEO only)	22m 36 s (1356 s)	03 m 10 s (190 s)	32 m 38 s (1958 s)	31 m 05 s (1865 s)	no integer fix (35 min obs.)	6 x GAL; HDOP 1.2; PDOP 2.3
<b>GALILEO HAS</b> kinematic	/	/	16 m 20 s (980 s)	08 m 10 s (490 s)	27 m 4 0s (1660 s)	7 x GAL; 9 x GPS; HDOP 0.6; PDOP 1.3

\*as reported in NMEA GST message recorded in the Galileo HAS receiver

Source: own study.

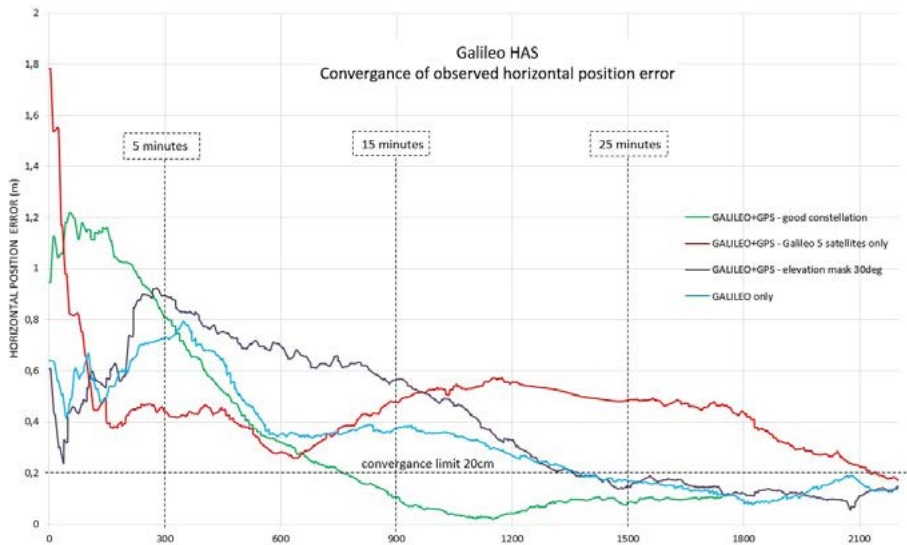


Figure 4. Galileo HAS – convergence of observed horizontal position error

Source: own study.

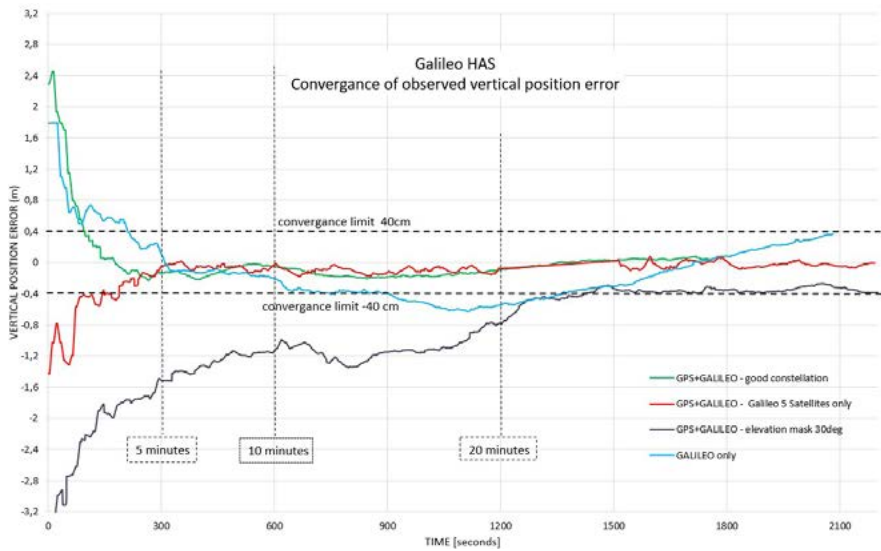


Figure 5. Galileo HAS – convergence of observed vertical position error

Source: own study.

The analysis of obtained data shows that the Galileo HAS needs the noticeable period of time to converge to its nominal accuracy after initialization. The convergence time vary for various modes of operations and the constellation configurations. While observing the service error referred to true position the shortest convergence times are observed while Galileo HAS works with good joint GPS+Galileo constellation (7 x Galileo plus 9 x GPS satellites). In this conditions the observed convergence time to fulfil both the expected horizontal and vertical accuracy reaches almost 13 minutes.

During tests, while the constellation is not so favorable or the sky sectors are limited, the observed, full (vertical and horizontal) convergence times may reach almost 36 minutes which is significantly longer than desired 300 seconds (5 minutes). It is noticeable that usually the vertical accuracy of 40 cm is reached quicker than 20 cm of horizontal error limit. It is worth to mention that after initial convergence Galileo HAS maintains its desired horizontal and vertical accuracies without further position deteriorations. It seems that, at the actual stage of the Galileo HAS development, the long convergence time should be the first issue to be addressed in the context of the service applicability to the wide range of applications.

## 7. CONCLUSIONS

The Galileo High Accuracy Service (HAS) may give users, the unique in its kind, GNSS positioning tool potentially delivering free of charge, global, standalone, phase-based, precise point positioning with subfoot accuracy. The article presents the results

of tests on the Galileo HAS performance in its initial operational phase. The experiment was conducted in July/August 2023 in Gdynia, Poland. As the first approach to the verification the declared Galileo HAS performance, the positioning sessions were set up in static conditions with antennas located at known, geodetically surveyed points. The Galileo HAS in field positioning were conducted with the first, generally available to users, the Galileo HAS capable receiver - "EOS Arrow Gold+" which is providing so called "out of box" positioning for various user needs. The main tests objectives were focused on:

- the verification of the relative and absolute accuracy of Galileo HAS positioning;
- the comparison of Galileo HAS performance with positioning results observed simultaneously with other GNSS methods such as: EGNOS, dual frequency GPS+Galileo or dual frequency GPS and dual frequency Galileo;
- testing of the Galileo HAS convergence time to reach the expected performance level.
- The detailed results of various measurement sessions were presented in the previous paragraphs and can be summarized as follows:
  - in the nominal operational modes (GPS+Galileo and Galileo only), 68 percentile of horizontal position errors during 24 hours observations stays below 10 cm while the expected accuracy is to be 15 cm for the GPS+Galileo constellation and 25 cm for the Galileo only mode;
  - in the nominal operational modes (GPS+Galileo and Galileo only), 68 percentile of vertical errors during 24 hours observations is 1-2 cm worse than for 2D positions but still stays below 10 cm while the expected accuracy is to be 20 cm for the GPS+Galileo constellation and 30 cm for the Galileo only mode;
  - the short periods observations during various periods of the day are in general consistent with results obtained for 24 hour observations with differences +/- 2 cm for 2D positions and +/- 5 cm for vertical errors;
  - across all measurements sessions the minimal values of 95 percentile reaching 9.7 cm both for horizontal positions and vertical axis;
  - while considering the nominal operational modes of Galileo HAS ie. using GPS+Galileo or Galileo only constellation, 95 percentile value always stays below 12.8 cm for the 2D positioning and below 20.3 cm for the altitude estimations;
  - mean position offsets from the true position stay within 5–6 cm for horizontal positioning and 3–4 cm for vertical axis;
  - during all measurements sessions the positions estimations were executed based on carrier-phase measurements with fixed integer ambiguity solution present for: 97.6% of observations – the Galileo only mode, 99.9% of observations – the Galileo+GPS mode;
  - Galileo HAS is able to deliver the positioning accuracy which is an order of magnitude better than what can be achieved with the adequate dual frequency absolute GNSS positioning methods;
  - Galileo HAS (standalone, phase-based) is more accurate than the code-based, differentially augmented, positioning system represented by EGNOS.

- while EGNOS maintains the submeter accuracies of the horizontal and vertical positioning (68 percentile/24 hours), the Galileo HAS is able to reach in the same conditions the subdecimeter precision (68 percentile/24 hours) for both the horizontal and vertical position estimations;
- Galileo HAS needs the noticeable period of time to converge to its nominal accuracy after initialization. This time vary for various modes of operations and constellation configurations;
- the observed Galileo HAS convergence times to reach its expected accuracies are from 13 minutes to 36 minutes, which is significantly longer than desired 300 seconds (5 minutes);
- after initial convergence Galileo HAS maintains its „subfoot” accuracy without position deterioration;
- at the actual stage of the Galileo HAS development the long convergence time should be the first issue to be addressed in the context of the service applicability to the wide range of applications.

The obtained results show that the Galileo HAS presents the potential to fulfil the existing niche where the accuracy of less than two decimetres (“subfoot accuracy”) may be assumed to be sufficient for a wide range of applications. The Galileo HAS may find its applicability as positioning source for various solutions in any of the following domains:

- Aviation: positioning and navigation system for drones in the urban areas; geo-awareness systems;
- Airports: Integrated Surface Management Systems;
- Maritime: navigation and pilotage operations in ports; port bathymetry and coastal seabed survey; offshore support vessels with dynamic positioning (DP); port terminal cranes and carriers navigation; autonomous surface vessels;
- and many others in geomatics, agriculture, rail, road and space navigation.

However, to have a full picture of the Galileo HAS performance and its suitability for the potential applications, the further service testing is desirable. It should consider the various user specific positioning requirements. Additionally, because the Galileo HAS is still under development and further service augmentations are planned, it is worth to monitor the service performance evolution in the context of its accuracy, availability, coverage, convergence time and other aspects, which may make it more or less suitable for particular user needs.

## REFERENCES

### Articles

Angrisano A., Ascione S., Cappello G., Gioia C., Gaglione S., *Application of Galileo High Accuracy Service” on Single-Point Positioning*, Sensors 2023, vol. 23(9), 4223, MDPI, Basel, Switzerland 2023, <https://doi.org/10.3390/s23094223>.

Blonski D., Choi S., *Standards and Interoperability of Precise Point Positioning Services*, Presentation at 14th Meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite Systems, ICG-14, December 2019, Bengaluru, India, [https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2019/icg14/WGS/icg14\\_wgs\\_26.pdf](https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2019/icg14/WGS/icg14_wgs_26.pdf).

Blonski D., de Blas J., Fernandez-Hernandez I., *Galileo High Accuracy Service, Presentation from ICG Workshop GNSS Data Processing for HA Positioning*, January 2021, Tokyo 2021, [https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2021/Tokyo2021/ICG\\_CSISTokyo\\_2021\\_05.pdf](https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2021/Tokyo2021/ICG_CSISTokyo_2021_05.pdf).

Fernandez-Hernandez I., Chamorro-Moreno A., Cancela-Diaz S., Calle-Calle J.D., Zocarato P., Blonski D., Mozo A., *Galileo High Accuracy Service: Initial definition and performance*, GPS Solutions 26 Article No. 65 (2022), Springer, 2022, <https://doi.org/10.1007/s10291-022-01247-x>.

Martini I., Susi M., Paonni M., Sgammini M., Fernandez-Hernandez I., *Satellite Anomaly Detection with PPP Corrections: A case study with Galileo's high accuracy service*, Proceedings of the 2022 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, 25–27 January 2022 Long Beach, CA, USA, 2022.

Naciri N., Yi D., Bisnath S., de Blas J., Capua R., *Assessment of Galileo High Accuracy Service (HAS) test signals and preliminary positioning performance*, GPS Solutions 27 Article No. 73 (2023), Springer, 2023, <https://doi.org/10.1007/s10291-023-01410-y>.

#### Technical Documents

---

European Agency for the Space Programme (EUSPA), Galileo High Accuracy Service Signal-in-Space Interface Control Document (HAS SIS ICD) Issue 1.0, EUSPA, May 2022, [https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo\\_HAS\\_SIS\\_ICD\\_v1.0.pdf](https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo_HAS_SIS_ICD_v1.0.pdf).

European Agency for the Space Programme (EUSPA), Galileo – High Accuracy Service - Service Definition Document (Galileo HAS SDD) Issue 1.0, EUSPA, January 2023, [https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-HAS-SDD\\_v1.0.pdf](https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-HAS-SDD_v1.0.pdf).

European Agency for the Space Programme (EUSPA), Galileo High Accuracy Service Internet Data Distribution (HAS IDD ICD) Issue 1.1, EUSPA, July 2023, <https://www.gsc-europa.eu/electronic-library/programme-reference-documents#ACCURACY>.

European Agency for the Space Programme (EUSPA), Galileo Services - High Accuracy Service Quarterly Performance Report January - March 2023, EUSPA, June 2023, [https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-HAS-Quarterly-Performance\\_Report-Q1-2023.pdf](https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-HAS-Quarterly-Performance_Report-Q1-2023.pdf).

European Agency for the Space Programme (EUSPA), Galileo HAS Days (28 - 29 June 2023) Presentations. EUSPA, July 2023, <https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/services/galileo-high-accuracy-service-has>.

European GNSS Service Centre, Galileo E6-B/C Codes Technical Note Issue 1, European GNSS Service Centre, January 2019, [https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/E6BC\\_SIS\\_Technical\\_Note.pdf](https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/E6BC_SIS_Technical_Note.pdf).

European GNSS Agency, Galileo High Accuracy Service (HAS) Info Note, European GNSS Agency, 2020, [https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo\\_HAS\\_Info\\_Note.pdf](https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo_HAS_Info_Note.pdf).

Quasi-Zenith Satellite System Services Inc., Quasi-Zenith Satellite System Performance Standard (PS-QZSS-003), The Cabinet Office, Government of Japan, March 2022, <https://qzss.go.jp/en/technical/download/pdf/ps-is-qzss/ps-qzss-003.pdf?t=1691789801756>.

## Legislation

---

European Commission, EU Commission Implementing Decision 2017/224 of 8 February 2017, Official Journal of the European Union L34/36, European Union, 2017.

European Commission, EU Commission Implementing Decision 2018/321 of 2 March 2018, Official Journal of the European Union L62/34, European Union, 2018.

The European Parliament and The Council Of The EU, EU Regulation No 1285/2013 of 11 December 2013, Article 2(4)(c), Official Journal of the European Union L347/1, European Union, 2013.

The European Parliament and The Council Of The EU, EU Regulation 2021/696 of 28 April 2021, Article 45(1)(b), Official Journal of the European Union L170/69, European Union, 2021.

**Artur GOŚ**

 Polish Air Force University  
 e-mail: a.gos@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0002-4268-8830

**Kamil KRASUSKI**

 Polish Air Force University  
 e-mail: k.krasuski@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0001-9821-4450

**Wojciech MAZUR**

 Military University of Technology  
 e-mail: mazurwojciech2@gmail.com  
 ORCID: 0000-0001-6599-7874

DOI: 10.55676/asi.v3i1.35

## ACCURACY ANALYSIS OF AIRCRAFT POSITIONING USING NAVIGATIONAL DATA FROM AVIA-W RADAR

ANALIZA DOKŁADNOŚCI POZYCJONOWANIA STATKU POWIETRZNEGO NA PODSTAWIE DANYCH NAWIGACYJNYCH Z RADARU AVIA-W

### Abstract

The paper presents an analysis of the accuracy of determination of parameters of the position of aircraft using data from the AVIA-W radar. In the first place, the authors determined the position of the aircraft as well as the range and azimuth parameters by the AVIA-W radar, located in Dęblin. This was followed by a determination of the absolute position error of the aircraft and the determination of the range and azimuth measurement error by the AVIA-W radar. The research test was carried out using a Diamond DA40 NG aircraft on which a GPS satellite receiver was mounted in order to determine the flight reference position. In addition, the range and azimuth measurements for the aircraft were acquired from the AVIA-W radar. Navigational calculations were conducted for polar and rectangular planar coordinates. Based on the performed research, the azimuth error was found to be  $-1.4^\circ$ , while the radar range measurement error was equal to  $-0.04$  km. The conducted research is experimental in its character. In the future it will be repeated and extended to the GCA-2000 radar, which is also located at Dęblin military airfield.

**Keywords:** radar, GPS, accuracy, aircraft position, azimuth, range

### Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę dokładności wyznaczenia parametrów pozycji statku powietrznego z użyciem danych z radaru AVIA-W. W pierwszej kolejności dokonano wyznaczenia pozycji statku powietrznego oraz określenia parametru zasięgu i azymutu przez radar AVIA-W, zlokalizowany w Dęblinie. Następnie dokonano wyznaczenia błędu absolutnego pozycji statku powietrznego oraz określenia błędu pomiaru zasięgu i azymutu przez radar AVIA-W. Test badawczy przeprowadzono z użyciem samolotu Diamond DA40 NG, na pokładzie którego zamontowano odbiornik satelitarny GPS w celu wyznaczenia pozycji odniesienia lotu. Dodatkowo z radaru AVIA-W pozyskano pomiary zasięgu i azymutu do statku powietrznego. Obliczenia nawigacyjne zrealizowano dla współrzędnych biegunowych i prostokątnych płaskich. Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że błąd azymutu wynosi  $-1,4^\circ$ , z kolei błąd pomiaru zasięgu radaru wynosi  $-0,04$  km. Przeprowadzone badania mają charakter eksperymentalny i w przyszłości zostaną powtórzone i rozszerzone o radar GCA-2000, który także znajduje się na lotnisku wojskowym Dęblin.

**Słowa kluczowe:** radar, GPS, dokładność, pozycja statku powietrznego, azymut, zasięg

## 1. INTRODUCTION

An airfield area control radar is a device used to detect and determine the position of airborne objects. Nowadays, it is hard to imagine maintaining a smooth, orderly and safe flow of air traffic without the provision of a radar-based air traffic control service, of which a radar is an essential tool. An airfield area control radar is a device whose application is also crucial from the perspective of national defence, as it enables a regular observation of a designated area of space as well as a quick recognition of enemy air forces<sup>1</sup>.

The use of radars to detect and determine the position of objects using electromagnetic waves is described in the field of radio engineering referred to as radiolocation. The term radar itself is derived from an English acronym for “radio detection and ranging” and it stands for “detection and ranging by radio waves”<sup>2</sup>. This device uses a focused beam of electromagnetic radiation to detect and determine the position of objects that are capable of reflecting electromagnetic waves<sup>3</sup>. It is used to conduct continuous radar reconnaissance and provide radar information on the airspace situation in an airfield area<sup>4</sup>.

In modern aviation, continuous monitoring and tracking of aircraft during flight operations is a key element. In practice, navigation radars installed at airfields are used to continuously monitor changes in aircraft position. The navigational radar readings are referenced to a polar coordinate system or a spherical coordinate system. In the case of a polar coordinate system, the authors refer to a two-dimensional coordinate system. In such a system, the basic parameters measured are range ( $R$ ) and azimuth ( $B$ ). In the case of a spherical coordinate system, the author refers to a three-dimensional coordinate system. In such a system, the basic measured parameters are range ( $R$ ), azimuth ( $B$ ) and elevation ( $\epsilon$ )<sup>5</sup>.

## 2. SCIENTIFIC KNOWLEDGE ANALYSIS

The research themes concerning determination of aircraft position using radar data have been widely addressed in the available scientific literature. The research work has been carried out both in Poland and internationally. In the case of the research conducted in Poland, the main themes concern:

<sup>1</sup> Z. Czekąła, *Parada radarów*, Bellona, Warszawa 1999, p. 1–456.

<sup>2</sup> A. Goś, *Charakterystyka porównawcza radarów AVIA i GCA2000*, [in:] *Wybrane aspekty zabezpieczenia nawigacji lotniczej*, ed. J. Ćwiklak, “Współczesna Nawigacja”, T. I, LAW, Dęblin 2019, p. 161–174.

<sup>3</sup> A. Truskowski, *Detecting aircraft made in stealth technology*, “Scientific journal of Polish Naval Academy” 2014, vol. 4(199), DOI: 10.5604/0860889X.1139635, p. 83–102.

<sup>4</sup> <https://www.defence24.pl/polskie-wojsko-chce-wymienic-radary-kontroli-rejonu-lotniska> [access: 17.05.2023].

<sup>5</sup> Z. Tao, L. Chunxia, L. Quanhua, C. Xinliang, *Tracking with nonlinear measurement model by coordinate rotation transformation*, “Science China Technological Sciences” 2014, vol. 57, DOI: 10.1007/s11431-014-5694-y, p. 2396.



- determining the aircraft position by means of a long-range radar<sup>6</sup>;
- tests of modern radiolocation equipment carried out by the Air Force Institute of Technology with regard to aircraft precision positioning<sup>7</sup>;
- determination of the precise trajectory of an aircraft by a radar in the “BRDA” flight experiment<sup>8</sup>;
- application of methods for aircraft discrimination by radar equipment during a flight test<sup>9</sup>;
- analysis, evaluation and review of selected air traffic management systems in Poland<sup>10</sup>;
- detection and tracking of small and high speed moving ballistic objects by radar equipment<sup>11</sup>;
- application of the multilateration technique in airspace management in Poland<sup>12</sup>;
- analysis of the effectiveness of radar interference for the aircraft self-defence system<sup>13</sup>;
- representation of radar metrics for the aircraft self-defence systems database<sup>14</sup>;
- development of a method for testing the azimuthal and distance discriminability of radiolocation stations<sup>15</sup>;
- testing of equal types of radars manufactured in Poland, including navigation applications<sup>16</sup>;

<sup>6</sup> M. Brzozowski, M. Myszką, Z. Lewandowski, A. Modrzewski, *Wykorzystanie metod precyzyjnego wyznaczania pozycji obiektów powietrznych za pomocą GPS do badań radaru dalekiego zasięgu RST-12M*, “Problemy Techniki Uzbrojenia” 2007, vol. 36(101), p. 53–62.

<sup>7</sup> M. Brzozowski, M. Pakowski, M. Myszką, M. Michalczewski, U. Winiarska, *The research of modern radar equipment conducted in the Air Force Institute of Technology by the application of military aircrafts*, “Aviation Advances & Maintenance” 2017, vol. 1(40), DOI: 10.1515/afit-2017-0002, p. 27–65.

<sup>8</sup> M. Grzegorzewski, *Navigating an aircraft by means of a position potential in three dimensional space*, “Annual of Navigation” 2005, vol. 9, p. 1–111.

<sup>9</sup> M. Brzozowski, Z. Lewandowski, *Metoda określania rozróżnialności obiektów powietrznych przez urządzenia radiolokacyjne z wykorzystaniem lotów samolotów z zamontowanymi na pokładzie odbiornikami i rejestratorami pozycji*, “Problemy Techniki Uzbrojenia” 2009, vol. 38(112), p. 105–115.

<sup>10</sup> M. Siergiejczyk, K. Krzykowska, *Analiza i ocena wybranych systemów dozoru w ruchu lotniczym*, “TTS Technika Transportu Szybowego” 2013, vol. 20(10), p. 1825–1834.

<sup>11</sup> M. Brzozowski, M. Pakowski, M. Nowakowski, M. Myszką, M. Michalczewski, *Radiolocation Devices for Detection and Tracking Small High-Speed Ballistic Objects – Features, Applications, and Methods of Tests*, “Sensors” 2019, vol. 19, DOI: 10.3390/s19245362, p. 5362.

<sup>12</sup> M. Siergiejczyk, J. Siłkowska, *Analiza możliwości wykorzystania techniki multilateracji w dozoru przestrzeni powietrznej*, “Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport” 2014, vol. 102, p. 119–133.

<sup>13</sup> J. Matuszewski, J. Dudczyk, *Analiza skuteczności zakłóceń radiolokacyjnych systemu samoobrony statku powietrznego*, “Elektronika: Konstrukcje, Technologie, Zastosowania” 2015, vol. 56(10), DOI: 10.15199/13.2015.10.17, p. 83–88.

<sup>14</sup> J. Matuszewski, *Metryka radaru dla potrzeb bazy danych samolotowych systemów samoobrony*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2015, vol. 91(3), DOI:10.15199/48.2015.03.18, p. 77–80.

<sup>15</sup> M. Brzozowski, M. Myszką, Z. Lewandowski, *Metoda badania rozróżnialności azymutalnej i odległościowej stacji radiolokacyjnych*, „Problemy Techniki Uzbrojenia” 2004, vol. 33(92), p. 49–56.

<sup>16</sup> M. Pakowski, M. Brzozowski, M. Michalczewski, M. Myszką, *Methods for Testing Military Radars Produced in Poland*, „Proceedings of the 2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)”, DOI: 10.1109/MetroAeroSpace.2018.8453542, p. 322–327.

- testing the accuracy of azimuth and range measurement by radar equipment during a flight test<sup>17</sup>.

Worldwide, navigation applications of radars have addressed issues in the area:

- determining the basic navigational, technical and operational parameters of the radar for aircraft detection<sup>18</sup>;
- determination of the precise flight altitude of the aircraft by a radar<sup>19</sup>;
- development of aircraft separation monitoring for Tokyo International Airport in Japan<sup>20</sup>;
- development of a collision avoidance system for aircraft including radar data control<sup>21</sup>;
- specifying the accuracy of the determination of the aircraft's airspeed by a radar<sup>22</sup>;
- integration of radar and GPS satellite data for the aircraft precision approach procedure<sup>23</sup>;
- comparison of radar and GPS satellite data for aircraft positioning<sup>24</sup>;
- tracking the movement of UAVs by a meteorological radar<sup>25</sup>;
- using the telephone in order to determine the position of aircraft with reference to navigational radar data<sup>26</sup>;
- using radars in air traffic management, including approach and landing phases<sup>27</sup>;
- aircraft position prediction using radar data for fuzzy models<sup>28</sup>;

<sup>17</sup> M. Pakowski, M. Brzozowski, M. Nowakowski, M. Mysza, M. Michalczewski, *Research on radar angular and range resolution with the use of a system assisting the pilots in maintenance of flight parameters*, "Proceedings of the 2019 IEEE 5th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)", DOI: 10.1109/MetroAeroSpace.2019.8869694.

<sup>18</sup> S.H.M. Al Sadoon, B.H. Elias, *Radar theoretical study: minimum detection range and maximum signal to noise ratio (SNR) equation by using MATLAB simulation program*, "American Journal of Modern Physics" 2013, vol. 2(4), DOI: 10.11648/j.ajmp.20130204.20, p. 234–241.

<sup>19</sup> W. Semke, N. Allen, A. Tabassum, M. Mccrink, M. Moallemi, K. Snyder, E. Arnold, D. Stott, M.G. Wing, *Analysis of Radar and ADS-B Influences on Aircraft Detect and Avoid (DAA) Systems*, "Aerospace" 2017, vol. 4, DOI: 10.3390/aerospace4030049, p. 49.

<sup>20</sup> K. Sekine, F. Kato, K. Kageyama, E. Itoh, *Data-Driven Simulation for Evaluating the Impact of Lower Arrival Aircraft Separation on Available Airspace and Runway Capacity at Tokyo International Airport*, "Aerospace" 2021, vol. 8, DOI: 10.3390/aerospace8060165, p. 165.

<sup>21</sup> M. Džunda, P. Dzuroučín, L. Melníková, *Anti-Collision System for Small Civil Aircraft*, "Applied Sciences" 2022, vol. 12, DOI: 10.3390/app12031648, p. 1648.

<sup>22</sup> J. Maas, R. Van Gent, J. Hoekstra, *A portable primary radar for general aviation*, "PLoS ONE" 2020, vol. 15(10), DOI: 10.1371/journal.pone.0239892, p. 1–32.

<sup>23</sup> N. Nabaa, G. Clary, J. Cross, D. Howard, R. Thayer, *Integration of DGPS and Precision Tracking Radar for Aircraft Precision Approach*, "Proceedings of the 57th Annual Meeting of The Institute of Navigation (2001)", Albuquerque, NM, June 2001, p. 280–290.

<sup>24</sup> R. Gazit, *Aircraft Tracking Using GPS Position and Velocity Reports*, "Proceedings of the 8th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1995)", Palm Springs, CA, September 1995, p. 281–290.

<sup>25</sup> S. Bachmann, V. Debrunner, D. Zrnec, *Detection of Small Aircraft with Doppler Weather Radar*, "Proceedings of the 2007 IEEE/SP 14th Workshop on Statistical Signal Processing", DOI: 10.1109/SSP.2007.4301297, p. 443–447.

<sup>26</sup> B. Lilly, D. Cetinkaya, U. Durak, *Tracking Light Aircraft with Smartphones at Low Altitudes*, "Information" 2021, vol. 12, DOI: 10.3390/info12030105, p. 105.

<sup>27</sup> J.W. Rogers, C.J. Tidwell, A.D. Little, *Terminal area surveillance system*, "Proceedings of the International Radar Conference 1995", DOI: 10.1109/RADAR.1995.522598, p. 501–504.

<sup>28</sup> M.S. Raboaca, C. Dumitrescu, I. Manta, *Aircraft Trajectory Tracking Using Radar Equipment with Fuzzy Logic Algorithm*, "Mathematics" 2020, vol. 8, DOI: 10.3390/math802020, p. 207.

- tracking of aircraft position by a high frequency radar<sup>29</sup>.

Based on the available data it appears that:

- the use of radar is essential to determine the precise position of an aircraft during a flight;
- the navigational parameters of an aircraft flight collected by the radar were compared with the performance of GPS satellite technology;
- the surveys mainly used dual-coordinate radars to determine azimuth and range to the aircraft;
- the use of a radar is essential to maintain management and air traffic control in a given area;
- the range of research carried out in scientific publications was quite extensive for radar technology, which indicates its enormous application in air navigation.

As the analysis of the current state of knowledge shows, determining the position of an aircraft is the main task posed to radar equipment. The position of the aircraft can be defined in both polar and Cartesian systems. Furthermore, it can be said that range ( $R$ ) and azimuth ( $\beta$ ) in the polar system or a pair of numbers ( $X$ ,  $Y$ ) in the Cartesian system can be used to determine the coordinates of the aircraft. When presenting the results in this way, it is also necessary to analyse the accuracy of the calculated navigational parameters of the aircraft position. Hence, the main objective of this paper is to present an analysis of the accuracy of aircraft positioning using radar data for the AVIA-W radar installed at the EPDE military airfield in Dęblin. The paper aims to demonstrate a methodology for determining the accuracy of aircraft position for both polar and Cartesian coordinates. The study will use actual measurement data recorded by the AVIA-W radar and, in addition, on-board data from a GPS satellite receiver mounted on an aircraft.

In conclusion, the authors' main contribution to the work is as follows:

- the development of a methodology for determining the position of the aircraft for both polar coordinates;
- development of a methodology for determining aircraft position both for Cartesian coordinates;
- establishing position error, azimuth error and range error for determining aircraft location;
- determination of the characteristics of the changes of the determined errors in the form of a linear trend.

The whole work has been divided into 6 chapters, i.e.: Chapter One. Introduction, Chapter Two. Analysis of the available expertise, Chapter Three. Research Method, Chapter Four Research test, 5. Research findings and discussion, Chapter Six. Conclusions. The article is complete with a concise list of the available scientific literature.

---

<sup>29</sup> R.H. Khan, D. Power, *Aircraft detection and tracking with high frequency radar*, "Proceedings of the International Radar Conference 1995", DOI: 10.1109/RADAR.1995.522517, p. 44–48.

### 3. RESEARCH METHOD

Chapter Three describes the mathematical model for determining the position of the aircraft using radar data. Moreover, it presents the accuracy analysis algorithm for the obtained results.

The position of an object (point) defined by AVIA-W radar is expressed by two polar planar coordinates projected on a horizontal plane. The origin of a system with such coordinates is the position of the radar antenna. The first coordinate is the oblique distance between the origin of the system and the detected object (point). The oblique distance is specified in kilometres and denoted by the symbol  $R$ . The second coordinate is the azimuth angle, which, in the case of the radar, is measured between the south direction and the direct line connecting the origin of the system with the target. This angle takes on the value from  $0^\circ$  to  $360^\circ$  and is measured clockwise. The azimuth is indicated by the symbol  $B$ .

In order to transform the polar coordinates  $R_{AVIA}$  and  $B_{AVIA}$  of the points defined by the radar into the rectangular plane coordinates  $X_{AVIA}$  and  $Y_{AVIA}$ , the following mathematical formulas described by equations (1–3) were used:

$$\alpha_{AVIA} = 270^\circ - B_{AVIA} \tag{1}$$

$$X_{AVIA} = R_{AVIA} \cdot \cos(\alpha_{AVIA}) \tag{2}$$

$$Y_{AVIA} = R_{AVIA} \cdot \sin(\alpha_{AVIA}) \tag{3}$$

where:

$(X_{AVIA}, Y_{AVIA})$  – plane rectangular coordinates of the aircraft based on radar data;

$\alpha_{AVIA}$  – azimuth in a plane rectangular system based on radar data;

$B_{AVIA}$  – azimuth to the polar position of an object based on radar data.

As the  $B_{AVIA}$  azimuth angle is measured to the right of the south direction. An additional angle was determined for the purpose of the calculations, which is denoted by the symbol  $\alpha_{AVIA}$ . In the Cartesian system, the angles are measured to the left of the positive part of the axis of abscissas. The South direction in the Cartesian system corresponds to the negative part of the axis of ordinates. The angle between the positive part of the abscissa axis and the negative part of the ordinate axis is equal to  $270^\circ$ . Determining the angle  $\alpha$  involves changing the reference axis of the  $B_{AVIA}$  azimuth angle from the negative part of the axis of ordinates to the positive part of the axis of abscissa. This proves essential because of the use of trigonometric functions to determine the  $X_{AVIA}$  and  $Y_{AVIA}$  coordinates.

Comparison of positions determined by a radar and a GPS receiver is possible when the points determined by both devices are in the same coordinate system. For this purpose, all the points were placed in a new common rectangular planar (Cartesian) coordinate system XAVIA and YAVIA related to the position of the radar antenna. The Cartesian system consists of two perpendicular number axes – the abscissa axis denoted by  $x$  and the ordinate axis denoted by  $y$ . The axes intersect at the origin of the coordinate system. Each point in the system can be uniquely assigned coordinates

$(X, Y)$  by creating a rectangular projection of the point on the abscissa and ordinate axes. The radar antenna, which is the origin of the system, lies at a point with coordinates  $(0,0)$ . Both axes of the system are scaled in kilometres. The knowledge of the plane rectangular coordinates of two points makes it possible to calculate the distance between them.

A GPS satellite receiver determines the position of a point on the Earth's surface (on the WGS-84 representation of the Earth's ellipsoid) using angular quantities called geodetic coordinates. The geodetic coordinates are latitude and longitude and are measured in degrees, minutes and angular seconds<sup>30</sup>.

The distribution of points recorded by a GPS satellite receiver in the  $X_{GPS}$  and  $Y_{GPS}$  plane polar coordinate system makes it possible to be transformed into the plane polar coordinate system, whose origin is the antenna of the AVIA-W radar in Dęblin. This enables to express the position of points determined by a GPS receiver by means of the same positioning parameters, used by radar. It needs to be observed, however, that in this case the distance of the point from the origin of the system is not actually the oblique distance of the object from the antenna, but the horizontal distance of the object from the antenna. The transformation of the rectangular coordinates of the flat points determined by the GPS receiver into the same coordinates, used by the radar, does not take into account the effect of a flight altitude, since it is not relevant for the determination of the GPS position. In order to transform the  $X_{GPS}$  and  $Y_{GPS}$  planar rectangular coordinates into  $R_{GPS}$  and  $B_{GPS}$  planar polar coordinates, algorithms (4–6) were applied as follows:

$$R_{GPS} = \sqrt{X_{GPS}^2 + Y_{GPS}^2} \quad (4)$$

$$\alpha_{GPS} = \arctg\left(\frac{Y_{GPS}}{X_{GPS}}\right) \quad (5)$$

$$B_{GPS} = 270^\circ - \alpha_{GPS} \quad (6)$$

where:

$(X_{GPS}, Y_{GPS})$  – plane rectangular coordinates of the aircraft based on GPS satellite data;

$\alpha_{GPS}$  – azimuth in a plane rectangular system based on radar data;

$B_{AVIA}$  – azimuth of the polar position of an object based on radar data.

In order to investigate the accuracy of the determination of position parameters by the radar, the absolute error of measurement was determined. An absolute error is a measure of accuracy that determines how far a measurement result deviates from the real value of the measured value. For the purpose of this analysis, it was assumed that the coordinates of the points determined by the GPS satellite receiver correspond to the real position of the aircraft at a certain time during the experiment. By placing all the measurement points in the Cartesian coordinate system, it is possible to calculate the difference in distance between them. The difference in distance between a point determined by a radar and the actual position of the aircraft, i.e. the point determined by a GPS receiver at a given time, is the absolute error

<sup>30</sup> E. Osada, *Geodezja*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001, p. 230–250.

of the position determination. The absolute error of the position determination by the radar is denoted by  $\Delta(X, Y)$  and calculated for each pair of points with the same synchronized measurement time in accordance with the following formula:

$$\Delta(X, Y) = \sqrt{(X_{GPS} - X_{AVIA})^2 + (Y_{GPS} - Y_{AVIA})^2} \quad (7)$$

An absolute position error arises from an inaccurate determination of object position parameters by a radar. Expressing a position of points determined by a GPS receiver by means of identical positioning parameters that are exploited by the radar, makes it possible to compare them directly. The difference between the distance from the origin of the coordinate system of the point specified by the radar and the distance from the origin of the coordinates of the point defined by the GPS receiver at a given time is the absolute error of distance measurement. The absolute error of measuring the distance from the antenna is denoted by  $\Delta R$  and calculated for each pair of points with the same synchronized measurement time in accordance with formula 8. The difference between the azimuth angle of a point determined by the radar and the azimuth angle of a point determined by a GPS receiver at a given time is the absolute error of azimuth angle measurement. The absolute measurement error of the azimuth angle at which the object is located was denoted by the symbol  $\Delta B$  and was calculated for each pair of points with the same synchronized measurement time in accordance with formula 9. The mathematical formulas for determining the parameters ( $\Delta B$ ,  $\Delta R$ ) have been described below:

$$\Delta R = R_{AVIA} - R_{GPS} \quad (8)$$

$$\Delta B = B_{AVIA} - B_{GPS} \quad (9)$$

Finally, the mathematical algorithms (1–9) were implemented in navigation calculations with the results shown in Chapter Five.

#### 4. RESEARCH TEST

In order to explore the subject of the article, an experiment was carried out on 27 October 2020 at Dęblin airfield using a Nautiz X8 GPS receiver, which was mounted on board a Diamond DA40 NG aircraft. The aircraft used in the experiment is shown in Fig. 1<sup>31</sup>. The aircraft belongs to the Academic Aviation Training Centre of the Polish Air Force University. The Diamond DA40 NG is a small four-seater aircraft powered by a single 168-horsepower piston engine. It reaches a maximum speed of 285 km/h<sup>32</sup>.

<sup>31</sup> <https://www.wojsko-polskie.pl/law/akademickie-centrum-szkolenia-lotniczego/#gallery-4/> [access: 17.05.2023].

<sup>32</sup> <https://www.diamondaircraft.com/en/private-pilots/aircraft/da40/overview/> [access: 17.05.2023].



Figure 1. Example photo of Diamond DA40 NG aircraft

Source: <https://www.wojsko-polskie.pl/law/akademickie-centrum-szkolenia-lotniczego/#gallery-4/> [access: 17.05.2023].

The start of the experiment was assumed as 10:13:28 local time. This is the moment of the first detection of the operated aircraft by the AVIA-W radar at Dęblin, which occurred during the execution of the take-off operation. During the experiment, the object performed a curved line flight over a varied terrain within and outside the radar range. The experiment ended at 15:26:35, local time, during landing, when the radar visualized the aircraft position on the indicator for the last time. Since between the takeoff and landing operations, the aircraft flew out of the range of the radar, for the sake of the analysis, the authors distinguished the departure and arrival phases. The beginning of the departure phase is the start of the experiment, whereas its completion is the last determination of the object's position parameters by the radar eastwards, at 10:42:03 local time. The arrival phase lasts until the end of the experiment from the moment of the first imagery of the aircraft position westwards, at 15:05:47 local time. Apart from the takeoff and landing operations, the aircraft maintained an absolute altitude (above sea level) of approximately 1,500 feet (457.2 metres) for most of the flight.

In order to measure the position parameters of the aircraft operated in the experiment determined by the AVIA-W radar in Dęblin, the airport terminal TU-20L<sup>33</sup> was used. The TU-20L is operated from the control tower at Dęblin airfield. For measurement purposes, prior to the onset of the experiment, the device was configured to display, on its screen, next to the detected object, the parameters of its position that had been determined by the primary binary radar - oblique distance and azimuth angle (see Fig. 2). The image displayed by the TU-20L airfield terminal is recorded in case it is necessary to determine the course of an abnormal situation that may occur in the area of Dęblin airfield. The video recording is done continuously using AVI format video files that are created in 30-minute intervals. After the experiment had been completed, the video files were used to transcribe the on-screen position

<sup>33</sup> A. Goś, *Charakterystyka porównawcza radarów...*, op. cit., p. 161–174.

parameters of the aircraft used in the experiment during the flight. When analysing the image frame by frame, the recorded parameters were assigned a local time, which was displayed on the device screen each time new radar information appeared. The oblique distance and azimuth angle values were recorded by the device every 6 seconds on average. The experiment resulted in 477 measurement points. Fig. 2 shows the measurement of one of the points.



Figure 2. Example of TU-20L device screen

Source: own study.

Since the TU-20L airfield terminal displays radiolocation information within the boundaries of a circuit whose centre is the radar antenna and whose radius depends on the selected operation mode, at the initial stage of the experiment the device was set in such a way that the reading of position parameters of the aircraft could be made within the full range of object detection capabilities of the AVIA-W radar in Dęblin – up to the distance of 100 km away from the antenna. Due to increased air traffic in the area of Dęblin airfield, in the final stage of the experiment this range was reduced to 50 km in order to visualize the air situation in a more accurate manner, taking into account the need to ensure safe traffic flow through the Approach Control Surveillance rating.

On board the Diamond DA40 NG aircraft, a Nautiz X8 GPS receiver<sup>34</sup> was fixed in a pocket located by the right seat in the pilot cockpit. The instrument measurement began prior to takeoff and was completed soon after landing. During the experiment, the receiver recorded its exact route, determining its points at each second. Each point has got a specific geodetic latitude, geodetic longitude, altitude above sea level and GPS date and time of measurement. The route and its points are stored in the device memory as a GPX file. Files in this format are used to exchange GPS data between receivers and desktop computers. Using the device’s USB port, the file was

<sup>34</sup> <https://www.handheldgroup.com/globalassets/downloads/product-information/data-sheets/low-res-website/en/nautiz-x8-data-sheet-en.pdf> [access: 17.05.2023].



copied onto a portable memory disc and then onto a desktop computer memory disc. Using a GPX file, the QGIS program<sup>35</sup> converted the geodetic coordinates of the route points into plane rectangular coordinates, taking into account the curvature of the Earth. This was done by defining its own coordinate system in the QGIS programme settings. Defining a own coordinate system in QGIS requires the user to have adequate knowledge of the PROJ4 mapping library in the C++ programming language. The origin of the new plane rectangular coordinate system was determined by entering the exact geographical coordinates of the position of the AVIA-W radar antenna in Dęblin, into the program, read out from MIL AIP Poland<sup>36</sup>. The rectangular plane coordinates of the points defined by the GPS receiver, transformed in QGIS, were exported to a Microsoft Excel file<sup>37</sup>. Using Microsoft Excel functions, the graphs were created to simultaneously depict two routes of the aircraft flights, used in the experiment (one based on the points determined by the radar and the other in accordance with the points determined by the GPS receiver) in the Cartesian coordinate system. Additionally, the origin of the coordinate system (position of the radar antenna) was marked on the diagrams and the position of the runway at Dęblin airfield was marked by reading out the coordinates of its origin and ending in the QGIS programme. The runway width on the charts is not shown in scale due to insufficient clarity. In addition, the points determined by the radar were imported into QGIS in order to graphically illustrate the measurement results in the flat polar coordinate system and as maps. A precision analysis was also performed in Microsoft Excel for the test results obtained.

It should be mentioned that the time synchronization of the measurements was done after the experiment in post-processing mode. In order to determine the exact difference between the GPS tGPS time and the local time displayed on the screen of the TU-20L tAVIA airport terminal, the Nautiz X8 GPS receiver was mounted in an open area and started in the GPST (GPS Time) display mode. As the TU-20L's control panel is located in an enclosed room that prevents the reception of GPS signals, the current time indicated by the GPS receiver was set on a Timex Expedition T49852 digital watch. This was followed by a comparison between the GPS time set on the digital watch and the time displayed on the screen of the TU-20L. The time shown on the screen was found to be 1 hour 0 minutes and 0 seconds behind the time set on the digital watch. The synchronized time of all measurements is denoted by  $t$  and calculated for each point according to the following formula. The time determined by the Nautiz X8 tGPS receiver is equal to the synchronized measurement time  $t$ , as shown below:

$$t = t_{GPS} = t_{AVIA} - 1 \text{ hour } 0 \text{ min. } 0 \text{ sec} \quad (10)$$

<sup>35</sup> <https://gis-support.pl/co-to-jest-qgis/> [access: 17.05.2023].

<sup>36</sup> <https://www.ais.pansa.pl/publikacje/aip-mil/> [access: 17.05.2023].

<sup>37</sup> <https://www.microsoft.com/pl-pl/microsoft-365/excel> [access: 17.05.2023].

where:

$t_{GPS}$  – time indicated by the GPS system;

$t_{AVIA}$  – time indicated by AVIA-W radar.

## 5. RESULTS AND DISCUSSION

Chapter Five shows the findings of the calculations along with the presented research methodology. Fig. 3 shows two flight paths of the aircraft used in the experiment in the planar polar coordinate system. The origin of this system is the antenna of the AVIA-W radar in Dęblin, marked by the point in red. The diagram shows points corresponding to the location of larger towns in the area and an arrow indicating the North direction, labelled as *N*. The circles with the centre at the origin of the coordinate system and radii increasing every 5 km make it possible to read out the distance from the point to the antenna. Fig. 3 is visually similar to the scheme in which the air situation is depicted on the screen of the TU-20L airfield terminal. However, the graph does not show the successively detected points, and the route was created by connecting them.

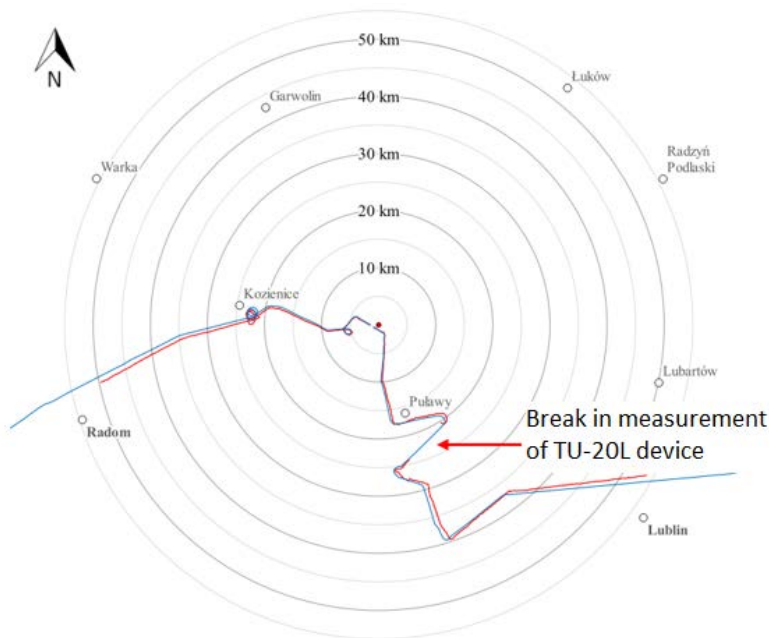


Figure 3. The flight route according to the GPS receiver and AVIA-W radar

Source: own study.

The two flight paths of the aircraft used in the experiment (based on the points determined by the AVIA-W radar in Dęblin and based on the points determined by the Nautiz X8 GPS receiver) presented in Fig. 3 do not coincide. It can be noted that the

greater the distance of the object from the radar antenna, the more the route specified by the points which had been determined by the radar deviates from the route specified by the points given by the GPS receiver. During the departure at a distance of approximately 20–24 km from the antenna, the radar did not determine the parameters of the object's position – the measurement was interrupted. The start of the measurement interval is 9:23:13. The object was invisible on the screen of the TU-20L for 2 minutes and 39 seconds. The radar determined the position parameters of the aircraft used in the experiment again at 9:25:52. During the measurement interval made by the TU-20L, the GPS receiver was continuously recording its positions. During the departure phase, the measurement of the position parameters of the aircraft was taken within the full range of radar object detection capabilities – up to a distance of 100 km away from the antenna. The last point in this phase was determined by the radar at 9:42:03. It lies at a distance of approximately 54 km from the antenna. The distance of the designated point from the antenna is the limit of the actual radar range at the corresponding azimuth for the Diamond DA40 NG aircraft, which is at an absolute altitude of approximately 1,500 feet (457.2 m).

During the arrival phase, the attitude parameters of the aircraft were measured up to a distance of 50 km away from the radar antenna. It is, therefore, impossible to determine the actual range of the radar on arrival, as the first point measured with the TU-20L lies approximately 50 km away from the antenna. In fact, the radar could determine the position parameters of an object at a distance of more than 50 km from the antenna. Since the maximum actual radar range does not significantly depend on the direction of the emitted pulses, it can be expected that on arrival the distance of the aircraft from the antenna at which it was detected by the radar was similar – approximately 54 km.

During the experiment, the aircraft performed a flight with turns. Making turns by the object results in a change in the azimuth angle at which it is located. On arrival, at a distance of approximately 22 km from the aerial, the aircraft made two sharp left turns of approximately 360°. Again the aircraft made one sharp right turn of approximately 230° at a distance of approximately 6 km from the antenna. During the course of the above-mentioned turns and the remaining turns, the radar determined the parameters of the object's position in a way that slightly deviated from the rest of the route. This means that rapid changes in an object's azimuth angle can affect the accuracy of the radar's position determination.

Fig. 4 shows an absolute error of position determination by radar  $\Delta(X, Y)$  as a function of the distance from the radar antenna to the point determined by the GPS receiver ( $R_{GPS}$  coordinate). The points corresponding to the calculated error values at a given distance are marked blue for the departure phase and yellow for the arrival phase. The graph shows the trend line determined by the least squares method from 472 observations at departure and arrival. The standard deviation of all observations from the trend line and its formula can be found in Table 1. The trend line formula can be written as:  $y = 0.0235x + 0.0332$ . The standard deviation of the absolute position error is 0.117 km.

Table 1. Trend line pattern and standard deviation of absolute position error  $\Delta(X, Y)$

Parameter	Value
Function of trend line $y = bx + a$	$y = 0.0235x + 0.0332$
Standard deviation	0.117 km

Source: own study.

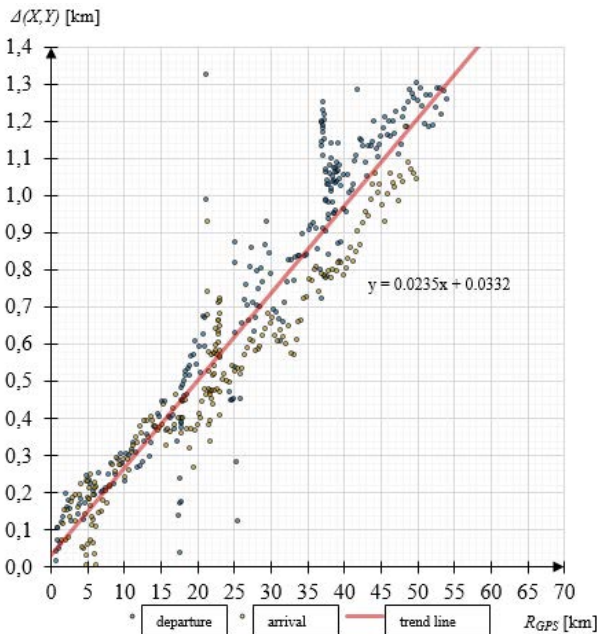


Figure 4. The values of absolute position error as function of distance from radar

Source: own study.

Fig. 5 shows the absolute error of position determination by radar  $\Delta(X, Y)$  as a function of the azimuth angle at which the point determined by the GPS receiver is located ( $B_{GPS}$  coordinate). The points corresponding to the calculated error values, at a given azimuth have been marked blue on the chart for the departure phase and yellow for the arrival phase. The absolute error of position determination by the radar increases as the distance of the aircraft from the radar antenna increases in a linear manner. This means that the further away the object is from the radar, the greater is the difference in distance between the position determined by the radar and its actual position.

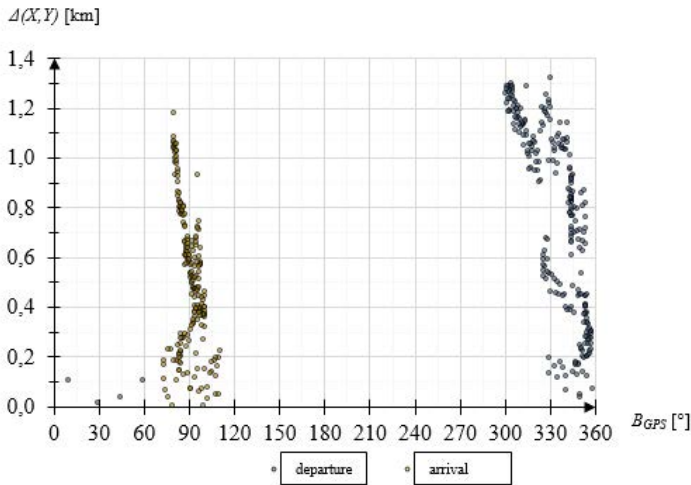


Figure 5. Values of absolute position error as a function of azimuth from the radar  
Source: own study.

The four extremes of error deviating from the trend line are due to the turns and local conditions present at a given measurement site. The extremely low error values, which deviate significantly from the trend line, are consequently a result of the intersection of two routes created by combining points determined by the radar and the GPS receiver during a turn. The magnitude of the absolute error in the determination of the radar position is not constant for a given value of the azimuth angle at which the object is located. The error takes on different values for the same azimuth angle. This is due to the nature of the flight path of the aircraft used in the experiment - the aircraft was forced to perform a flight with a small range of changes in the azimuth angle at which it was located. The absolute error of the radar position determination reached its maximum value just before the interruption of the measurement with the TU-20L device at 9:23:13. The minimum difference in distance between the point determined by the radar and the approximate actual position of the aircraft is at 9:34:56. The minimum and maximum values of the absolute error in the determination of position by the radar are shown in Table 2.

Table 2. Minimum and maximum value of absolute position error  $\Delta(X, Y)$

Type of value	Value $\Delta(X, Y)$ [km]	Time $t$	Point coordinates determined by AVIA-W radar in Dęblin		Point coordinates determined by Nautiz X8 GPS receiver	
			$R$ [km]	$B$ [°]	$R$ [km]	$B$ [°]
Maximum	1.3250	9:23:13	20.3	327.5	21.2	330.3
Minimum	0.0042	9:34:56	37.0	323.5	37.0	323.3

Source: own study.

Fig. 6 shows the absolute error of the position determination by radar  $\Delta(X, Y)$  as a function of the distance from the object calculated along the route based on the points determined by the GPS receiver during the departure phase of  $S_{DEPARTURE}$ . The dashed lines visible on the graph mark the moment when the interruption in the measurement of the object's position parameters by the radar occurred. Fig. 7 shows the absolute error of position determination by radar  $\Delta(X, Y)$  as a function of the distance from the object calculated along the route based on the points determined by the GPS receiver during the  $S_{ARRIVAL}$  arrival phase. The values of absolute errors of position determination by the radar on both diagrams are connected by a continuous line. In both diagrams there is also a continuous green line, which corresponds to the absolute altitude of the terrain along the route, based on the points determined by the GPS receiver. It is expressed in metres and referred to the right vertical axis. The absolute error in determining the position by the radar increases with a growing distance from the object calculated along the route based on the points determined by the GPS receiver. This is due to the fact that the conducted experiment an increase in the distance from the object along the route, in the vast majority of cases, also results in an increase in the object's distance from the radar antenna. This rule does not apply to certain turns. In Fig. 6, the distance ranges of approximately 17–21 km, 27–30 km and 39–43 km show rapid fluctuations in the absolute error of the radar determination of position. Similar fluctuations in error values can be seen in Fig. 7 for distances of approximately 6–9 km and 26–39 km. These are ranges of distances along the route in which the aircraft used in the experiment made turns.

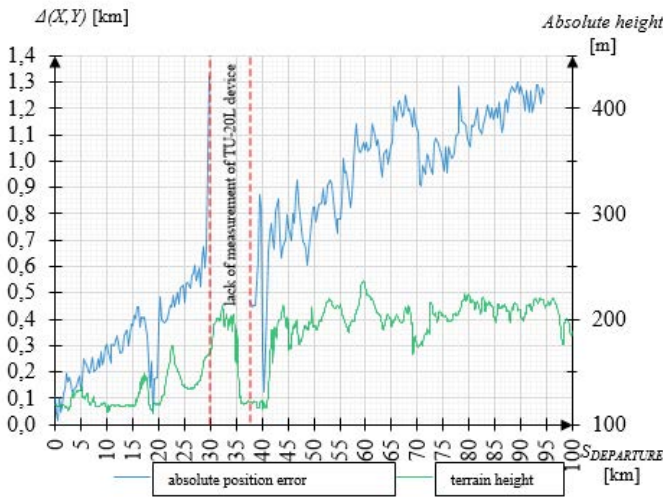


Figure 6. Values of absolute position error during the departure phase  
Source: own study.

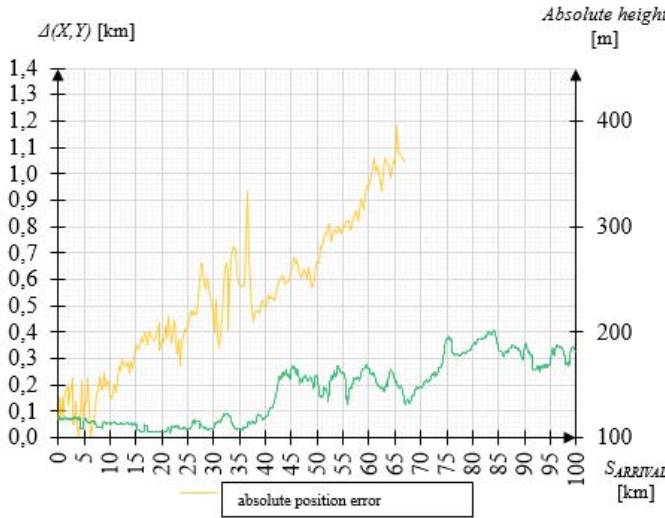


Figure 7. Values of absolute position error during the arrival phase

Source: own study.

In Fig. 6 and 7, a relationship is observed between the shape of the line that connects the absolute error values of the position determination by the radar and the terrain along a given route section. The shape of the line connecting the values of the absolute errors of the position determination by the radar in places nears the shape of the line corresponding to the absolute height of the terrain. In Fig. 6, the terrain is highly varied and it coincides with the interruption in the measurement of the object’s position parameters by the radar. Just before the measurement interruption occurred, the absolute error of the radar position determination reached its maximum.

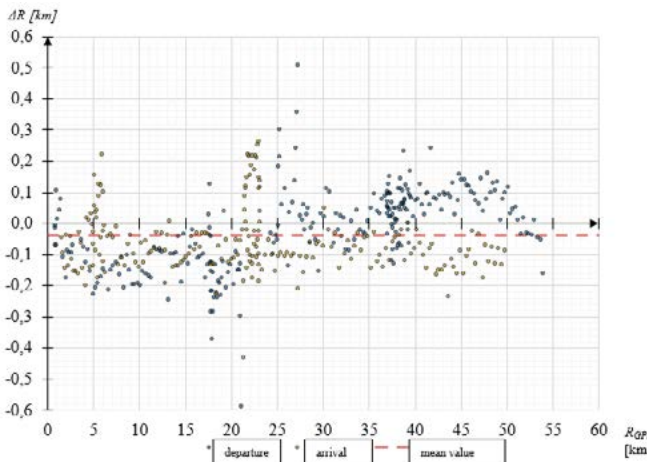


Figure 8. Values of the range error as a function of distance from the radar

Source: own study.

The absolute position error is caused by the radar incorrectly determining the distance of the object from the antenna and the azimuth angle at which it is located. Fig. 8 shows the absolute error in the measurement of the distance of the object from the antenna  $\Delta R$  as a function of the distance from the antenna of the point defined by the GPS receiver ( $R_{GPS}$  coordinate). The points corresponding to the calculated error values, at a given azimuth, the authors marked blue on the chart for the departure phase and yellow for the arrival phase. The red dashed line marks the arithmetic mean value of 472 observations at departure and arrival. The value of the standard deviation of all observations from their arithmetic mean value can be found in Table 3.

Table 3. Statistical parameters of range error

Parameter	Value
Mean value	-0.0373 km
Standard deviation	0.0153 km

Source: own study.

Fig. 9 shows the absolute error of distance determination from  $\Delta(X, Y)$  antenna as a function of the azimuth angle, at which the point determined by the GPS receiver is located ( $B_{GPS}$  coordinate). The points corresponding to the calculated error values, at a given azimuth, have been marked blue on the chart for the departure phase and yellow for the arrival phase, by the authors.

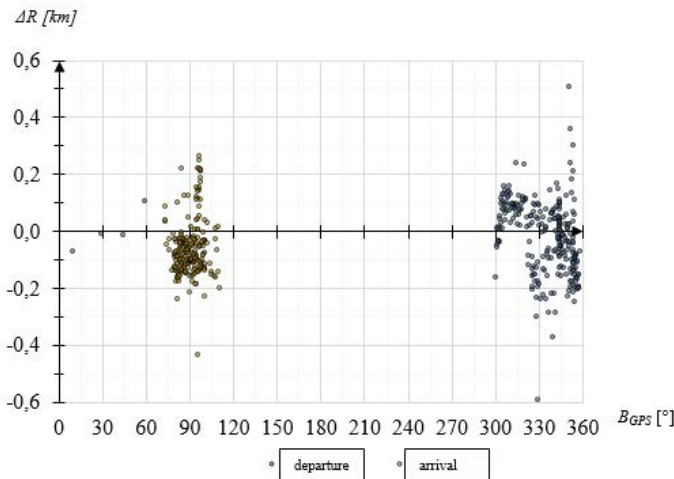


Figure 9. Values of range error as function of azimuth from the radar

Source: own study.



The absolute measurement error of the object's distance from the antenna over the measured distance range takes on different values. The values of individual errors over the entire distance range deviate significantly from the line determining the arithmetic mean value of all errors. This means that the size of the absolute error of distance measurement in the examined distance range results mainly from the local conditions occurring at a given measurement location, such as state of the medium of propagation of an electromagnetic wave and terrain. The influence of local conditions in this case makes it impossible to make a clear statement how moving the object away from the antenna affects the distance value determined by the radar, since the scatter of points on the graph is too large. The absolute error in measuring the distance of an object from an antenna by a radar takes on different values for the same azimuth angle. The apparent accumulation of points with similar values at the same place on the graph is due to the nature of the flight path of the aircraft used in the experiment. The absolute error of the radar position determination reached its highest deviation from zero just before the interruption of the measurement made by the TU-20L device at 9:23:13. This is the point at which the difference in distance between the point determined by the radar and the approximate actual position of the aircraft, i.e. the point determined by the GPS receiver, was the largest. The value of the absolute error of the distance measurement of the object from the antenna was closest to zero. It approximately equalled zero at 9:34:56. However, the difference in distance between the point determined by the radar and the point determined by the GPS receiver is not the smallest at this time because the radar incorrectly determined the azimuth angle at which the object was located. The error in measuring the azimuth angle at which the object is located causes the radar position determination error to increase as the object's distance from the antenna increases. The values of the smallest and the largest deviation of the absolute error of the measurement of the object's distance from the antenna can be found in Table 4. The point corresponding to the largest deviation of the absolute error of the measurement of the object's distance from the antenna, from zero, in Fig. 8 and 9 is outside the range of the vertical axis, since its value significantly deviates from the values of the other points.

Table 4. Minimum and maximum value of range error

Deviation $\Delta R$ from value zero	Value $\Delta R$ [km]	Time $t$	Point coordinates determined by AVIA-W radar in Dęblin		Point coordinates determined by Nautiz X8 GPS receiver	
			$R$ [km]	$B$ [°]	$R$ [km]	$B$ [°]
Maximum	-0.8715	9:23:13	20.3	327.5	21.2	330.3
Minimum	0.0003	9:33:35	37.8	332.4	37.8	333.8

Source: own study.

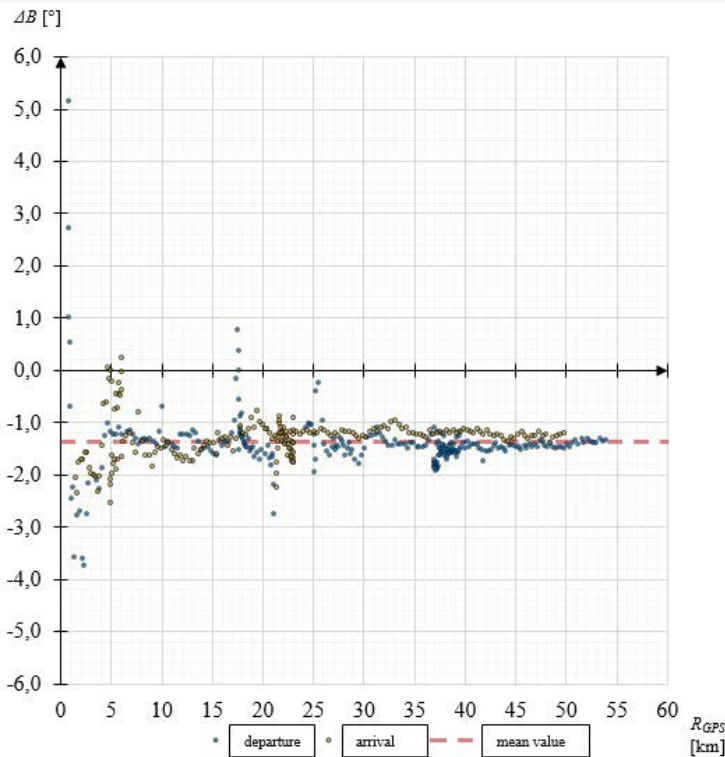


Figure 10. The values of azimuth error as a function of distance from the radar  
 Source: own study.

Fig. 10 shows the absolute error in the measurement of the azimuth angle at which the object is located  $\Delta B$  as a function of the distance from the antenna of the point defined by the GPS receiver ( $R_{GPS}$  coordinate). The points corresponding to the calculated error values, at a given azimuth, have been marked blue on the chart for the departure phase and yellow for the arrival phase, by the authors. The red dashed line marks the arithmetic mean value of 472 observations at departure and arrival. The value of the standard deviation of all observations from their arithmetic mean value can be found in Table 5.

Table 5. Statistical parameters of azimuth error

Parameter	Value
Mean value	-1.3549°
Standard deviation	0.3291°

Source: own study.

Figure 11 shows the absolute error of the measurement of the azimuth angle at which the object is located  $\Delta B$  as a function of the azimuth angle at which the point determined by the GPS receiver ( $B_{GPS}$  coordinate) is located. The points corresponding to the calculated error values, at a given azimuth, have been marked blue on the chart for the departure phase and yellow for the arrival phase by the authors.

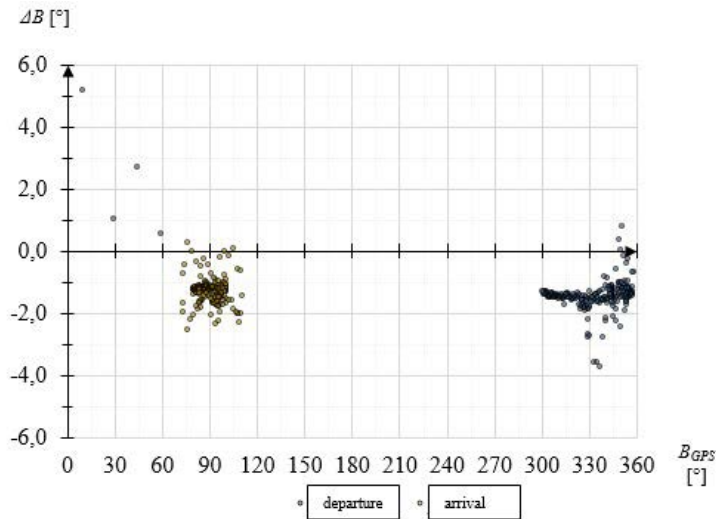


Figure 11. Values of azimuth error as a function of azimuth from the radar  
Source: own study.

In Fig. 11, at close proximity of the object to the radar antenna during departure, significant deviations of the absolute error value of the azimuth angle measurement from the arithmetic mean value of all observations are visible. These are due to the high angular velocity relative to the radar antenna at which the aircraft used in the experiment was moving when the takeoff operation was performed. The bigger is the change in the azimuth angle of an object in the same unit of time, the higher is the value of the object's angular velocity in relation to the radar antenna. The angular velocity of an aircraft that maintains a constant course and speed relative to the ground will be greater, the closer it is to the radar, provided it is not flying exactly from or towards the antenna. This means that during one antenna rotation, which took an average of 6 seconds in the experiment, the actual change in the azimuth angle at which the aircraft is located is greater, the closer the aircraft is to the radar, assuming it maintains a constant course and speed relative to the ground and does not fly exactly from or towards the antenna. Large changes in the azimuth angle at which an object is located over a short period of time are subject to an increased absolute error in its measurement. For this reason, deviations of the absolute error value of the azimuth angle measurement from the arithmetic mean value of all observations at a further distance from the antenna are also visible. These are due to

the rapid change in the azimuth angle at which the object is located during one antenna rotation, owing to the turns made by the aircraft in the experiment. The most likely cause of the ambiguous azimuth angle readings determined by the radar in the cases described is too many data changing in quick succession.

Apart from the cases described above, the absolute error in measuring the azimuth angle at which an object is located takes on similar values over the measured distance range. The points representing the value of the majority of errors over the entire distance range are in close proximity to the line representing the arithmetic mean value of all errors. At a distance of approximately 26 km from the antenna and beyond, it can be seen that the azimuth angle measurement error takes on values below the average during departure and above the average during arrival. The small scatter of points around the line marking the arithmetic mean value of all errors suggests that most of the azimuth angles determined by the radar, at which the object was located, are subject to an error whose value is approximately constant at approximately  $-1.4^\circ$ . The constant error value is probably due to an incorrect orientation of the radar with respect to the geographical direction of the south, which is the reference axis for the measured azimuth angles. The reason for this may be an incorrect (outdated) magnetic declination value that is entered into the radar system.

Due to the large difference between the arithmetic mean value of the absolute error in the measurement of the azimuth angle at which the object is located and the zero value, the largest and smallest deviation of the individual error values were related to the arithmetic mean value. The absolute error of the measurement of the azimuth angle at which the object is located reached the largest deviation from the arithmetic mean value of all observations at 9:13:46. This is the moment when the aircraft used in the experiment was in close proximity to the radar and performed the take-off operation. The value of the absolute error of the measurement of the azimuth angle at which the object is located was closest to the average at 9:19:28. The difference in distance between a point determined by the radar and a point determined by the GPS receiver is small at this time, but it is not the smallest. The values of the smallest and the largest deviation of the absolute error of the measurement of the object's distance from the antenna can be found in Table 6.

Table 6. Minimum and maximum value of azimuth error

Deviation $\Delta B$ from value zero	Value $\Delta B$ [°]	Time $t$	Point coordinates determined by AVIA-W radar in Dęblin		Point coordinates determined by Nautiz X8 GPS receiver	
			$R$ [km]	$B$ [°]	$R$ [km]	$B$ [°]
Maximum	6.5138	9:13:46	0.8	14.7	0.9	9.5
Minimum	0.0001	9:19:28	16.2	351.8	16.3	353.2

Source: own study.

## 6. CONCLUSIONS

The conducted experiment makes it impossible to clearly state how moving the object away from the radar affects the accuracy of determining the distance of the object from the antenna. The value of the absolute error in measuring the distance of an object from an antenna by the radar in the examined range is variable and results from local conditions occurring in a given place of measurement such as, among others, the state of the propagation medium of electromagnetic waves and terrain. The arithmetic mean and the standard deviation of the absolute error of measurement of the distance of an object from an antenna, rounded to the nearest tenth of a kilometre, are equal to zero.

Large changes in the azimuth angle at which an object is located over a short period of time (at short distances from the antenna and when making turns) are loaded with reduced accuracy. Most of the azimuth angles determined by the radar at which the object was located are subject to an error whose value is approximately constant and corresponds to the arithmetic mean value of all the errors. The arithmetic mean of the absolute error of measurement of the azimuth at which the object is located, rounded to the nearest tenth, equals  $-1.4^\circ$ . The standard deviation of the absolute error of measurement of the azimuth angle at which an object is located, rounded to the nearest tenth, is equal to  $0.3^\circ$ . The constant error value of measuring the azimuth angle is likely to derive from an incorrect orientation of the radar with respect to the geographical direction of the south, which is the reference axis for the measured angles. This results in an increase in the absolute error of the radar determination of position as the distance of the object from the radar antenna increases in a linear manner.

During the experiment there was an interruption in the measurement of the object's position parameters by the radar. At the site of the interruption, the terrain is largely varied, also with a river meander. The interruption in the measurement presumably derives from a small effective reflecting surface of the Diamond DA40 aircraft and the interference phenomenon, which causes the signal reflected from the object to overlap with the signals reflected from the hills in the area of the flight path.

The research methods in this work can be used to validate the performance of other radars. The study of accuracy of determination of parameters of the position of airborne objects by the AVIA-W radar may be repeated in the future and additionally extended by the GCA-2000 radar, which is also mounted at Dęblin military airfield. Extending the scope of the research by an additional radar will enable a direct comparison of two radars mounted at Dęblin airfield as well as deciding which of them has greater accuracy in determining parameters of object positioning. Future research could use an aircraft that is equipped with an on-board GPS receiver which has a centrally located external satellite antenna.

## REFERENCES

## Articles and monographies

- Al Sadoon S.H.M., Elias B.H., *Radar theoretical study: minimum detection range and maximum signal to noise ratio (SNR) equation by using MATLAB simulation program*, "American Journal of Modern Physics" 2013, vol. 2(4), DOI: 10.11648/j.ajmp.20130204.20.
- Bachmann S., Debrunner V., Zrnic D., *Detection of Small Aircraft with Doppler Weather Radar*, "Proceedings of the 2007 IEEE/SP 14th Workshop on Statistical Signal Processing", DOI: 10.1109/SSP.2007.4301297.
- Brzozowski M., Myszka M., Lewandowski Z., *Metoda badania rozróżnialności azymutalnej i odległościowej stacji radiolokacyjnych*, "Problemy Techniki Uzbrojenia" 2004, vol. 33(92).
- Brzozowski M., Myszka M., Lewandowski Z., Modrzewski A., *Wykorzystanie metod precyzyjnego wyznaczania pozycji obiektów powietrznych za pomocą GPS do badań radaru dalekiego zasięgu RST-12M*, "Problemy Techniki Uzbrojenia" 2007, vol. 36(101).
- Brzozowski M., Lewandowski Z., *Metoda określania rozróżnialności obiektów powietrznych przez urządzenia radiolokacyjne z wykorzystaniem lotów samolotów z zamontowanymi na pokładzie odbiornikami i rejestratorami pozycji*, "Problemy Techniki Uzbrojenia" 2009, vol. 38(112).
- Brzozowski M., Pakowski M., Myszka M., Michalczewski M., Winiarska U., *The research of modern radar equipment conducted in the Air Force Institute of Technology by the application of military aircrafts*, "Aviation Advances & Maintenance" 2017, vol. 1(40), DOI: 10.1515/afit-2017-0002.
- Brzozowski M., Pakowski M., Nowakowski M., Myszka M., Michalczewski M., *Radio-location Devices for Detection and Tracking Small High-Speed Ballistic Objects—Features, Applications, and Methods of Tests*, "Sensors" 2019, vol. 19, DOI: 10.3390/s19245362.
- Czekała Z., *Parada radarów*, Bellona, Warszawa 1999.
- Džunda M., Dzurovčin P., Melníková L., *Anti-Collision System for Small Civil Aircraft*, "Applied Sciences" 2022, vol. 12, DOI: 10.3390/app12031648.
- Gazit R., *Aircraft Tracking Using GPS Position and Velocity Reports*, "Proceedings of the 8th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1995)", Palm Springs, CA, September 1995.
- Goś A., *Charakterystyka porównawcza radarów AVIA i GCA2000*, [in:] *Wybrane aspekty zabezpieczenia nawigacji lotniczej*, ed. J. Ćwiklak, "Współczesna Nawigacja", T. I, LAW, Dęblin 2019.
- Grzegorzewski M., *Navigating an aircraft by means of a position potential in three dimensional space*, "Annual of Navigation" 2005, vol. 9.

Khan R.H., Power D., *Aircraft detection and tracking with high frequency radar*, "Proceedings of the International Radar Conference 1995", DOI: 10.1109/RADAR.1995.522517.

Lilly B., Cetinkaya D., Durak U., *Tracking Light Aircraft with Smartphones at Low Altitudes*, "Information" 2021, vol. 12, DOI: 10.3390/info12030105.

Maas J., Van Gent R., Hoekstra J., *A portable primary radar for general aviation*, "PLOS ONE" 2020, vol. 15(10), DOI: 10.1371/journal.pone.0239892.

Matuszewski J., Dudczyk J., *Analiza skuteczności zakłóceń radiolokacyjnych systemu samoobrony statku powietrznego*, "Elektronika: Konstrukcje, Technologie, Zastosowania" 2015, vol. 56(10), DOI: 10.15199/13.2015.10.17.

Matuszewski J., *Metryka radaru dla potrzeb bazy danych samolotowych systemów samoobrony*, "Przegląd Elektrotechniczny" 2015, vol. 91(3), DOI: 10.15199/48.2015.03.18.

Nabaa N., Clary G., Cross J., Howard D., Thayer R., *Integration of DGPS and Precision Tracking Radar for Aircraft Precision Approach*, "Proceedings of the 57th Annual Meeting of The Institute of Navigation (2001)", Albuquerque, NM, June 2001.

Osada E., *Geodezja*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.

Pakowski M., Brzozowski M., Michalczewski M., Myszką M., *Methods for Testing Military Radars Produced in Poland*, "Proceedings of the 2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)", DOI: 10.1109/MetroAeroSpace.2018.8453542.

Pakowski M., Brzozowski M., Nowakowski M., Myszką M., Michalczewski M., *Research on radar angular and range resolution with the use of a system assisting the pilots in maintenance of flight parameters*, "Proceedings of the 2019 IEEE 5th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)", DOI: 10.1109/MetroAeroSpace.2019.8869694.

Raboaca M.S., Dumitrescu C., Manta I., *Aircraft Trajectory Tracking Using Radar Equipment with Fuzzy Logic Algorithm*, "Mathematics" 2020, vol. 8, DOI: 10.3390/math802020.

Rogers J.W., Tidwell C.J., Little A.D., *Terminal area surveillance system*, "Proceedings of the International Radar Conference 1995", DOI: 10.1109/RADAR.1995.522598.

Sekine K., Kato F., Kageyama K., Itoh E., *Data-Driven Simulation for Evaluating the Impact of Lower Arrival Aircraft Separation on Available Airspace and Runway Capacity at Tokyo International Airport*, "Aerospace" 2021, vol. 8, DOI: 10.3390/aerospace8060165.

Semke W., Allen N., Tabassum A., Mccrink M., Moallemi M., Snyder K., Arnold E., Stott D., Wing M.G., *Analysis of Radar and ADS-B Influences on Aircraft Detect and Avoid (DAA) Systems*, "Aerospace" 2017, vol. 4, DOI: 10.3390/aerospace4030049.

Siergiejczyk M., Krzykowska K., *Analiza i ocena wybranych systemów dozoru w ruchu lotniczym*, "TTS Technika Transportu Szybowego" 2013, vol. 20(10).

Siergiejczyk M., Siłkowska J., *Analiza możliwości wykorzystania techniki multilateracji w dozorowaniu przestrzeni powietrznej*, "Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport" 2014, vol. 102.

Tao Z., Chunxia L., Quanhua L., Xinliang C., *Tracking with nonlinear measurement model by coordinate rotation transformation*, "Science China Technological Sciences" 2014, vol. 57, DOI: 10.1007/s11431-014-5694-y.

Truskowski A., *Detecting aircraft made in stealth technology*, "Scientific Journal of Polish Naval Academy" 2014, vol. 4(199), DOI: 10.5604/0860889X.1139635.

#### Internet sources

---

<https://www.defence24.pl/polskie-wojsko-chce-wymienic-radary-kontroli-rejonu-lotniska> [access: 17.05.2023].

<https://www.wojsko-polskie.pl/law/akademickie-centrum-szkolenia-lotniczego/#gallery-4/> [access: 17.05.2023].

<https://www.diamondaircraft.com/en/private-pilots/aircraft/da40/overview/> [access: 17.05.2023].

<https://www.handheldgroup.com/globalassets/downloads/product-information/data-sheets/low-res-website/en/nautiz-x8-data-sheet-en.pdf> [access: 17.05.2023].

<https://gis-support.pl/co-to-jest-qgis/> [access: 17.05.2023].

<https://www.ais.pansa.pl/publikacje/aip-mil/> [access: 17.05.2023].

<https://www.microsoft.com/pl-pl/microsoft-365/excel> [access: 17.05.2023].



**Adam RADOMYSKI**

 Lotnicza Akademia Wojskowa  
 e-mail: a.radomyski@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0001-7522-308X

**Anna MICHALSKA**

 Lotnicza Akademia Wojskowa  
 e-mail: a.michalska@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0002-9292-589X

DOI: 10.55676/asi.v3i1.48

## DIAGNOZA DZIAŁAŃ OBRONNYCH IZRAELA PRZED TERRORYSTYCZNYMI ATAKAMI RAKIETOWYMI I MOŹDZIERZOWYMI W LATACH 2001–2012

DIAGNOSIS OF ISRAEL'S DEFENSIVE ACTIONS AGAINST TERRORIST ROCKET  
AND MORTAR ATTACKS IN THE YEARS 2001–2012

### Streszczenie

Zagrożenie Izraela ostrzałami raketowymi i moździerzowymi z roku na rok przybiera na sile i skali oddziaływania. Można przyjąć, że ostrzały raketowe i moździerzowe stały się po zamachach bombowych najgroźniejszą bronią ugrupowań terrorystycznych z Palestyny i Libanu. W tych działaniach prym wiodą dwie największe organizacje terrorystyczne, tj. Hamas i Hezbollah. Wraz z rozwojem tej formy terroryzmu Izrael musiał poprawić skuteczność systemu obronnego, co przełożyło się na skuteczniejszą ochronę ludności cywilnej i obiektów infrastruktury cywilnej i wojskowej przed atakami raketowymi i moździerzowymi. Zmiany w systemie obronnym wymagały wielu lat pracy, a ich szczególna intensywność przypadła na lata 2006–2012. Dokonane zmiany w systemie bezpieczeństwa przyczyniły się do wykształcenia dwóch form: obrony pasywnej i aktywnej, które są nieustannie modyfikowane i udoskonalane. Celem artykułu było scharakteryzowanie obrony Izraela przed atakami raketowymi i moździerzowymi wykonywanymi przez ugrupowania terrorystyczne w latach 2001–2012. Przedmiotowo opracowanie ma charakter praktyczny, ponieważ proces badawczy został oparty na faktach i realnych działaniach zrealizowanych przez Izrael, mających ograniczyć wielkość strat wśród ludności cywilnej. Za początek rozważań naukowych przyjęto rok 2001, w którym doszło do pierwszych ostrzałów raketowych terytorium Izraela.

**Słowa kluczowe:** rakiet, terroryzm, system alarmowy, obrona, system przeciwlotniczy

### Abstract

The threat to Israel from rocket and mortar attacks has been increasing in terms of strength and impact year after year. It can be assumed that rocket and mortar attacks have become the most dangerous weapons used by terrorist groups from Palestine and Lebanon, following suicide bombings. The two largest terrorist organizations, namely Hamas and Hezbollah, play a leading role in these actions. As this form of terrorism evolved, Israel had to improve the effectiveness of its defense system, resulting in a more efficient protection of civilian population and civil and military infrastructure against rocket and mortar attacks. The changes in the defense system required years of work, with a particular intensity during the years 2006–2012. The implemented changes in the security system led to the development of two forms of defense: passive and active, which are constantly modified and improved. The aim of this article was to characterize Israel's defense against rocket and mortar attacks carried out by terrorist groups in the years 2001–2012. The research conducted for this purpose has a practical nature, as it is based on facts and real actions implemented by Israel to minimize civilian casualties. The analysis begins in 2001 when the first rocket attacks on Israeli territory took place.

**Keywords:** rocket, terrorism, alarm system, defense, air defense system

## 1. WSTĘP

Zmiany w środowisku bezpieczeństwa Izraela wywołane nowymi rodzajami zagrożeń o charakterze asymetrycznym wymagają od tego państwa podejmowania szeregu działań mających na celu ochronę ludności cywilnej<sup>1</sup>, która jest najczęściej narażona na ataki raketowe<sup>2</sup> wykonywane przez ugrupowania terrorystyczne działające na terytorium Palestyny i Libanu. Analizując metody i sposoby działań członków ugrupowań terrorystycznych, można stwierdzić, że poza zamachami bombowymi ataki raketowe i moździerzowe należą do grupy najczęściej wykonywanych. W tej sytuacji zarówno obiekty wojskowe, jak i cywilne są narażone na ostrzały raketowe i moździerzowe. Znajduje to swoje potwierdzenie w dużej liczbie ataków raketowych i moździerzowych wykonywanych na bazy wojskowe, posterunki i skupiska ludności cywilnej w Izraelu. Stały się one szczególnie niebezpieczne po 2005 r., gdy Izraelczycy wycofali się z Gazy, co zachęciło Hamas i inne ugrupowania terrorystyczne do zintensyfikowania ataków raketowych<sup>3</sup>. W kolejnych latach pomiędzy Palestyńczykami a Izraelczykami nadal dochodziło do wielu napięć. Po wkroczeniu bojowników z Hamasu w czerwcu 2006 r. na terytorium Izraela jego siły rozpoczęły specjalną operację wojskową, która trwała 34 dni. W 2007 r. w Strefie Gazy wybuchły gwałtowne walki pomiędzy zbrojnymi frakcjami Hamasu a Al-Fatah, które przybrały formę wojny domowej. Ostatecznie wygrał Hamas, który przejął całkowitą kontrolę nad Strefą Gazy. Na przełomie 2008 i 2009 r. armia izraelska rozpoczęła operację zbrojną przeciwko Hamasowi<sup>4</sup> pk. „Płynny ołów” (2008–2009). W 2012 r. miała miejsce kolejna operacja wojskowa sił Izraela pk. „Filar obrony”. W tym miejscu należy zaznaczyć, że podczas tych operacji Palestyńczycy byli w stanie wystrzelić dużą liczbę rakiet w głąb terytorium Izraela<sup>5</sup>.

Tematyka obrony Izraela przed atakami raketowymi i moździerzowymi stała się jeszcze bardziej aktualna, kiedy 7 października 2023 r. Hamas ogłosił rozpoczęcie nowej operacji zbrojnej przeciwko Izraelowi oraz wezwał do walki zbrojnej także organizacje z Libanu<sup>6</sup>.

Mając na uwadze nakreśloną sytuację problemową, przyjęto, że celem artykułu będzie scharakteryzowanie obrony Izraela przed atakami raketowymi i moździerzowymi

<sup>1</sup> D. Michalski, *Powszechna obrona powietrzna ludności cywilnej jako integralny element systemu bezpieczeństwa państwa*, AON, Warszawa 2016.

<sup>2</sup> A. Radomycki, D. Michalski, *Military aircraft, ballistic missiles and maneuver rockets as effective means of deterring the potential enemy*, „Kultura Bezpieczeństwa. Nauka–Praktyka–Refleksje” 2019, nr 33, s. 95–116.

<sup>3</sup> Miasto Sderot, leżące nieopodal wspomnianego miasta w Autonomii Palestyńskiej, zostało trafione ponad 360 pociskami w ciągu sześciu miesięcy.

<sup>4</sup> W sumie zginęło wówczas 1300 Palestyńczyków oraz 13 Izraelczyków. Po 22 dniach walk doszło do zawieszenia broni. Izrael wycofał wtedy swoje wojska.

<sup>5</sup> J. Elste, *Rockets and votes*, „Journal of Economic Behavior & Organization” 2019, nr 166, s. 767–784.

<sup>6</sup> Dowódca wojskowy Hamasu Muhammad Al-Deif opublikował nagrany wiadomość, ogłaszając tym samym rozpoczęcie operacji „Burza Al-Aksa”. I.D. Hadas Gold, L. Iszo, A. Tal, A. Salman, K. Khadder, R.A. Greene, H. Atay Alam, *Netanyahu says Israel is 'at war' after Hamas launches surprise air and ground attack from Gaza*, CNN, October 7, 2023, <https://edition.cnn.com/2023/10/07/middleeast/sirens-israel-rocket-attack-gaza-intl-hnk/index.html> [dostęp: 12.12.2022].

wykonywanymi przez ugrupowania terrorystyczne w latach 2001–2012. Jest to o tyle ważne, że stworzone w analizowanym okresie rozwiązania w zakresie pasywnej i aktywnej obrony stanowią podstawę funkcjonującego obecnie w Izraelu systemu C-RAM (*Counter Rocket Artillery and Mortar*)<sup>7</sup>. Założono, że osiągnięcie celu będzie możliwe w drodze rozwiązania problemu badawczego, który przyjął następujące brzmienie: Jak bronił się Izrael przed terrorystycznymi atakami raketowymi i moździerzowymi w latach 2001–2012?

## 2. CHARAKTERYSTYKA ATAKÓW RAKIETOWYCH I MOŹDZIERZOWYCH WYKONYWANYCH NA IZRAEL PRZEZ UGRUPOWANIA TERRORYSTYCZNE W LATACH 2001–2012

Palestyńska kampania terrorystyczna rozpoczęła się we wrześniu 2000 r. Początkowo główną metodą działania terrorystów były zamachy bombowe. W tym okresie nie stosowano rakiet ani moździerzy lub były to przypadki sporadyczne. Należy jednak podkreślić, że członkowie palestyńskich organizacji terrorystycznych przechodzili szkolenie w zakresie budowy i konstrukcji broni raketowej w obozach szkoleniowych na terytorium Libanu. Były one prowadzone zarówno w palestyńskich obozach uchodźców (np. al-Hilweh), jak i w dolinie Beka – terenie kontrolowanym przez Hezbollah<sup>8</sup>. Ataki raketowe wykorzystywane przez Hezbollah zmusiły Izrael do wycofania się z Libanu w 2000 r. Obecnie wszystkie główne palestyńskie organizacje posługują się bronią raketową, a są to: Islamski Ruch Oporu (dalej Hamas), Palestyński Islamski Dżihad, Ludowe Komitety Oporu, Ludowy Front Wyzwolenia Palestyny oraz Brygady Męczenników al-Aksy (zbrojny odłam al-Fatah).

Po wycofywaniu się Izraela z południowego Libanu Hezbollah ponownie zajął pozycje wzdłuż granicy, aby ostrzeliwać przy użyciu rakiet południe kraju. Organizacja w dalszym ciągu otrzymywała od swoich sponsorów w Iranie coraz bardziej zaawansowane rakiety charakteryzujące się większym zasięgiem i siłą rażenia. Oceniając potencjał raketowy Hezbollahu, można przyjąć, że obejmował on zarówno starszej generacji rakiety jak Arash, o zasięgu 20 km, a także ulepszone rakiety trzeciej generacji, których zasięg wynosi do 80 km. Do tych zmodyfikowanych pocisków raketowych należały Fajr-3 kal. 240 mm z głowicą bojową o masie 45 kg i zasięgiem 40 km, Fajr-5 kal. 333 mm z głowicą bojową o masie 90 kg i o zasięgu 75 km, 333 mm. Innymi raketami były Shahin-1 oraz Shahin-2, które mogą przenosić głowicę bojową o masie 190 kg na odległość odpowiednio 13 km i 20 km.

Poza tym eksperci wojskowi przypuszczali, że Iran dostarczył Hezbollahowi także rakiety Zelzal-2, które mogą przenieść głowicę bojową o masie 600 kg na odległość

<sup>7</sup> T.A. Kramer, R.T. Laird, M. Dinh, C.M. Barngrover, J.R. Cruickshanks, G.A. Gilbreath, *FIRRE Joint Battlespace Command and Control System for Manned and Unmanned Assets (JBC2S)*, SPIE Unmanned Systems Technology VIII, Orlando, FL, 17–20 April, 2006.

<sup>8</sup> Hezbollah to wspierane i finansowane przez Iran oraz Syrię ugrupowanie terrorystyczne, założone w 1982 r. podczas libańskiej wojny domowej. Nazwa Organizacji Hezbollah pochodzi od słów „Partia Boga”. Na terenie Libanu Hezbollah zbudował swego rodzaju państwo w państwie, które znajduje się *de facto* poza kontrolą władz Libanu.

nawet 200 km. Dzięki tym rakietom Hezbollah mógł ostrzeliwać z terytorium Libanu miasta położone w środkowym i południowym Izraelu. Dokonując oceny potencjału raketowego Hezbollahu i Hamasu w 2004 r., szef izraelskiego wywiadu wojskowego oszacował go na 13 tys. rakiet. Poza raketami otrzymywanymi z Iranu lub z Pakistanu terroryści do ataków na obiekty wojskowe i cywilne wykorzystywali również rakietki produkcji rosyjskiej z rodziny „katuszy”<sup>9</sup>. W tym względzie stwierdzono użycie przynajmniej trzech wersji wyrzutni rakiet kalibru 122 mm. Należą do nich zestawy BM-12<sup>10</sup>, BM-14 i BM-21.

Pomimo posiadania dużego potencjału raketowego pierwszy atak (20.01.2001) został wykonany przy użyciu moździerzy i był skierowany na miejscowość Netzarim w środkowej części Strefy Gazy. W sumie w 2001 r. wykonano 245 ataków moździerzowych. 16 kwietnia 2001 r. odnotowano pierwszy atak raketowy skierowany na Sderot, chociaż początkowo izraelskie media relacjonowały go jako ogień moździerzowy<sup>11</sup>. Na początku listopada 2001 r. Hamas na Sderot odpalił 113 rakiet<sup>12</sup>.

Rok 2002 był okresem jeszcze bardziej intensywnych ostrzałów raketowych i moździerzowych dokonywanych przez palestyńskich terrorystów głównie w Strefie Gazy. W tym czasie Hamas opracował już kolejną generację rakiet w wersji Qassam-2, która miała większy zasięg od wcześniejszej Qassam-1<sup>13</sup>.

Tabela 1. Charakterystyka produkowanych wersji rakiety Qassam

Parametry techniczne	Qassam-1	Qassam-2	Qassam-3
Długość [cm]	79	180	200
Waga [kg]	5,5	35	90
Waga materiału wybuchowego [kg]	0,5	8	10
Średnica [mm]		115	115
Maksymalny zasięg [km]	3	6–7	10

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Rocket threat from the Gaza Strip, 2000-2007, Intelligence and Terrorism, Information Center [IICC], December 2007; Hamas Expected to Bring Kassam to West Bank, MENL, August 5, 2003; Azriel Lorber, The Growing Threat of the Kassam Unguided Rockets, Middle East Monitor, September 3, 2003; Qassam Technical Information, The Jewish Policy Center, NW, Washington, DC 2001.

<sup>9</sup> *Katiusza* to zdrobnienie popularnego w Rosji żeńskiego imienia Jekatierina (Katarzyna) – taki też tytuł nosiła popularna podczas wojny w Związku Radzieckim piosenka mówiąca o tęsknocie dziewczyny do ukochanego, który odbywa służbę wojskową. Niemcy nadali *Katiuszom* nie mniej poetycką nazwę „organów Stalina”. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Katiusza> [dostęp: 12.12.2022].

<sup>10</sup> Zob. Ali Ahmad Jalali, L.W. Grau, *Afghan guerrilla warfare: in the words of the Mujahideen fighters*, Zenith Imprint, 2002, s. 407.

<sup>11</sup> *Rocket threat from the Gaza Strip, 2000-2007*, Intelligence and Terrorism Information Centre at the Israel Intelligence Heritage & Commemoration Center, December 2007, s. 32.

<sup>12</sup> Miał to być operacyjny test dla rakiet wyprodukowanych w zorganizowanych przez terrorystów manufakturach. Zasięg wystrzelonych rakiet był jednak bardzo mały i nie przekraczał 2 km. Od tego momentu rozpoczęły się intensywne prace modernizacyjne w produkcji rakiet, których zasadniczym celem było zwiększenie ich zasięgu i siły rażenia. Tamże.

<sup>13</sup> <http://www.time.com/time/world/article/0%2C8599%2C202159%2C00.html> [dostęp: 12.12.2022].

Pierwsze użycie tej wersji rakiety zostało odnotowane 10 lutego 2002 r. W tym roku 35 ataków rakietowych zostało skierowanych przeciwko dwóm miastom Judei i Samarii oraz mieszkańcom zachodniego Negevu, gdzie od lutego do lipca spadło dziewięć pocisków. W 2003 r. palestyńskim terrorystom udało się podnieść standard i technologię produkowanych rakiet. W tym okresie można również zauważyć stopniową eskalację ataków rakietowych, których było 155, z czego 80% skierowano na izraelskie miasta i wsie w zachodnim Negevie. Pozostałe ataki były wykonane na miasta i wsie położone w Strefie Gazy<sup>14</sup>.

Należy podkreślić, że w 2003 r. sprawcami zamachów były głównie grupy terrorystyczne w Judei i Samarii, których ofiarami było 60% z całkowitej liczby zabitych Izraelczyków. Szacuje się, że grupy terrorystyczne działające w Strefie Gazy przygotowały około 70% wszystkich ataków terrorystycznych, w tym również wiodły prym w produkcji i modernizacji broni rakietowej i moździerz. W wyniku prac modernizacyjnych w 2003 r. organizacje terrorystyczne, w tym głównie Hamas, zintensyfikowały prace nad produkcją nowocześniejszej rakiety, która miała zastąpić używaną do tej pory Qassam<sup>15</sup>.

W 2004 r. odnotowano duży wzrost liczby ataków rakietowych głównie na miasta i wsie położone w Strefie Gazy, w tym szczególnie w rejonach zachodniego Negevu<sup>16</sup>. Duży wzrost intensywności ostrzałów rakietowych spowodował wzmożenie przez Izrael działań kontrterrorystycznych w Strefie Gazy<sup>17</sup>. W okresie od września do października odnotowano 80 ataków rakietowych. Reasumując, w całym 2004 r. terroryści wykonali 281 ataków rakietowych na Izrael<sup>18</sup>.

Konkludując, można przyjąć, że 2004 był czwartym z rzędu rokiem nieustannej konfrontacji izraelsko-palestyńskiej. Wystąpiło w nim kilka charakterystycznych trendów: spadek liczby zabitych o 45% (117 ofiar w porównaniu do 214 w 2003 r.) oraz spadek liczby rannych o 41% (589 w porównaniu do 1004 w 2003 r.). W 2004 r. Hamas przeprowadził 555 ataków terrorystycznych w porównaniu do 218 w 2003 r. Bardzo dużą część stanowiły ostrzały rakietowe i moździerzowe terytorium Izraela. W 2004 r. nastąpił wzrost o 500% przypadków ostrzału z moździerzy i o 40% z wykorzystaniem rakiet Qassam. W 2004 r. Islamski Dżihad przeprowadził 106 ataków terrorystycznych w porównaniu do 71 w 2003 r. Islamski Dżihad nie przeprowadził żadnego samobójczego zamachu w 2004 r. w porównaniu do sześciu w 2003 r.

22 stycznia 2005 r. palestyńskie organizacje militarne ogłosiły zawieszenie broni, w którym zobowiązały się do zaprzestania wszelkich aktów przeciwko Izraelowi.

<sup>14</sup> A. Radomyski, K. Dobija, *Koncepcja zwalczania rakiet, pocisków artyleryjskich i moździerzowych przez środki obrony przeciwlotniczej*, AON, Warszawa 2008, s. 39.

<sup>15</sup> Podano na podstawie materiałów Biuletynu Modlitewno-Informacyjnego „Nasz Starszy Brat” 2004, nr 1 oraz za <http://www.israel-mfa.gav.ilokresie> [dostęp: 16.04.2022].

<sup>16</sup> W okresie od marca do kwietnia po śmierci przywódcy Hamasu Ahmeda Yassina i jego następcy Abdela Al-Aziza al-Rantisi zapanował względny spokój, który trwał do lipca. Po tym okresie nastąpiła intensyfikacja ataków rakietowych, która osiągnęła niespotykany dotychczas poziom.

<sup>17</sup> 30 września w wyniku ataku rakietowego zginęło dwoje dzieci przebywających w obozach dla uchodźców w Beit Hanoun, Beit Lahia i Jabaliya (północna Strefa Gazy).

<sup>18</sup> A. Radomyski, K. Dobija, *Koncepcja zwalczania rakiet...*, dz. cyt., s. 42.

Zawieszenie broni miało obowiązywać do końca 2005 r. Jednak pomimo tego w ciągu tego roku doszło do 2990 aktów terrorystycznych wymierzonych przeciwko Izraelowi, w tym 179 były to ataki raketowe.

Podsumowując, można zauważyć, że w 2005 r. pomimo zawarcia rozejmu nie nastąpiła żadna istotna zmiana w nastawieniu palestyńskich organizacji terrorystycznych, które nadal atakowały izraelskie obiekty. Należy przy tym podkreślić, że w ciągu 2005 r. organizacje terrorystyczne w Samarii i Judei uważnie analizowały możliwość prowadzenia ostrzału terytorium Izraela ponad budowaną przez ten kraj „barierą bezpieczeństwa”<sup>19</sup>. Po wycofaniu się armii izraelskiej we wrześniu 2005 r. z granicy pomiędzy Strefą Gazy a Egiptem można było zaobserwować znaczny wzrost przemytu broni i amunicji do Strefy Gazy<sup>20</sup>. Dodatkowo także obszar przygraniczny Synaj-Negew był wykorzystywany przez przemytników<sup>21</sup>. W ciągu 2006 r. wzrosła jednak liczba uprowadzeń i ostrzału raketowego, które stały się dominującym czynnikiem w kampanii przeciwko Izraelowi.

Szczególnie poważne konsekwencji miały uprowadzenia dwóch żołnierzy izraelskich. Zdecydowana odpowiedź Izraela doprowadziła do 33-dniowej drugiej wojny w Libanie. Druga wojna w Libanie umożliwiła Hezbollahowi po raz pierwszy użycie całego arsenału zaawansowanych technologicznie broni (dostarczonych przez Iran i Syrię) przeciwko cywilnym mieszkańcom Izraela, jak i Izraelskim Siłom Obronnym. Szczególnie groźnymi okazały się salwy raketowe (łącznie około 4 tys. rakiet), które raziły skupiska ludności cywilnej w Izraelu. Podczas wojny Izraelskie Siły Obronne zdołały zniszczyć znaczną część rakiet dalekiego zasięgu Hezbollahu. Pomimo tego Hezbollah podtrzymywał propagandę „zwycięstwa” w wojnie. Zmusiło to Izrael do ponownego przemyślenia i zreorganizowania systemów wojskowych oraz wyciągnięcia lekcji z tej wojny. Hezbollah zaczął szybko odbudowywać potencjał wojskowy (z pomocą Iranu i Syrii). W wyniku podjętych działań przez ugrupowania terrorystyczne w 2006 r. na obszar zachodniego Negewu spadło aż 861 rakiet wystrzelonych ze Strefy Gazy. Najbardziej ostrzeliwaną miejscowością było Kiryat Szmona, które przez wiele lat miało charakter miasta frontowego, ponieważ bardzo często padało ofiarą ostrzału raketowego ze strony szyickiego Hezbollahu z południowego Libanu. Z tego powodu miasto zdobyło nazwę „Kiryat Katiusza”.

W dniu wyborów do Knessetu 28 marca 2006 r. palestyńscy terroryści dokonali ataku raketowego miasta Ashqelon, w którym użyli 16 rakiet Qassam i 122 mm rakiet

<sup>19</sup> W ten sposób środek ciężkości działalności tych organizacji przesunął się w kierunku budowy infrastruktury niezbędnej do produkcji rakiet i wyrzutni do ich odpalania. W 2005 r. siły bezpieczeństwa Izraela wykryły osiem takich ukrytych zakładów (cztery należały do Hamasu, cztery należały do Tanzim i islamskiego Dżihadu).

<sup>20</sup> Wojskowy wywiad Izraela ocenił, że do Strefy Gazy przerzucono tą drogą ponad 5 ton materiałów wybuchowych, około 200 pancernych rakiet, około 350 rakiet przeciwpancernych, około 5 tys. sztuk broni maszynowej i ponad 1 milion sztuk amunicji.

<sup>21</sup> Zob. D. Gold, *Israel's War to Halt Palestinian Rocket Attacks*, „Jerusalem Center for Public Affairs”, 3 March 2008, vol. 7(34).

Grad. Zabicie w czerwcu Jemal Abu Samhadana<sup>22</sup> doprowadziło do eskalacji ataków raketowych w okresie czerwca i lipca (134 ataki w czerwcu i 197 w lipcu). Głównym rejonem tych ataków była Strefa Gazy.



Rys. 1. Strefy odpalania rakiet przez palestyńskich terrorystów z północno-zachodniej części Strefy Gazy i główne obiekty ich ataków

Źródło: Rocket threat from the Gaza Strip, 2000-2007, Intelligence and Terrorism Information Centre at the Israel Intelligence Heritage & Commemoration Center, December 2007.

Gdy 12 lipca rozpoczął się ostrzał raketowy terytorium Izraela, władze wojskowe przeprowadziły ewakuację około 80% mieszkańców na południe kraju. Kiryat Szmona ucierpiało najbardziej ze wszystkich miast Izraela, ponieważ tylko w ciągu miesiąca spadło na nie 945 rakiet. W tym okresie znacznie wzrósł przemyt broni do Strefy Gazy, głównie z wykorzystaniem podziemnych tuneli pod drogą Filadelfia. Tunelami przemycono olbrzymie ilości broni i amunicji, w tym wyrzutnie pocisków raketowych Grad 122 mm, pociski przeciwpancerne, miny i materiały wybuchowe. Główny wysiłek terrorystów w tym okresie skupiał się na prowadzeniu ostrzału raketowego na Samarię i Judeę. W 2006 r. ok. 50% tego rodzaju ataków miało miejsce w Strefie Gazy, 45% w Samarii i Judei, a tylko 5% wewnątrz Izraela.

<sup>22</sup> Pochodzący z Rafah w Strefie Gazy był założycielem i przywódcą Komitetów Ludowego Oporu, byłym członkiem Fatahu i Tanzimu oraz numerem dwa na izraelskiej liście poszukiwanych terrorystów. Abu Samhadana przeżył izraelski atak raketowy w Strefie Gazy w grudniu 2004 r., ale został zabity przez izraelskie siły powietrzne 8 czerwca 2006 r.



Rys. 2. Udział palestyńskich organizacji terrorystycznych w zamachach przeciwko Izraelowi w 2006 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Anti-Terrorism, 2006: Data, Analysis and Trends, Intelligence and Terrorism Information Center at the Israel Intelligence Heritage & Commemoration Center, March 2007, s. 17.

W 2008 r. rakietami Grad o zasięgu około 20 km zaatakowano miasta Aszkelon i Netivot. 3 lutego 2007 r. rakiety uderzyły w dom w Kibucu Karmia (północny zachód Strefy Gazy), raniąc dziecko<sup>23</sup>. W odpowiedzi izraelskie siły obrony ostrzelały ogniem artylerii rejon, z których były odpalane rakiety. W tym samym czasie izraelskie siły powietrzne zaatakowały kilka obiektów Brygady Męczenników Fatah-Al-Aqsa. Zakrojone na szeroką skalę działania izraelskich sił bezpieczeństwa w Strefie Gazy w okresie od 1 do 7 listopada przyczyniły się do kolejnego wzrostu liczby ataków rakietowych. W trakcie operacji „Jesienne Chmury” palestyńscy terroryści wykonali 182 ataków rakietowych, a kilka godzin po zakończeniu operacji terroryści z Hamasu zaatakowali Ashqelon<sup>24</sup>. 26 listopada ogłoszono przerwanie ognia na mocy porozumienia pomiędzy premierem Izraela Ehudem Olmertem a przewodniczącym Palestyńczyków Abu Mazenem. Jednak pomimo porozumienia ostrzały rakietowe były nadal kontynuowane, ale z mniejszym nasileniem. Odpowiedzialność za większość incydentów w tym okresie ponosił Fatah, który oficjalnie odrzucił udział w tym porozumieniu. Do końca listopada odnotowano 783 ataków rakietowych, co dawało podobnie jak w poprzednich dwóch lat średnią 60–80 ataków miesięcznie.

19 czerwca 2008 r. weszło w życie zawieszenie broni między Izraelem a Hamasem i innymi palestyńskimi grupami zbrojnymi w Strefie Gazy. Względny spokój panował do 4 listopada, kiedy to izraelscy żołnierze zorganizowali nalot na Strefę Gazy, zabijając

<sup>23</sup> 28 lutego 2008 r. co najmniej 10 rakiet Grad uderzyło w nadmorskie miasto Aszkelon, około dziesięciu mil od izraelskiej granicy ze Strefą Gazy. Co najmniej 60 kolejnych Qassamów wybrało tego dnia na cel Sderot. W ciągu pierwszych kilku dni marca 2008 r. dziesiątki rakiet Qassam i Katuszy typu Grad wyrzucano w kierunku Aszkelon, Sderot i społeczności graniczących z Gazą. Aszkelon leży zaledwie kilka minut od zniszczonego przez Kassama miasta Sderot, głównego celu ataków Qassama. Zachodni kraniec Sderot znajduje się około mili od granicy z Gazą. Izraelskie Centrum Ofiar Terroru i Wojny odkryło, że 28 procent dorosłych i 30 procent dzieci w Sderot cierpi na zespół stresu pourazowego. kiedy Hamas otworzył granicę z Egiptem, Hamas był w stanie sprowadzić więcej wyprodukowanych rakiet Katusza. <https://www.globalsecurity.org/military/world/para/hamas-qassam.htm> [dostęp: 12.08.2022].

<sup>24</sup> S. Hadad, *3 Qassams hit south following IAF killing*, 6.09.2006, <https://www.ynetnews.com/articles/0,7340,L-3260700,00.html> [dostęp: 12.09.2022].



sześciu członków Hamasu. 24 grudnia 2008 r. ostrzelano raketami Aszkelon, Netivot i Sderot oraz miasta i wsie w pobliżu Strefy Gazy, przejścia graniczne i bazy wojsk Izraela zostały poddane zmasowanemu atakowi raketowemu i moździerzowemu. Wystrzelono co najmniej 60 rakiet, a większość z nich było dziełem Hamasu. W odwecie Izrael zdecydował o rozpoczęciu operacji „Płynny ołów” (*Cast Lead*), która przebiegała w dwóch fazach: tydzień intensywnych bombardowań powietrznych, po którym nastąpiły dwa tygodnie działań o charakterze powietrzno-lądowym<sup>25</sup>. Operacja rozpoczęła się 27 grudnia 2008 r. o godzinie 11.30, kiedy to izraelskie myśliwce F-16, śmigłowce AH-64 „Apache” i bezzałogowe statki powietrzne w ciągu kilku minut uderzyły w ponad 100 celów znajdujących się w Strefie Gazy<sup>26</sup>. Wśród celów znalazły się cztery palestyńskie komisariaty policji, w tym główna komenda policji w mieście Gaza, gdzie odbywała się ceremonia wręczenia dyplomów nowym funkcjonariuszom<sup>27</sup>. Masowe bombardowanie trwało do 3 stycznia 2009 r., kiedy to armia izraelska najechała Strefę Gazy i rozpoczęła operację lądową. Starcia między siłami izraelskimi a bojownikami Hamasu trwały do 18 stycznia<sup>28</sup>. W tym dniu, pod ogromną presją międzynarodową i zaledwie dwa dni przed zaprzysiężeniem Baracka Obamy na prezydenta Stanów Zjednoczonych, Izrael ogłosił jednostronne zawieszenie broni i wycofał swoje siły ze Strefy Gazy. Następnie palestyńskie grupy zbrojne zawarły odrębne jednostronne zawieszenie broni<sup>29</sup>. Należy zauważyć, że podczas wojny w Gazie terroryści palestyńscy zaczęli rozmieszczać ulepszone rakiety Qassam i inne rakiety wyprodukowane w manufakturach, które miały zasięg do 40 km<sup>30</sup>. W zasięgu rakiet znalazły się główne izraelskie miasta Aszdog Beersheba i Gedera<sup>31</sup>. Izraelczycy przewidywali także zagrożenie

<sup>25</sup> J. Hider, Sh. Frenkel, *Israel Admits Using White Phosphorus in Attacks on Gaza*, „The Times”, January 24, 2009, [http://www.timesonline.co.uk/tol/news/world/middle\\_east/article5575070.ece](http://www.timesonline.co.uk/tol/news/world/middle_east/article5575070.ece) [dostęp: 22.10.2021].

<sup>26</sup> W ramach tej operacji izraelskie lotnictwo wykonało uderzenia na instalacje Hamasu, personel i inne wyselekcjonowane obiekty w Strefie Gazy. Po tych uderzeniach z powietrza szef izraelskiego wywiadu wojskowego ocenił, że zdolność Hamasu do wystrzeliwania rakiet została ograniczona o 50%, o czym miała świadczyć mniejsza liczba ostrzałów Hamasu, które gwałtownie spadły, z ponad 130 w 27 grudnia do nieco ponad 20 w dniu kolejnym.

<sup>27</sup> Zob. *Fact Finding Mission on the Gaza Conflict, The Goldstone Report*, United Nations, Sept 2009.

<sup>28</sup> Od dnia rozpoczęcia operacji wojskowej przez Izrael, czyli 27 grudnia 2008 r. do 15 stycznia 2009 r., w Gazie w wyniku ostrzału raketowego zginęło czterech Izraelczyków, a 285 zostało rannych. W stronę Izraela wystrzelono 771 rakiet. Organizacje praw człowieka oszacowały liczbę zabitych na blisko 1400 Palestyńczyków, w tym ponad 1000 cywilów, a rannych na ponad 5000. Według danych rządowych ogółem w Palestynie zginęło 1166 osób, w tym 295 osób niewalczących. Rozbieżności dotyczące ofiar śmiertelnych wśród cywilów w dużej mierze skupiały się na tym, czy 248 zabitych funkcjonariuszy policji Hamasu uznano za cywilów. Zginęło 13 Izraelczyków, w tym trzech cywilów.

<sup>29</sup> W następstwie ofensywy wyznaczona przez ONZ misja rozpoznawcza znalazła mocne dowody zbrodni wojennych i zbrodni przeciw ludzkości popełnionych zarówno przez izraelskie wojsko, jak i bojówki palestyńskie. Dochodzenia prowadzone przez organizacje praw człowieka, takie jak Amnesty International i Human Rights Watch, doprowadziły do tego samego wniosku. Według dochodzeń przeprowadzonych przez niezależne izraelskie i palestyńskie organizacje praw człowieka podczas operacji „Płynny ołów” zginęło od 1385 do 1419 Palestyńczyków, w większości cywile, w tym co najmniej 308 nieletnich w wieku poniżej 18 lat. Ponad 5000 osób zostało rannych. Zginęło także 13 Izraelczyków, w tym 3 cywilów. *Operation Cast Lead*, The Institute for Middle East Understanding, January 04, 2012, <https://imeu.org/article/operation-cast-lead> [dostęp: 12.02.2022].

<sup>30</sup> *FACTBOX-Hamas's arsenal of rockets*, „Reuters” 6 January 2009 [dostęp: 23.12.2022].

<sup>31</sup> *Israel's Ashdod Hit by Gaza Rocket for First Time*, „Archived” 27 March 2009 [dostęp: 22.11.2022].

Tel Awiwu oraz Centrum Badań Jądrowych Negew<sup>32</sup>. Według władz izraelskich w ciągu 22 dni konfliktu na Izrael spadło 571 rakiet i 205 pocisków moździerzowych<sup>33</sup>.

Reasumując, można stwierdzić, że 2008 był rokiem szczytowego użycia rakiet przez Hamas i inne organizacje terrorystyczne działające w Strefie Gazy<sup>34</sup>. W sumie w 2008 r. dokonano 3278 ostrzałów, w tej liczbie 1750 były to ataki raketowe, a 1528 moździerzowe. Liczby te były dwukrotnie wyższe niż w latach 2007 i 2006.

W 2009 r. doszło do 569 ataków raketowych i 289 ataków moździerzowych na Izrael. W 2010 r. zgodnie z rocznym raportem Izraelskiej Agencji Bezpieczeństwa Palestyńczycy przeprowadzili 150 ataków rakiet i 215 moździerzowych w kierunku Izraela<sup>35</sup>. Był to jednak spadek liczby obu rodzajów ataków w porównaniu z 2009 r. Poza tym w raporcie stwierdzono, że w ciągu roku Iranowi udało się przemycić do Strefy Gazy 1000 pocisków moździerzowych i setki rakiet krótkiego zasięgu. Agencja bezpieczeństwa ostrzegła również, że pustynia Synaj zamienia się w „podwórko” Hamasu do prowadzenia operacji i przechowywania broni. Według źródeł izraelskiego wywiadu w okresie pięciu lat (2005–2010) terroryści dokonali ze Strefy Gazy 1064 ataków raketowych i moździerzowych.

W 2011 r. ze Strefy Gazy wystrzelono w kierunku Izraela 680 rakiet, moździerz i pocisków Grad. Pod koniec 2010 r. Palestyński Islamski Dżihad oświadczył, że wraz z innymi palestyńskimi grupami bojowników w Strefie Gazy tymczasowo wstrzymuje ataki raketowe na Izrael<sup>36</sup>. 15 marca 2011 r. Izrael zajął statek „Victoria”, na którym przewożono irańskie rakiety przeznaczone do użycia w Strefie Gazy<sup>37</sup>. Do kwietnia 2012 r. przeprowadzono ponad 360 ataków raketowych i moździerzowych (około 300 podczas starć Gaza–Izrael w marcu 2012 r.)<sup>38</sup>. 24 października 2012 r. ponad 65 rakiet wystrzelono ze Strefy Gazy w kierunku południowego Izraela. W 2013 r. w stronę Izraela wystrzelono 52 rakiety i 16 moździerz, z czego zdecydowana większość pochodziła ze Strefy Gazy. Od roku 2001 była to najmniejsza liczba tego rodzaju ataków<sup>39</sup>.

<sup>32</sup> J. Hider, *Gaza rockets put Israel's nuclear plant in battle zone*, „The Times” 2 January 2009, <https://www.thetimes.co.uk/> [dostęp: 12.03.2023].

<sup>33</sup> *Israel/Gaza: Operation “Cast Lead”: 22 days of death and destruction*, Amnesty International, July 2, 2009, s. 66.

<sup>34</sup> Summary of rocket fire and mortar shelling in 2008, Intelligence and Terrorism Information Center at the Israel Intelligence Heritage & Commemoration Center (IICC), 2009, s. 2.

<sup>35</sup> W 2010 r. doszło do dwóch wyjątkowych przypadków wystrzelenia rakiet przez Hamas z Synaju w kierunku miasta portowego Ejlat.

<sup>36</sup> *Gaza Militant Groups Agree to Halt Rocket Attacks on Israel*, „Haaretz”, 30.12.2010, <https://www.haaretz.com/2010-12-30/ty-article/gaza-militant-groups-agree-to-halt-rocket-attacks-on-israel/0000017f-e673-dc7e-adff-f6ffcdcf0000> [dostęp: 12.02.2023].

<sup>37</sup> A. Fishman, *Uncovering the missiles*, „Israel News”, 16.03.2011, <https://www.ynetnews.com/articles/0,7340,L-4043392,00.html> [dostęp: 15.04.2023].

<sup>38</sup> Wiadomości Ynet podały, że w maju 2012 r. islamski Dżihad opublikował materiał wideo przedstawiający wielolufową wyrzutnię rakiet zamontowaną na pojeździe. Za: E. Levy, *Islamic Jihad shows off multi-barrel rocket launcher*, „Ynetnews”, 3.10.2012, <https://www.ynetnews.com/articles/0,7340,L-4200849,00.html> [dostęp: 12.03.2023].

<sup>39</sup> *Middle Eastern Briefing #39, Gaza and Israel*, New Obstacles, New Solutions, by International Crisis Group, 14 July 2014, s. 4.

### 3. CHARAKTERYSTYKA ELEMENTÓW OBRONY IZRAELA PRZED ATAKAMI RAKIETOWYMI I MOŹDIERZOWYMI

#### Obrona pasywna

Obrona pasywna odegrała kluczową i nieocenioną rolę w ratowaniu życia i zmniejszeniu liczby ofiar. Należy także podkreślić, że przepisy budowlane obowiązujące w Izraelu stanowią, że wszystkie mieszkania prywatne muszą posiadać tzw. „strefę bomboodporną”. Jeszcze przed zagrożeniem atakami irackich Scud w 1991 r. obowiązywały przepisy, które nakazywały w budownictwie komunalnym budowę podziemnych schronów. Na bazie doświadczeń płynących z ataków raketowych podczas wojny w Zatoce Perskiej, dokonano zmian w przepisach, które stały się jeszcze bardziej restrykcyjne, ponieważ nakazywały, aby w każdym mieszkaniu lub domu prywatnym znajdowało się wzmocnione pomieszczenie z betonowymi ścianami i stalowymi drzwiami oraz okiennicami<sup>40</sup>. Dodatkowo zdecydowana większość budynków mieszkalnych i domów wybudowanych po 1990 r. została wyposażona w schrony tzw. Merkhav Mugan. Poza tym jedno lub dwupiętrowe budynki wybudowane w latach 1982–1990 w północnej części Izraela posiadają ufortyfikowane przejścia (czasami poniżej poziomu gruntu), które służą jako publiczne schrony przeciwbombowe. W tym miejscu należy podkreślić, że starszym budynkom na ogół brakuje tych fortyfikacji. Wszystkie budynki wybudowane w latach 1951–1982 zaprojektowano jednak z dostępem do sąsiednich publicznych schronów przeciwbombowych.

Dodatkowo od 2006 r. wszystkie publiczne obiekty edukacyjne na obszarach potencjalnego zagrożenia muszą być zbudowane w sposób odporny na bomby (powinny wytrzymać bezpośrednie trafienie rakieta typu „katusza”). Poza tym muszą mieć możliwość podłączenia do systemów ochrony przed bronią chemiczną i biologiczną. Wyjątek stanowią przedszkola i placówki oświaty specjalnej opieki, które muszą posiadać centralny system oczyszczania powietrza. Wszystkie placówki medyczne lub lecznicze muszą posiadać schrony gazoszczelne lub możliwość podłączenia do systemów oczyszczających. Wszystkie obiekty długoterminowego leczenia (szpitale) muszą być budowane jako schrony przeciwbombowe i powinny zapewnić przebywanie w nich osób przez minimum cztery godziny.

Poza tym Izrael utrzymuje stałą, dobrze zorganizowaną obronę cywilną oraz zdalnie sterowane syreny alarmowe, które znajdują się w każdej z większych miejscowości. Okazały się one bardzo skuteczne podczas drugiej wojny w Libanie. Alerty były ogłaszane na około 30 sekund przed atakiem rakiety (czasami był to dłuższy czas, w zależności od konkretnego rodzaju wystrzelonego pocisku).

Zgodnie z oceną ministerstwa obrony w marcu 2008 r. rząd izraelski rozmieścił 120 ufortyfikowanych przystanków autobusowych w Sderot, a od stycznia 2009 r. wszystkie szkoły w Sderot zostały bardziej uodpornione przeciwko atakom raketowym. W marcu 2009 r. w tym samym mieście otwarto ośrodek rekreacji dla dzieci wybudowany przez Żydowski Fundusz Narodowy, który został odpowiednio zabezpieczony

<sup>40</sup> U. Rubin, *The Rocket Campaign against Israel during the 2006 Lebanon War*, The Begin-Sadat Center for Strategic Studies Bar-Ilan University, Ramat Gan, Israel, June 2007, s. 16.

na wypadek ataku raketowego. Dodatkowo znajduje się tam także chroniony przed raketami plac zabaw z betonowymi tunelami.

Bardzo ważną rolę w obronie pasywnej spełnia system wczesnego ostrzegania „Red alert”, który działa w oparciu o sieć radarów rozmieszczonych przez siły obronne Izraela w kilku miastach otaczających Strefę Gazy. Ma on zadanie ostrzegania ludności cywilnej przed atakiem raketowym. Poza obszarami obsługiwanymi przez system „Red alarm” ostrzeganie jest realizowane przez syreny. System wczesnego ostrzegania działa w osadach wokół Gazy oraz w Sderot. W przypadku wykrycia sygnatury wystrzelonej rakiety ze Strefy Gazy system automatycznie aktywuje funkcję ostrzegania „Tzeva Adom”, który jest emitowany przez telewizję publiczną do czasu aż wszystkie rakiety uderzą i nie zostaną wykryte nowe pociski. Od 2014 r. alerty dostępne są w aplikacji iPhone z App Store. Była to najczęściej pobierana aplikacja w Izraelu w lipcu 2014 r. podczas operacji „Protective Edge”. Użytkownicy mogli wybrać opcję otrzymywania powiadomień o atakach raketowych w całym kraju lub tylko w swoich okręgach. Bezpłatna aplikacja jest dostępna na urządzenia z systemem iOS i Android. Przed ostatnią operacją w Gazie w Izraelu było 60 000 użytkowników Androida i 80 000 iPhone’ów. Według CNN obecnie na całym świecie jest około 290 000 użytkowników Androida i 300 000 iPhone’ów, jak wynika z informacji ze sklepów Apple iTunes i Google Play. Spośród 300 000 użytkowników iPhone’a 250 000 pochodzi z Izraela, a 50 000 ze Stanów Zjednoczonych i innych krajów<sup>41</sup>.

### Obrona aktywna

Głównym elementem obrony aktywnej Izraela przed atakami raketowymi stał się od 2011 r. system obrony *Iron Dome* (Żelazna Kupuła), który został wyprodukowany przez firmę Rafael Advanced Defense. *Iron Dome* to system przeciwraketowy krótkiego zasięgu. System ten jest przeznaczony do ochrony obiektów przed atakami z użyciem niekierowanych pocisków raketowych kalibru 122 mm, pocisków moździerzowych kalibru 120 mm i pocisków artyleryjskich, a więc najczęściej wykorzystywanych przez Hamas środków wystrzeliwanych ze Strefy Gazy<sup>42</sup>. *Iron Dome* może być także wykorzystany do zwalczania bezałogowych i załogowych statków powietrznych<sup>43</sup>. System może eliminować wyżej wymienione rodzaje celów powietrznych w przedziale od 4 do 70 km<sup>44</sup>. Każda z baterii *Iron Dome* składa się z radaru, stanowiska kierowania ogniem i 3 wyrzutni rakiet<sup>45</sup>. W obecnej konfiguracji jest to system mobilny składający się z<sup>46</sup>:

- zautomatyzowanego stanowiska (centrum) dowodzenia i kierowania ogniem (w kontenerze umieszczonym na ciężarówce 6 × 6);

<sup>41</sup> N. Graya, *App alerts Israelis of incoming*, CNN, 17.07.2014, <https://edition.cnn.com/2014/07/16/world/meast/mideast-israel-rocket-app> [dostęp: 12.10.2022].

<sup>42</sup> <http://dover.idf.il/IDF/English/News/today/2011/03/2804.htm> [dostęp: 15.12.2022].

<sup>43</sup> K. Ogonowski, D. Bogusz, *Anti-drone system as a part of air transport protection*, 23 rd International Scientific Conference TRANSPORT MEANS 2019, Part III, Trakai, Lithuania, s. 1532–1538.

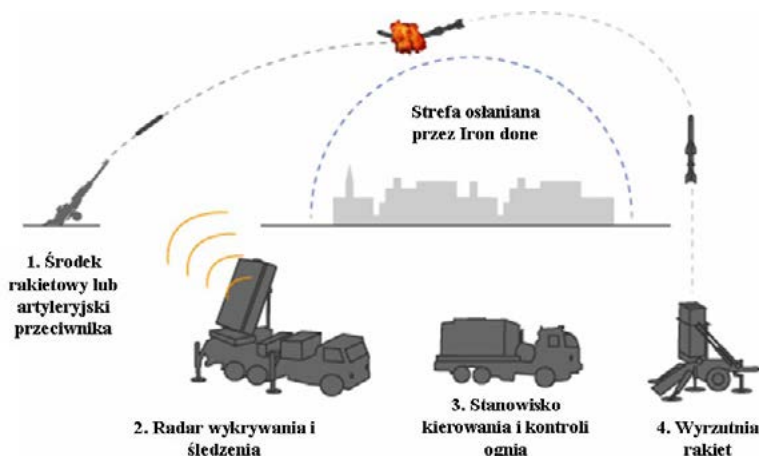
<sup>44</sup> [https://web.archive.org/web/20120710092155/http://www.rafael.co.il/marketing/SIP\\_STORAGE/FILES/0/1190.pdf](https://web.archive.org/web/20120710092155/http://www.rafael.co.il/marketing/SIP_STORAGE/FILES/0/1190.pdf) [dostęp: 15.12.2022].

<sup>45</sup> J.M. Sharp, *U.S. Foreign Aid to Israel*, Congressional Research Service (CRS) 10.06.2015, s. 9.

<sup>46</sup> <http://www.eioba.pl/a/34cl/iron-dome-izraelska-tarcza#ixzz1llk9pwKq> [dostęp: 15.12.2022].

- radaru wykrywającego cele i naprowadzającego na nie pociski (jest to radar EL/M-2084 typu AESA, pracujący w paśmie S, wyprodukowany przez Elta Systems, także umieszczony na ciężarówce 6 × 6);
- wyrzutni rakiet wyposażonej w elektro-optyczne czujniki, na każdej znajduje się 20 pocisków Tamir (4 rzędy po 5 rakiet w każdym).

Zautomatyzowane Centrum Dowodzenia i Kierowania Ogniem *Iron Dome* na podstawie trajektorii lotu wystrzelonego pocisku określa przypuszczalne miejsce jego trafienia, jeśli ma ono nastąpić na terenach niezamieszkałych unika się odpalenia kosztownych rakiet Tamir<sup>47</sup>.



Rys. 3. Fazy działania systemu *Iron Dome*

Źródło: <http://www.thisislondon.co.uk/standard/article-23963181-no-10-rejects-allies-call-for-libya-ceasefire.do> [dostęp: 23.02.2023].

Według producenta *Iron Dome* może pracować dzień i noc, w niekorzystnych warunkach atmosferycznych i może zwalczать jednocześnie wiele celów powietrznych.

Prace nad nim zostały rozpoczęte w 2008 r. na zlecenie ministerstwa obrony Izraela i były prowadzone przy wsparciu finansowym USA. Po ostatniej serii testów przeprowadzonych w lutym 2011 r. ministerstwo obrony poinformowało, iż pojawienie się systemu spodziewane jest w przeciągu kilku tygodni. Rozwój sytuacji w Strefie Gazy zmusił jednak resort do rozmieszczenia obydwu jednostek przed formalnym zakończeniem okresu prób. 27 marca 2011 r. Izrael po raz pierwszy rozmieścił nowy system obrony przeciwrakietowej „Żelazna Kupuła” w celu ochrony Beer-Szeby. Pomimo krótkiego czasu, jaki minął od jego rozmieszczenia, system ten z powodzeniem zestrzelił wystrzelone przez Hamas rakiety. Tydzień później rozmieszczono drugą baterię, aby chronić Aszkelon<sup>48</sup>. W ciągu następujących trzech dni *Tamiry* strąciły kolejnych

<sup>47</sup> A. Radomyski, *Obrona przeciwlotnicza w działaniach stabilizacyjnych*, LAW, Dęblin 2019, s. 134.

<sup>48</sup> *Israel Rolls Out First Mobile Battery of Antirocket System*, „New York Times”, 27.03.2011, <https://www.nytimes.com/2011/03/28/world/middleeast/28israel.html?partner=rss&emc=rss> [dostęp: 22.05.2023].

siedem pocisków, dając tym samym dowód skuteczności znajdującego się ciągle w fazie prób systemu<sup>49</sup>.

7 kwietnia bateria Aszkelon pomyślnie przechwyciła palestyński pocisk Grad wyrzucony w stronę miasta, co oznaczało pierwsze w historii udane przechwycenie rakiety krótkiego zasięgu przez system *Iron Dome*<sup>50</sup>. Izraelscy urzędnicy twierdzą, że „Żelazna Kopuła” w 2011 r. przechwyciła 85% z ponad 400 rakiet wyrzuconych na Izrael ze Strefy Gazy.

31 sierpnia 2012 r. przed nowym rokiem szkolnym Izrael rozmieścił trzecią baterię *Iron Dome* pod Aszdodem. Do tego dnia „Żelazna Kopuła” przechwyciła kilkadziesiąt rakiet z Gazy, a szacunkowy koszt przechwycenia wynosił 100 000 dolarów, nie licząc ceny samego systemu<sup>51</sup>. Pierwszy poważny test miał miejsce w listopadzie 2012 r. podczas tygodniowego konfliktu między Izraelem a Hamasem, kiedy to wyrzucono około 1500 rakiet. W listopadzie 2012 r. podczas operacji „Filar Obrony” izraelscy urzędnicy oszacowali skuteczność „Żelaznej Kopuły” na 75–95%<sup>52</sup>. Według nich z około 1000 rakiet wyrzuconych w kierunku Izraela przez Hamas od początku operacji „Filar Obrony” do 17 listopada 2012 r. „Żelazna Kopuła” przechwyciła 300 rakiet, co stanowiło 90% ze wszystkich wyrzuconych w stronę Izraela<sup>53</sup>.

W latach 2012–2014 Izrael zmodernizował system, wprowadzając nowe mechanizmy śledzenia i strzelania. Poza tym zwiększono liczbę rozmieszczonych baterii z pięciu do dziewięciu. Do końca października 2014 r. systemy *Iron Dome* przechwyciły ponad 1200 rakiet<sup>54</sup>.

#### 4. PODSUMOWANIE

Podsumowując wyniki badań przedstawionych w artykule, można stwierdzić, że od września 2000 do 2012 r. palestyńskie organizacje terrorystyczne prowadziły nieustanną kampanię terrorystyczną przeciwko Izraelowi. Ataki raketowe stały się jedną z głównych broni w działaniach palestyńskich terrorystów. Od kwietnia 2007 r. szczególną aktywność w atakach mózdzierzowych zaczęły przejawiać Hamas, ponieważ jego przywódcy uznali, że w ten sposób mogą najlepiej obnażyć niedoskonałość systemu bezpieczeństwa Izraela.

<sup>49</sup> <http://www.eioba.pl/a/34cl/iron-dome-izraelska-tarcza#ixzz1lljz7dTO> [dostęp: 22.05.2023].

<sup>50</sup> A. Pfeffer, Y. Yagna, *Iron Dome successfully intercepts Gaza rocket for first time*, „Haaretz”, 7.04.2011, <https://www.haaretz.com/2011-04-07/ty-article/iron-dome-successfully-intercepts-gaza-rocket-for-first-time/0000017f-dc5e-d856-a37f-fdde331e0000> [dostęp: 12.06.2023].

<sup>51</sup> Y. Katz, *Hezbollah has long-range surface-to-air missiles*, „Jerusalem Post”, 19.01.2012, <https://www.jpost.com/Defense/Hezbollah-has-long-range-surface-to-air-missiles> [dostęp: 17.03.2023].

<sup>52</sup> C. Dilow, *How Israel's 'Iron Dome' Knocks Almost Every Incoming Missile Out Of The Sky*, 19.11.2012, <https://web.archive.org/web/20170810111312/http://www.popsi.com/technology/article/2012-11/fyi-how-israel%E2%80%99s-%E2%80%99iron-dome%E2%80%99-knocks-incoming-missiles-out-sky> [dostęp: 25.02.2023].

<sup>53</sup> M. Thomson, *Iron Dome: A Missile Shield That Works*, Time, 19.11.2012, <https://nation.time.com/2012/11/19/iron-dome-a-missile-shield-that-works/#ixzz2Ci0JS7Us> [dostęp: 13.03.2023].

<sup>54</sup> B. Opall-Rome, *Israeli Firm Adapts Iron Dome for Intercepts at Sea Rafael floats ship-based concept at Euronaval Exhibition*, „DefenseNews”, 27.10.2014, <http://www.defensenews.com/article/20141027/DEFREG04/310270011/Israeli-Firm-Adapts-Iron-Dome-Intercepts-Sea> [dostęp: 22.09.2022].

Należy podkreślić, że sposoby i metody wykonywania ataków raketowych i moździerzowych na obiekty wojskowe i cywilne Izraela wzorowały się na działaniach prowadzonych przez Hezbollah w drugiej wojnie w Libanie, w czasie której wykorzystywano duży arsenał raketowy.

Głównymi przesłankami, które zdecydowały o szerokim użyciu rakiet i moździerzy przez palestyńskich terrorystów, było to, że są to środki tanie i stosunkowo proste w użyciu oraz mają małe rozmiary (gabaryty). Pomimo tego, że produkowane przez terrorystów rakiety są środkami o małej precyzji rażenia, to umożliwiają utrzymywanie wśród ludności Izraela poczucia ciągłego zagrożenia i strachu, co poważnie zakłóca ich codzienne funkcjonowanie. Ponadto według terrorystów użycie rakiet i moździerzy miało obnażyć izraelski system bezpieczeństwa, a *gros* z nich zostało wykonanych na obiekty przyległe do Strefy Gazy.

Należy także podkreślić, że w analizowanym okresie poza stratami ludzkimi potwierdzono u 28% mieszkańców z 23-tysięcznego miasta Sderot urazowy syndrom, a 74% dzieci w wieku 7–12 lat wykazywało symptomy strachu, zaś 57% miało poważne trudności ze snem<sup>55</sup>. Poza tym u ponad 1600 osób stwierdzono również objawy szoku<sup>56</sup>.

W ocenie autorów artykułu Izrael podjął szereg efektywnych działań obronnych (pasywnych i aktywnych), które pozwoliły ograniczyć liczbę ofiar wśród ludności cywilnej. Poza rozbudową schronów przeciwbombowych i tymczasowych ukryć wdrożył sprawnie funkcjonujący system ostrzegania przed atakiem raketowym. Wprowadził również bardzo nowoczesny system przeciwlotniczy *Iron Dome*. Należy podkreślić, że w porównaniu z innymi systemami obrony powietrznej skuteczność tego systemu jest bardzo wysoka. Konsultant ds. obrony Steven Zaloga stwierdził, że zniszczenie przez „Żelazną Kopułę” 90% rakiet to bardzo dobry współczynnik, który jest wyższy w porównaniu do innych systemów obrony powietrznej<sup>57</sup>.

Ponadto przeprowadził kilka skutecznych operacji wojskowych zarówno powietrznych, jak i lądowych na obiekty ugrupowań terrorystycznych głównie Hamasu i Hezbollahu, które osłabiły ich potencjał wojskowy. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na dużą skuteczność działań izraelskich sił bezpieczeństwa w Samarii i Judei, w wyniku których wykryto i zlikwidowano wiele magazynów broni, co w znacznym stopniu zakłóciło funkcjonowanie organizacji terrorystycznych. Ważnym elementem systemu obronnego było ukończenie budowy kolejnych odcinków bariery bezpieczeństwa. Uniemożliwiło to palestyńskim terrorystom przenikanie na terytorium Izraela,

<sup>55</sup> R. Berger, Dr. Gelkopf, M. Tzemach, *Mina Director of Dachaf Public Opinion Research Institute*, The Impact of the Ongoing Traumatic Stress Conditions on Sderot: Research Survey - Initial Findings and Recommendations: October 2007, Natal Israel Trauma Center for Victims of Terror and War and Situation Report Gaza, June 1, 2007, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), <http://domino.un.org/UNISPAL.NSF/db942872b9eae454852560f6005a76fb/29675fb5ff97c3e385572ed0064f30e!OpenDocument> [dostęp: 10.02.2023].

<sup>56</sup> R.A. Stoil, *Toddler hurt after Kassam hits home*, „The Jerusalem Post”, 16.12.2007, <http://www.jpost.com/servlet/Satellite?c=JPArticle&cid=1196847352499&pagename=JPost%2FJPArticle%2FShowFull> [dostęp: 15.08.2022].

<sup>57</sup> R. Johnson, *How Israel Developed Such A Shockingly Effective Rocket Defense System*, „Insider”, 20.11.2012, <https://www.businessinsider.com/how-israel-developed-the-iron-dome-2012-11?IR=T#now-see-how-the-us-projects-power-in-the-region-12> [dostęp: 23.02.2023].

zwłaszcza z Samarii. Poza tym dużą rolę odegrały rozpoczęte w 2006 r. przez izraelskie siły obronne operacje wojskowe, w których duży ciężar wzięty na siebie siły powietrzne. To właśnie w wyniku uderzeń z powietrza zniszczono magazyny broni, warsztaty produkujące uzbrojenie, obozy szkoleniowe i budynki wykorzystywane przez terrorystów oraz tunele przemycnicze. Do zwalczania wyrzutni raketowych izraelskie siły wykorzystywały również artylerię, siły specjalne i bezzałogowe statki powietrzne<sup>58</sup>.

## BIBLIOGRAFIA

### Artykuły i monografie

Berger R., Gelkopf Dr., Tzemach M., *Mina Director of Dachaf Public Opinion Research Institute*, „The Impact of the Ongoing Traumatic Stress Conditions on Sderot: Research Survey - Initial Findings and Recommendations: October 2007, Natal Israel Trauma Center for Victims of Terror and War and Situation Report Gaza”, June 1, 2007, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, <http://domino.un.org/UNISPAL.NSF/db942872b9eae454852560f6005a76fb/29675fb5ff97c3e385572ed0064f30e!OpenDocument> [dostęp: 10.02.2023].

Dahman I., Gold H., Iszo L., Tal A., Salman A., Khadder K., Greene R.A., Alam H.A., *Netanyahu says Israel is 'at war' after Hamas launches surprise air and ground attack from Gaza*, CNN, 7.10.2023 <https://edition.cnn.com/2023/10/07/middleeast/sirens-israel-rocket-attack-gaza-intl-hnk/index.html> [dostęp: 12.02.2022].

Dilow C., *How Israel's 'Iron Dome' Knocks Almost Every Incoming Missile Out Of The Sky*, 19.11.2012, <https://web.archive.org/web/20170810111312/http://www.popsci.com/technology/article/2012-11/fyi-how-israel%E2%80%99s-%E2%80%98iron-dome%E2%80%99-knocks-incoming-missiles-out-sky> [dostęp: 25.02.2023].

Elste J., *Rockets and votes*, „Journal of Economic Behavior & Organization” 2019, nr 166.

*FACTBOX-Hamas's arsenal of rockets*, „Reuters”, 6.01.2009 [dostęp: 23.12.2022].

*Fact Finding Mission on the Gaza Conflict. The Goldstone Report*, United Nations, September 2009.

Fishman A., *Uncovering the missiles*, „Israel News”, 16.03.2011, <https://www.ynet-news.com/articles/0,7340,L-4043392,00.html> [dostęp: 15.04.2023].

*Gaza Militant Groups Agree to Halt Rocket Attacks on Israel*, „Haaretz”, 30.11.2010, <https://www.haaretz.com/2010-12-30/ty-article/gaza-militant-groups-agree-to-halt-rocket-attacks-on-israel/0000017f-e673-dc7e-adff-f6ffcdcf0000> [dostęp: 12.02.2023].

Gold D., *Israel's War to Halt Palestinian Rocket Attacks*, „Jerusalem Center for Public Affairs” 2008, nr 7(34).

Graya N., *App alerts Israelis of incoming*, CNN, 17.07.2014, <https://edition.cnn.com/2014/07/16/world/meast/mideast-israel-rocket-app> [dostęp: 12.10.2022].

<sup>58</sup> *Lebanon 2006: Yoman Milchama*, Sikur Memukad website, 1.08.2006, s. 10.



- Hadad S., *3 Qassams hit south following IAF killing*, 6.09.2006, <https://www.ynetnews.com/articles/0,7340,L-3260700,00.html> [dostęp: 12.09.2022].
- Hider J., *Gaza rockets put Israel's nuclear plant in battle zone*, „The Times”, 2.06.2009, <https://www.thetimes.co.uk/> [dostęp: 12.03.2023].
- Hider J., Frenkel Sh., *Israel Admits Using White Phosphorus in Attacks on Gaza*, „The Times”, 24.06.2009, [http://www.timesonline.co.uk/tol/news/world/middle\\_east/article5575070.ece](http://www.timesonline.co.uk/tol/news/world/middle_east/article5575070.ece) [dostęp: 22.10.2021].
- Israel/Gaza: Operation „Cast Lead”: 22 days of death and destruction, Amnesty International, 2.07.2009.
- Israel Rolls Out First Mobile Battery of Antirocket System*, „New York Times”, 27.03.2011, <https://www.nytimes.com/2011/03/28/world/middleeast/28israel.html?partner=rss&emc=rss> [dostęp: 22.05.2023].
- Israel's Ashdod Hit by Gaza Rocket for First Time*, „Archived” 27.03.2009.
- Jalali A.A., Grau L.W., *Afghan guerrilla warfare: in the words of the Mujahideen fighters*, Zenith Imprint, 2002.
- Johnson R., *How Israel Developed Such a Shockingly Effective Rocket Defense System*, „Insider”, 20.11.2012, <https://www.businessinsider.com/how-israel-developed-the-iron-dome-2012-11?IR=T#now-see-how-the-us-projects-power-in-the-region-12> [dostęp: 23.02.2023].
- Katz Y., *Hezbollah has long-range surface-to-air missiles*, „Jerusalem Post”, 19.06.2012, <https://www.jpost.com/Defense/Hezbollah-has-long-range-surface-to-air-missiles> [dostęp: 17.03.2023].
- Kramer T.A., Laird R.T., Dinh M., Barngrover C.M., Cruickshanks J.R., Gilbreath G.A., *FIRRE Joint Battlespace Command and Control System for Manned and Unmanned Assets (JBC2S)*, SPIE Unmanned Systems Technology VIII, Orlando, FL, 17–20.04.2006.
- Lebanon 2006: Yoman Milchama, Sikur Memukad website, 1.08.2006.
- Levy E., *Islamic Jihad shows off multi-barrel rocket launcher*, Ynetnews, 3.10.2012, <https://www.ynetnews.com/articles/0,7340,L-4200849,00.html> [dostęp: 12.03.2023].
- Lorber A., *The Growing Threat of the Kassam Unguided Rockets*, „Middle East Monitor”, 3.09.2003.
- Michalski D., *Powszechna obrona powietrzna ludności cywilnej jako integralny element systemu bezpieczeństwa państwa*, AON, Warszawa 2016.
- Middle Eastern Briefing #39, Gaza and Israel, New Obstacles, New Solutions, by International Crisis Group, 14.07.2014.
- Ogonowski K., Bogusz D., *Anti-drone system as a part of air transport protection*, 23 rd International Scientific Conference TRANSPORT MEANS 2019, Part III, Trakai, Lithuania.
- Opall-Rome B., *Israeli Firm Adapts Iron Dome for Intercepts at Sea Rafael floats ship-based concept at Euronaval Exhibition*, „DefenseNews”, 27.10.2014, <http://www.defensenews.com/article/20141027/DEFREG04/310270011/Israeli-Firm-Adapts-Iron-Dome-Intercepts-Sea> [dostęp: 22.09.2022].

*Operation Cast Lead*, The Institute for Middle East Understanding, 4.01.2012, <https://imeu.org/article/operation-cast-lead> [dostęp: 12.02.2022].

Pfeffer A., Yagna Y., *Iron Dome successfully intercepts Gaza rocket for first time*, „Ha-aretz”, 7.04.2011, <https://www.haaretz.com/2011-04-07/ty-article/iron-dome-successfully-intercepts-gaza-rocket-for-first-time/0000017f-dc5e-d856-a37f-fdde331e0000> [dostęp: 12.06.2023].

„Qassam Technical Information”, The Jewish Policy Center, NW, Washington, DC 2001.

Radomyski A., Dobija K., *Koncepcja zwalczania rakiet, pocisków artyleryjskich i moździerzowych przez środki obrony przeciwlotniczej*, AON, Warszawa 2008.

Radomyski A., Michalski D., *Military aircraft, ballistic missiles and maneuver rockets as effective means of deterring the potential enemy*, „Kultura Bezpieczeństwa. Nauka–Praktyka–Refleksje” 2019, nr 33.

Radomyski A., *Obrona przeciwlotnicza w działaniach stabilizacyjnych*, LAW, Dęblin 2019.

„Rocket threat from the Gaza Strip, 2000-2007”, *Intelligence and Terrorism Information Centre at the Israel Intelligence Heritage & Commemoration Center*, December 2007.

Rubin U., *The Rocket Campaign against Israel during the 2006 Lebanon War*, *The Begin-Sadat Center for Strategic Studies Bar-Ilan University*, Ramat Gan, Israel, June 2007.

Sharp J.M., *U.S. Foreign Aid to Israel*, *Congressional Research Service (CRS)*, 10.07.2015.

Stoil R.A., *Toddler hurt after Kassam hits home*, „The Jerusalem Post”, 16.11.2007, <http://www.jpost.com/servlet/Satellite?c=JPArticle&cid=1196847352499&page-name=JPost%2FJPArticle%2FShowFull> [dostęp: 15.08.2022].

„Summary of rocket fire and mortar shelling in 2008”, *Intelligence and Terrorism Information Center at the Israel Intelligence Heritage & Commemoration Center*, 2009.

Thomson M., *Iron Dome: A Missile Shield That Works*, „Time”, 19.11.2012, <https://nation.time.com/2012/11/19/iron-dome-a-missile-shield-that-works/#ixzz2Ci0JS7Us> [dostęp: 13.03.2023].

### Źródła internetowe

<http://dover.idf.il/IDF/English/News/today/2011/03/2804.htm>.

<http://pl.wikipedia.org/wiki/Katiusza>.

<http://www.eioba.pl/a/34cl/iron-dome-izraelska-tarcza#ixzz1lljz7dTO>.

<http://www.eioba.pl/a/34cl/iron-dome-izraelska-tarcza#ixzz1llk9pwKq>.

<http://www.israel-mfa.gav.ilokresie>.

<http://www.time.com/time/world/article/0%2C8599%2C202159%2C00.html>.

[https://web.archive.org/web/20120710092155/http://www.rafael.co.il/marketing/SIP\\_STORAGE/FILES/0/1190.pdf](https://web.archive.org/web/20120710092155/http://www.rafael.co.il/marketing/SIP_STORAGE/FILES/0/1190.pdf).

<https://www.globalsecurity.org/military/world/para/hamas-qassam.htm>.

**Wojciech DAWID**

Military University of Technology  
 e-mail: wojciech.dawid@wat.edu.pl  
 ORCID: 0000-0001-7964-5706

**Krzysztof POKONIECZNY**

Military University of Technology  
 e-mail: krzysztof.pokonieczny@wat.edu.pl  
 ORCID: 0000-0001-9114-5317

**Marek WYSZYŃSKI**

Military University of Technology  
 e-mail: marek.wyszynski@wat.edu.pl  
 ORCID: 0000-0003-3264-9544

DOI: 10.55676/asi.v3i1.61

## THE APPLICATION OF THE METHODOLOGY TO DEFINE TERRAIN PASSABILITY ON A DETAILED LEVEL IN VARIOUS CONFIGURATIONS

WYKORZYSTANIE METODYKI WYZNACZANIA PRZEJEZDNOŚCI TERENU NA POZIOMIE SZCZEGÓŁOWYM W RÓŻNYCH KONFIGURACJACH

### Abstract

The article presents a complete methodology to determine terrain passability as well as its application based on various configurations of input data. The methodology was developed with the use of the methods that had been created by the authors in their previous research projects. The determination of terrain passability consists of two stages: The first stage involves conducting the analysis of micro-relief with the aim to identify impassable spots in the area, while the second stage consists in determining the route for a specific vehicle that will avoid the existing obstacles formed by the micro-relief. Both these analyses generate results based only on a detailed digital terrain model (with a resolution of 1 m) and the traction parameters of the vehicles for which terrain passability is determined. One of the processes that are part of this methodology is the generalisation of the digital terrain model, which significantly improves the efficiency of the performed calculations. Test results demonstrated that the presented methodology enables successful automated generation of passability maps for specific vehicles and the creation of routes for such vehicles. The routes differ depending on the type of vehicle, which results directly from the fact that vehicles have different traction parameters. Nevertheless, the test results were satisfactory and demonstrated that the developed methodology may be applied by bodies that are responsible for planning military operations or crisis management activities.

**Keywords:** digital elevation model, generalisation, micro-relief, terrain passability, vehicles

### Streszczenie

W artykule zaprezentowano całościową metodykę wyznaczania przejezdności terenu, a także jej zastosowanie w oparciu o różne konfiguracje danych wejściowych. Do przygotowania metodyki wykorzystano metody, które zostały opracowane przez autorów we wcześniejszych badaniach. Wyznaczanie przejezdności terenu składa się z dwóch etapów: przeprowadzenie analizy mikrorzeźby, której celem jest wskazanie w terenie miejsc nieprzejezdnych, a także wyznaczenie trasy dla konkretnego pojazdu, która omijać będzie występujące w terenie przeszkody związane z mikrorzeźbą. Obie analizy do generowania wyników wykorzystują jedynie szczegółowy numeryczny model terenu (o rozdzielczości 1 m) oraz parametry trakcyjne pojazdów, dla których wyznaczana jest przejezdność terenu. Jednym z procesów wchodzących w skład metodyki jest uogólnienie numerycznego modelu terenu, które znacznie zwiększa wydajność prowadzonych obliczeń. Wyniki badań pokazały, że opracowana metodyka z powodzeniem automatycznie opracowuje mapy przejezdności dla konkretnych pojazdów, a także wyznacza dla nich trasy przejazdu. Są one inne dla różnych pojazdów, co wynika bezpośrednio z faktu, że posiadają one odmienne parametry trakcyjne. Niemniej jednak, zadowalające wyniki badań pokazały, że opracowana metodyka może być stosowana przez organy odpowiedzialne za planowanie operacji wojskowych czy zarządzania kryzysowego.

**Słowa kluczowe:** numeryczny model terenu, generalizacja, mikrorzeźba, przejezdność terenu, pojazdy

## 1. INTRODUCTION

An effectively conducted military operation requires appropriate planning. One of the key aspects that should be taken into consideration during planning is terrain passability. Its modelling for various types of vehicles is essential in planning military operations, when the need to carry out quick and sudden manoeuvres to surprise the enemy makes it necessary to design approach paths (routes) for military vehicles outside the road network. According to military standards<sup>1</sup>, passability is understood as the possibility to cross the area by vehicles in any weather conditions, both on roads and off-road. The process of determining passability in its simplest form is based on the division of land into 3 classes: GO, SLOW-GO and NO-GO<sup>2</sup>. The aim of this classification is to distinguish those parts of the area that are characterised by similar land cover and terrain formation that allow it to be crossed by specific types of vehicles. This issue is vital for land management, particularly in emergency conditions, when it is essential to reach the destination quickly. Passability is also influenced by the area where the vehicles are moving, which will also be discussed in this study.

The ability to determine the possibility to pass an area by military vehicles is a crucial aspect that allows achieving tactical and operational advantage over the enemy. Considering the above, many research centres are attempting to develop a terrain passability model that would be as close to reality as possible. Such studies are carried out, among others, at the University of Defence in Brno. The problems of modelling and creating terrain passability maps were discussed in numerous publications of this institution. The existing publications address various analyses of the key factors that influence passability, i.e., the plant cover, and more specifically, forests<sup>3</sup>, soils<sup>4</sup> and even weather<sup>5</sup>. The next stage of their research consists in integrating soil data with data from other sources<sup>6</sup>. A solution, which utilizes the division of land into smaller fragments (referred to as the primary fields), was presented in the studies<sup>7</sup>. The key element, and, at the same time, a specific supplement to these analyses, is the influence of individual elements of the geographic environment on passability conditions, e.g. land cover<sup>8</sup>.

The key project that refers to terrain passability modelling is the NATO Reference Mobility Model (NRMM). This model is used to model the passability for various

<sup>1</sup> "NO-06-A015:2012, Terrain – Rules of Classification – Terrain Analysis on Operational Level."

<sup>2</sup> "Field Manual 5-33 Terrain Analysis."

<sup>3</sup> M. Rybansky et al., *Vegetation Structure Determination Using LIDAR Data and the Forest Growth Parameters*; M. Rybansky, *Determination of Forest Structure from Remote Sensing Data for Modeling the Navigation of Rescue Vehicles*.

<sup>4</sup> M. Rybansky, *Soil Trafficability Analysis*; M. Hubáček, V. Kovarik, V. Kratochvil, *Analysis of Influence of Terrain Relief Roughness on DEM Accuracy Generated from Lidar in The Czech Republic Territory*.

<sup>5</sup> M. Hubáček et al., *Modelling of Geographic and Meteorological Effects on Vehicle Movement in The Open Terrain*.

<sup>6</sup> M. Hubáček et al., *Combining Different Data Types for Evaluation of the Soils Passability*.

<sup>7</sup> M. Rybansky et al., *Modelling of Cross-Country Transport in Raster Format*; M. Rybansky, M. Vala, *Relief impact on transport*.

<sup>8</sup> M. Rybansky, *Effect of the Geographic Factors on the Cross Country Movement During Military Operations and the Natural Disasters*.

types of military vehicles and it includes a comprehensive planning area for the operation, which contains the data about the scenario, terrain, and vehicles<sup>9</sup>. It became the basis for numerous analyses of the various aspects related to military terrain passability. A comparison of the NRMM with other models in terms of the capacity of military vehicles to cross specific soils is presented in paper<sup>10</sup>. Furthermore, the issues related to the influence of soils on passability are discussed in study<sup>11</sup>, whose author analyses the influence of soil characteristics on the traction parameters, such as the sink and slide of wheels, vehicle speed, and traction force.

One of the academic centres that has been researching land passability issues for many years is the Military University of Technology. Among numerous research works of the MUT team, the problems of creating passability maps based on primary fields are presented in the studies<sup>12</sup>. The publication<sup>13</sup> presents an IT system to automate the passability map generating process, while article<sup>14</sup> discussed the manner of generating the index of passability with the application of artificial neural networks. These studies allow for the automated creation of maps in small and medium scales, which provide a general overview of the passability conditions in large areas. Another area of interest of the MUT team is the methodology of generating high-resolution land passability maps that are created for individual vehicles based on a detailed digital terrain model and the traction parameters of the vehicles. The use of high-resolution data allows the map to reflect elements of micro-relief<sup>15</sup>. Similar research on the application of a high-resolution terrain model to determine passability were presented in the studies<sup>16</sup> where, however, a completely different terrain model and computational algorithms were applied. The authors used there a raster elevation model in resolution of 0.5 m and built a processing algorithm in ArcGIS software which computed the impassable areas in two dimensional space. The MUT team, on the other hand, created an independent procedure which computes the passability in 3D space based on vector elevation points.

The main aim of this paper is to summarise the previous research of the authors on the automation of the terrain classification process in terms of passability, taking into account elements of micro-relief. This process concerns the determination of terrain passability on a detailed level, what means that the outcome is meant to be utilized for planning the movement of single vehicles or a group of the same types of

<sup>9</sup> M. Bradbury et al., *Next-Generation NATO Reference Mobility Model (NRMM) Development*.

<sup>10</sup> B. Maclaurin, *Comparing the NRMM (VCI), MMP and VLCI Traction Models*.

<sup>11</sup> P. Jayakumar, D. Mechergui, T.M. Wasfy, *Understanding the Effects of Soil Characteristics on Mobility*.

<sup>12</sup> K. Pokonieczny, S. Borkowska, *Using High Resolution Spatial Data to Develop Military Maps of Passability*; K. Pokonieczny, A. Mościcka, *The Influence of the Shape and Size of the Cell on Developing Military Passability Maps*.

<sup>13</sup> K. Pokonieczny, *Automatic Military Passability Map Generation System*.

<sup>14</sup> K. Pokonieczny, *Use of a Multilayer Perceptron to Automate Terrain Assessment for the Needs of the Armed Forces*; Idem, *Methods of Using Self-Organising Maps for Terrain Classification, Using an Example of Developing a Military Passability Map*.

<sup>15</sup> M. Hubáček, V. Kovarik, V. Kratochvil, *Analysis of Influence...*, op. cit.

<sup>16</sup> F. Dohnal et al., *Identification of Microrelief Shapes along the Line Objects over DEM Data and Assessing Their Impact on the Vehicle Movement*; F. Dohnal, M. Hubacek, K. Simkova, *Detection of Microrelief Objects to Impede the Movement of Vehicles in Terrain*.

vehicles. As these analyses are very detailed, they may be applied in modelling passability for individual vehicles. So far, the authors have presented a study concerning the analyses of the level of detail of high-resolution digital terrain models and described an algorithm that uses these models to determine passability, taking into account the traction parameters of vehicles<sup>17</sup>. In publication<sup>18</sup>, these algorithms were applied in practice to present an analysis of the methods of pathfinding in cross-country areas. Article<sup>19</sup> provides an example of the application of the developed algorithms for the purposes of crisis management. The authors also developed an algorithm to determine the route that takes into account passability in real time<sup>20</sup>. The aim of this study is to provide a synthesis and summary of the above research projects and to present them in form of a comprehensive methodology. A novelty is the fact that research was conducted for various test areas and types of vehicles, which allowed us to conduct comprehensive analyses of passability in various conditions. This enables to evaluate the usability and versatility of the proposed methodology.

## 2. MATERIALS AND METHODS

For the purposes of this study, the determination of land passability on a detailed level consists in conducting an analysis of passability for a specific vehicle (identification of impassable, NO-GO areas) and determining the route taking into account terrain conditions. The methods used were previously developed by the authors, and include:

- The method of determining passability taking into account elements of micro-relief<sup>21</sup>;
- Pathfinding methods<sup>22</sup>;
- The method of pathfinding optimisation by the generalisation of the digital terrain model<sup>23</sup>.

The test areas, data used, as well as the above methods, will be discussed in detail in the following section.

### 2.1. TEST AREAS

Research was conducted on 5 test areas with different characteristics. The test areas had the shape of a square of the side length of 1000 m. They included: arable land,

<sup>17</sup> W. Dawid, K. Pokonieczny, *Analysis of the Possibilities of Using Different Resolution Digital Elevation Models in the Study of Microrelief on the Example of Terrain Passability*.

<sup>18</sup> Idem, *Methodology of Using Terrain Passability Maps for Planning the Movement of Troops and Navigation of Unmanned Ground Vehicles*.

<sup>19</sup> W. Dawid, K. Pokonieczny, M. Wyszynski, *The Methodology of Determining Optimum Access Routes to Remote Areas for the Purposes of Crisis Management*.

<sup>20</sup> W. Dawid, K. Pokonieczny, *Generalization of Digital Elevation Models for Military Passability Maps Development*.

<sup>21</sup> Idem, *Analysis of the Possibilities...*, op. cit.

<sup>22</sup> Idem, *Methodology of Using...*, op. cit.; W. Dawid, K. Pokonieczny, M. Wyszynski, *Methodology of the Iterative Route Determination Process for the Purposes of Military Passability*.

<sup>23</sup> W. Dawid, K. Pokonieczny, *Generalization of Digital...*, op. cit.

forested area, hills, swamps, and urban area. The aim of this diversification was to test the functioning of the developed methodology in various terrain conditions. The methodology was created to be versatile, i.e., so that it may be used for a specific vehicle, regardless of the terrain where the passability analysis is to be conducted. The location of test areas and their visualisation are presented in Figure 1.

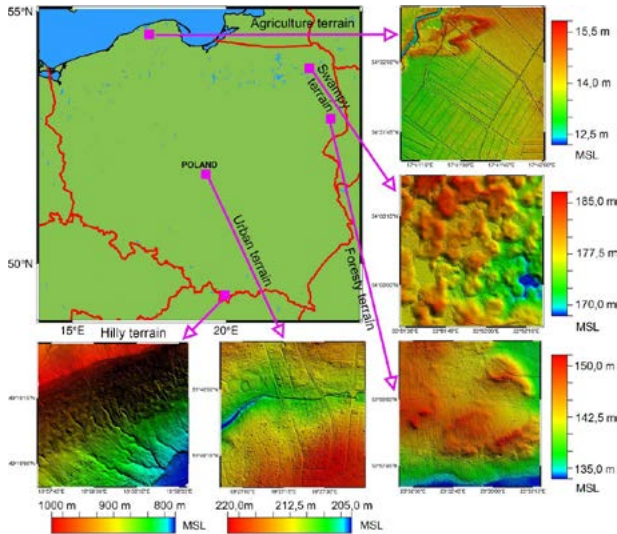


Figure 1. Location and visualisation of test areas

Source: own study.

The agricultural area is characterised by a large number of drainage ditches, which might be shown in the passability analysis as NO-GO areas. The forest and swamp areas are situated in regions which are covered, respectively, by forests and marshes that will make it significantly more difficult to determine the route for the vehicle. The hills area is located in the Polish Highlands and is characterised by large differences in height. Apart from that, there are multiple beds of mountain creeks, which might also constitute obstacles for vehicles that are moving in the area. The last analysed site was an urban area situated in the city centre of Lodz in central Poland. It contains a very high number of objects that are impassable for vehicles, such as buildings.

## 2.2. USED DATA

The research was conducted with use of the spatial vector land cover data obtained from the Topographic Objects Database, at the scale of 1:10,000. They were used to exclude areas that may be assumed to be impassable before the analysis, such as all types of buildings, surface waters, or forests. The database is maintained by the Surveyor General and it contains information about the location and attributes of

such objects as: networks of watercourses; networks of roads and railways; networks of utility lines; land cover; protected areas; administrative units; buildings, structures and equipment, and land development complexes. The database is updated on an ongoing basis and is available free of charge. The whole database may be downloaded from the National Geoportal ([www.geoportal.gov.pl](http://www.geoportal.gov.pl)).

Apart from land cover data, the authors used digital elevation models that are also available free of charge in the National Geoportal. These data are distributed in the ASCII Grid format in the whole territory of Poland. They contain three-dimensional coordinates of elevation points, which, in the highest resolution, are placed at a distance of 1 m from one another. This was also the resolution that was applied in the study, because previous analyses conducted by the authors had demonstrated that 1 m is the optimum resolution of a digital terrain model to conduct a passability analysis on the detailed level<sup>24</sup>. The detailed characteristics of the elevation data used are presented in Table 1.

Table 1. Characteristics of digital elevation models used in this research

Kind of terrain	Recentness [year]	Resolution [m]	Mean elevation error [m]	Data source
Agricultural terrain	2022	1.0	0.2	Laser scanning
Forests	2022	1.0	0.6	Aerial photographs
Hilly terrain	2022	1.0	0.5	Aerial photographs
Swampy terrain	2022	1.0	0.5	Aerial photographs
Urban area	2022	1.0	0.15	Aerial photographs

Source: own study.

Analyses were conducted for 3 types of vehicles that are widely used in the Polish Armed Forces: Star 266, HMMWV (High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle; colloquially: Humvee) and armoured personnel carrier Rosomak. These vehicles are used for different purposes (from delivery and transport to combat), so their structure is different. Their pictures are shown in Figure 2.



Figure 2. Analysed vehicles: (a) Star 266<sup>25</sup>; (b) HMMWV<sup>26</sup>; (c) Rosomak<sup>27</sup>

Source: own study.

<sup>24</sup> W. Dawid, K. Pokonieczny, *Analysis of the Possibilities...*, op. cit.

<sup>25</sup> J. Brach, *Star 266 – Modernization Projects*.

<sup>26</sup> Military.com, “High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle (HMMWV).”

<sup>27</sup> “KTO Rosomak.”



In terms of passability, the most important characteristics of these vehicles are their traction parameters, in particular ground clearance, track width, and wheelbase. These parameters are used in the developed methods of analysing passability and pathfinding to identify impassable (NO-GO) areas or access routes. The parameters for specific vehicles are presented in Table 2.

Table 2. Traction parameters of vehicles utilized in the analysis

Parameter	Star 266	Humvee	Rosomak
Ground clearance [m]	0.33	0.43	0.43
Track width [m]	2.00	1.82	2.45
Wheelbase [m]	2.99	3.30	1.40 1.70 1.45

Source: own study.

It is worth noting, that the Rosomak vehicle is equipped with 4 axles and Table 2 shows the distances between them starting from the front of the vehicle.

### 2.3. METHODOLOGY OF DETERMINING TERRAIN PASSABILITY

As it has been mentioned before, the determination of land passability on the detailed level consists of two stages: Identifying the areas that are impassable for the given vehicle and finding paths between points for the vehicle. The methodology of the conducted analyses will be explained in detail based on the flow chart presented in Figure 3.

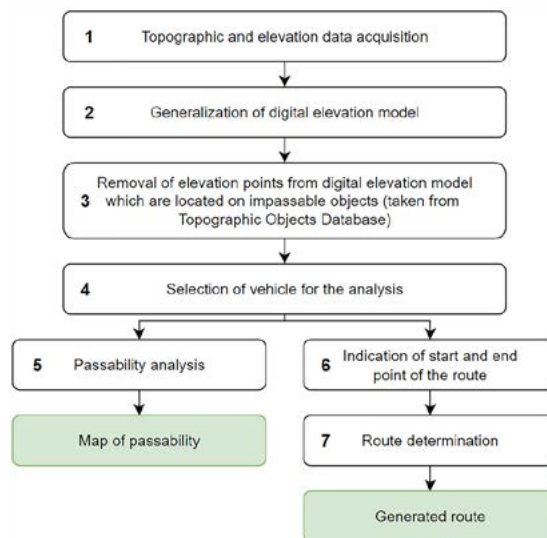


Figure 3. The flow chart of determining terrain passability on a detailed level

Source: own study.

The whole process of determining terrain passability may be divided into several stages. Some of them are common for creating a passability map and determining the routes for the vehicle. Every stage presented in Figure 3 is described in detail in the sub-points below.

1. Acquiring topographic and elevation data

The first step consists in obtaining the data for the analysis. For the purposes of this project, both topographic and elevation data were obtained from the National Geoportal ([www.geoportal.gov.pl](http://www.geoportal.gov.pl)), where they are available free of charge. The topographic data were obtained from the Topographic Object Database at the scale of 1:10,000, and elevation data were digital terrain models of the resolution of 1 m.

2. Generalisation of the digital terrain model

Digital terrain models that are used in passability analysis and pathfinding take the form of evenly distributed elevation points, here, located at 1 m intervals. The aim of this step was to perform a reduction of these points, with the aim to, firstly, accelerate the processes that are performed at the subsequent stages, i.e., passability analysis and pathfinding, and secondly, to maintain the nature of the formation of the analysed terrain.

For the purposes of generalisation, it was assumed that areas with less diversified relief, e.g., flatlands, may be presented with the use of fewer elevation points that areas that are characterised by more diverse relief, such as hills, drainage ditches, or slopes. In the previous studies, the authors developed a method to perform such generalisation based on local terrain inclinations, or, more precisely, on their standard deviation. The specific stages of this method are presented in Figure 4.

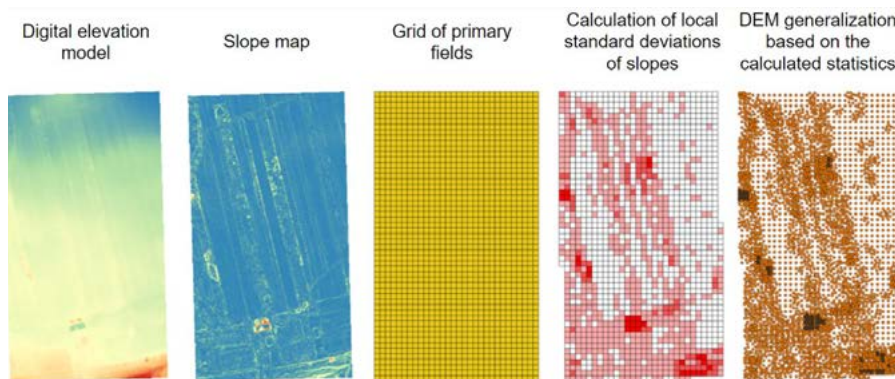


Figure 4. The process of generalisation of the digital terrain model (from left to right)

Source: own study.

The process of generalisation of the digital terrain model begins with creating a map of slopes based on the model. Then, a regular grid of primary fields is generated in the same resolution as the Digital terrain Model. For each primary field, the value

of standard deviation of the slopes in the given field is calculated. Based on these statistics, in the next step, the reduction of points of the digital terrain model is performed. The number of elevation points will be higher in areas where the slopes are more diverse. Such generalisation allows us to obtain a reduced number of elevation points, which enables to accelerate further analyses while maintaining the nature of the relief of the analysed area at the same time, as it was proven in the previous publication of the authors<sup>28</sup>. The cited article also provided a detailed description of the whole process of generalisation of the digital terrain model for the purposes of determining land passability.

### 3. Removing points situated on impassable objects from the model

The previous research conducted by the authors demonstrated that in the determination of passability on a detailed level it is pointless to perform the calculations for areas where impassable objects are situated<sup>29</sup>. As a result, analyses are not conducted in areas that vehicles cannot cross anyway, which may significantly shorten the time of the analysis. For the purposes of this study, some of the layers from the Topographic Objects Database were used to exclude impassable areas. The list of all these layers, together with the reasons why they were qualified for exclusion from the analysis, is provided in Table 3.

Table 3. Layers from the Topographic Objects Database that were assumed to be impassable

Layer code	Layer	Reason for excluding the layer as impassable
OT_BUBD	Building	They represent buildings that are permanently fixed to the ground, separated from the surrounding space with building partitions that cannot be passed by vehicles.
OT_BU SP	Sports building	
OT_BU ZT	Technical tank	
OT_KUMN	Residential estate	They represent areas where various types of buildings are located. They represent complexes of buildings and structures, facilities and internal communication systems, usually surrounded by fences. Due to that, they were excluded from further analysis.
OT_KUPG	Industrial and commercial complex	
OT_KUKO	Transportation complex	
OT_KUSK	Sports and leisure facility	
OT_KUHO	Hospitality services complex	
OT_KUHU	Street market	
OT_KUOS	Educational facility	
OT_KUOZ	Healthcare facility	
OT_KUZA	Historical complex	
OT_KUSC	Sacral facility and cemetery	
OT_OIMK	Wetland	It represents land that is periodically or permanently swampy, flooded, or covered with a layer of water as well as areas with a high level of ground waters. As the passability conditions in such areas strongly depend on the weather conditions, which are not taken into account in the study, all these areas were excluded from further analysis.

<sup>28</sup> W. Dawid, K. Pokonieczny, *Generalization of Digital...*, op. cit.

<sup>29</sup> W. Dawid, K. Pokonieczny, M. Wyszynski, *The Methodology of Determining...*, op. cit.

OT_OISZ	Rushes	It represent areas that are overgrown with tall grassy vegetation, which is present both in the coastal areas of waters and on land. Rushes are also often situated in wetlands. Due to the fact that such areas may significantly hinder the movement of vehicles, they were excluded from further analyses.
OT_PTLZ	Forests or wooded areas	It represents areas with dense tree cover, such as forests, wooded areas of parks and cemeteries, and other areas overgrown with trees. Due to the fact that it is impossible to quickly and precisely define such parameters as the distance between trees or girth at breast height, the authors assumed these areas to be impassable.
OT_PTWP	Surface waters	It represents areas covered by the waters of the sea, lakes, rivers, channels, and artificial water reservoirs, which prevents the movement of vehicles.

Source: own study.

At this stage, the elevation points that are situated in the layers listed above are removed from the digital terrain model so that they are excluded from further analyses.

#### 4. Selection of the vehicle for analysis

The next stage consists in selecting the vehicle, for which further analyses will be conducted. The traction parameters of the vehicle will become the basis both for pathfinding and for generating a terrain passability map. As it has been already mentioned, in the present study the passability was determined for 3 types of vehicles (Star, Humvee, and Rosomak). Their traction parameters are presented in Table 2. After the vehicle has been selected, the rest of the process consists in either conducting the passability analysis or finding a route between points. These stages will be described in the further sub-sections.

#### 5. Passability analysis

The first described process is the passability analysis that results in creating terrain passability maps for a specific vehicle. In general terms, the method used to determine passability checks if there is a possibility that the chassis will get stuck on the ground at any point. This method will be described based on Figure 5.

The method to determine passability for individual vehicles was described by the authors in their previous studies<sup>30</sup>. It works in this way that the points of the elevation model are, consecutively, attributed to the centre of the chassis of the analysed vehicle. Based on its parameters and depending on the direction of movement, horizontal coordinates of the wheels are calculated and terrain elevation is determined with the use of inverse distance weighting interpolation (IDW)<sup>31</sup>. The calculated heights determine the contact point of the wheels with the terrain (step 1, Figure 5). Then, a plane is fitted into the determined points and the parameters of its general

<sup>30</sup> W. Dawid, K. Pokonieczny, *Analysis of the Possibilities...*, op. cit.

<sup>31</sup> G.A. Achilleos, *The Inverse Distance Weighted Interpolation Method and Error Propagation Mechanism – Creating a DEM from an Analogue Topographical Map*.

equation are calculated (step 2, Figure 5). They enable to move the calculated plane vertically by the value of ground clearance of the analysed vehicle. As a result, a model of the chassis plane is obtained (step 3, Figure 5).

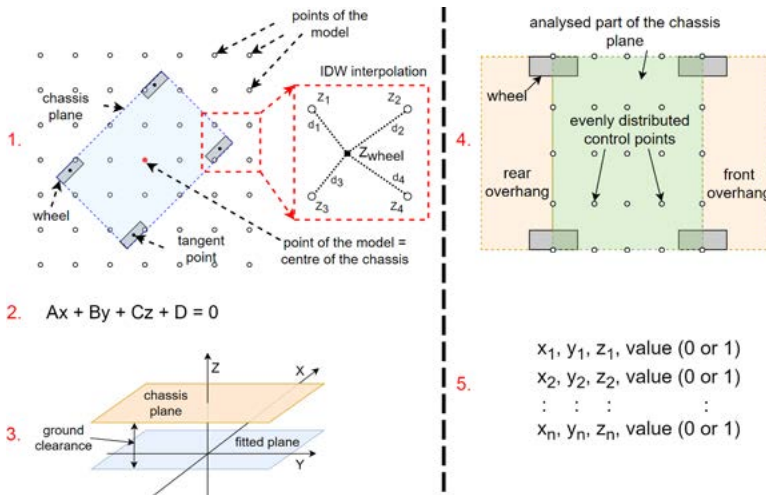


Figure 5. Workflow of the passability analysis

Source: own study.

In the next step, evenly distributed control points are generated on the chassis plane, and tests are conducted to check whether at any of these points the interpolated terrain elevation might exceed the elevation of the control point located on the chassis plane (step 4, Figure 5). If yes, it means a possibility that the vehicle’s chassis will hit the terrain, so the analysed point of the digital terrain model is classified as impassable.

As a result of the calculations, a passability map is created that presents areas that are impassable for the specific type of vehicle. Examples of such maps are provided in Figures 7–11 in Section 3. As it has been mentioned above, the detailed description of this process is provided in the previous publications by the authors<sup>32</sup>.

#### 6. Determination of the start and end points of the route

The next type of analysis that is conducted as part of determining the passability consists in generating a route for a specific type of vehicle. This process requires defining the start and end points for which the route will be determined.

#### 7. Route determination

The method that allows for the determination of a route for the vehicle based only on the generalised digital terrain model after the removal of impassable areas and on the traction parameters of vehicles was developed by the author in their previous

<sup>32</sup> W. Dawid, K. Pokonieczny, *Analysis of the Possibilities...*, op. cit.

research projects<sup>33</sup>. The general principle of functioning of this method will be described based on Figure 6.

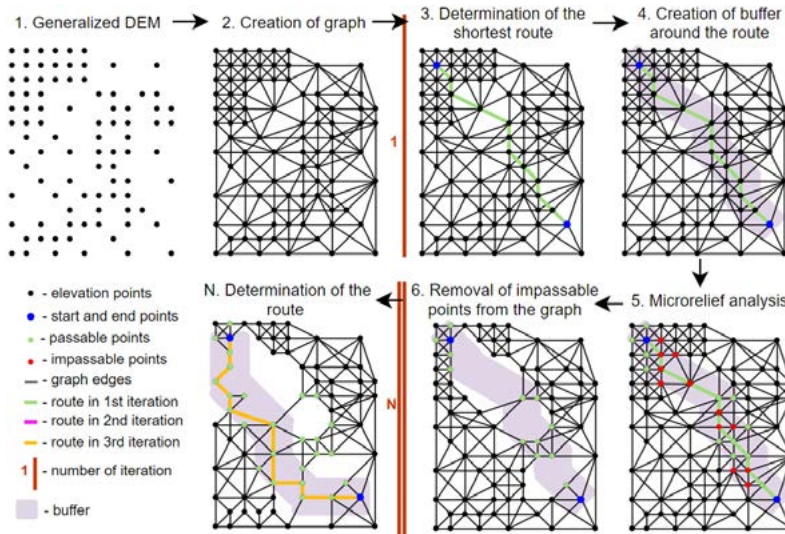


Figure 6. Workflow of the route determination process

Source: own study.

Initially, based on the elevation points (step 1, Figure 6) a graph is created, consisting of nodes and edges, where the nodes are the elevation points, and the edges are the sections that join them (step 2, Figure 6). After that, the first iteration begins: first, the shortest route between the start and end points is created (step 3, Figure 6). At the next stage, a buffer is created around that route (step 4, Figure 6). The default size of the buffer is set to 10 m, but the user of the tool may change it before starting the procedure of determining the route. The next stage consists in conducting the passability analysis for elevation points that are located inside the buffer (step 5, Figure 6). This analysis was characterised above, in the description of step 5. At the subsequent stage, elevation points that were determined to be impassable are removed from the graph (step 6, Figure 6). The iteration ends with checking whether a connection between the points exists within the buffer. If there is no such connection, the programme starts another iteration, and if a route exists, it is the result of the operation of the process (step N, Figure 6). The number of iterations depends, to a large extent, on the type of the analysed terrain. If the terrain contains many obstacles connected to micro-relief, which are impassable for the given vehicle, then the algorithm will try to find a path that will avoid these obstacles, therefore the number of iterations will increase. Due to the fact that it is impossible to define the

<sup>33</sup> Idem, *Methodology of Using...*, op. cit.

total number of iterations that are required to determine the route, the last stage is marked with the letter N in Figure 6.

A detailed description of the presented pathfinding method is provided in article<sup>34</sup>.

### 3. RESULTS

The results of the application of the methodology presented in the previous section are passability maps and routes between points. All these products were generated for 5 test areas. As far as pathfinding is concerned, the start and end points were located, approximately, in the opposite corners of the areas, to make the determined routes as long as possible. All the results are visualised in Figures 7–11.

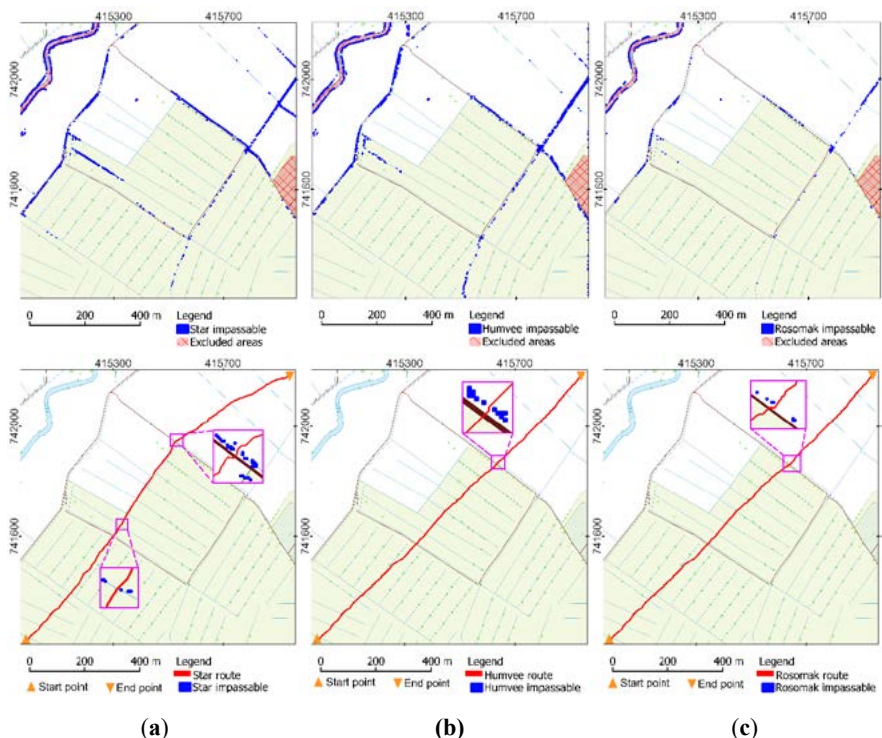


Figure 7. Agricultural terrain. Maps of passability (first row) and determined routes (second row) for: (a) Star vehicle; (b) Humvee vehicle; (c) Rosomak vehicle. Projection ETRF2000-PL / CS92 (EPSG:2180)

Source: own study.

<sup>34</sup> W. Dawid, K. Pokonieczny, M. Wszyński, *Methodology of the Iterative...*, op. cit.

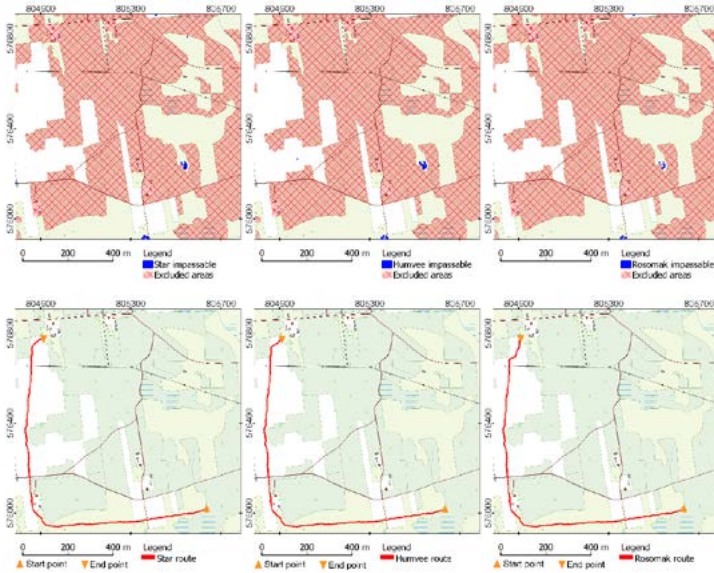


Figure 8. Forested terrain. Maps of passability (first row) and determined routes (second row) for: (a) Star vehicle; (b) Humvee vehicle; (c) Rosomak vehicle. Projection ETRF2000-PL / CS92 (EPSG:2180)

Source: own study.

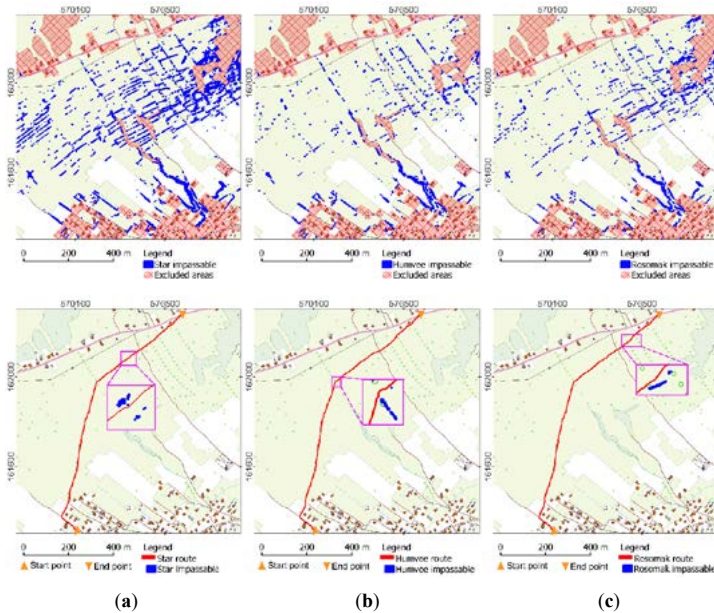


Figure 9. Hilly terrain. Maps of passability (first row) and determined routes (second row) for: (a) Star vehicle; (b) Humvee vehicle; (c) Rosomak vehicle. Projection ETRF2000-PL / CS92 (EPSG:2180)

Source: own study.



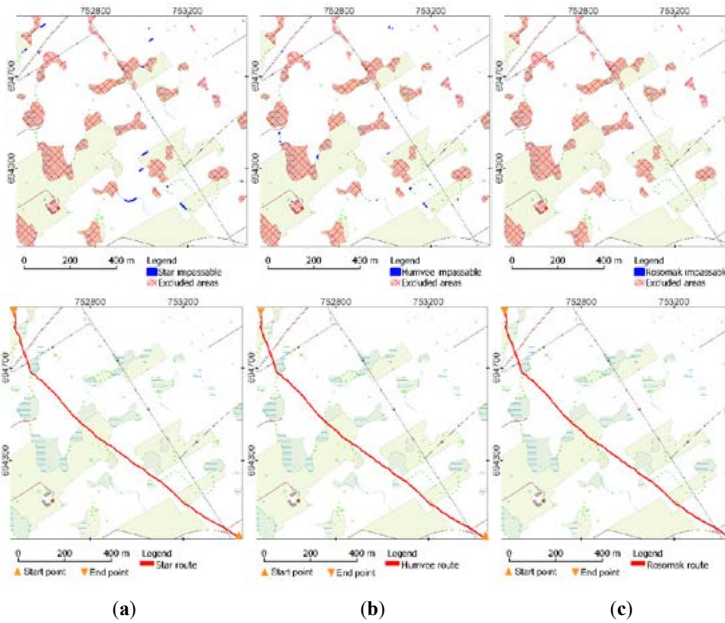


Figure 10. Swampy terrain. Maps of passability (first row) and determined routes (second row) for: (a) Star vehicle; (b) Humvee vehicle; (c) Rosomak vehicle. Projection ETRF2000-PL / CS92 (EPSG:2180)

Source: own study.

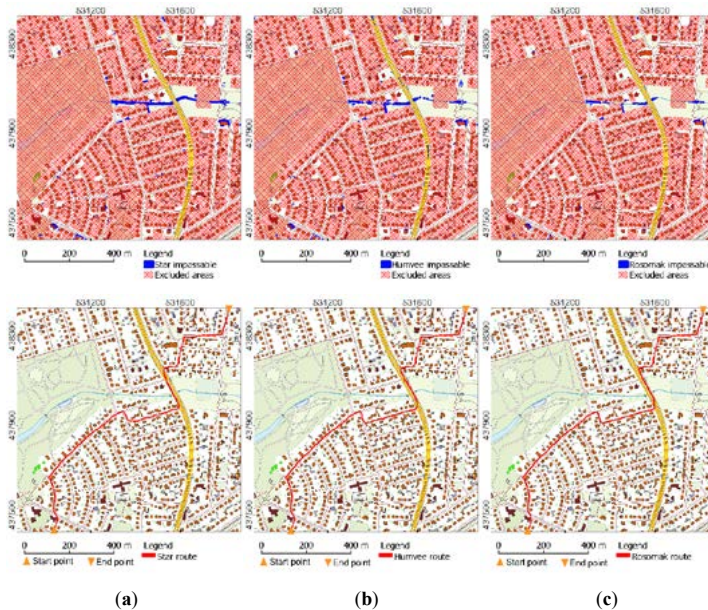


Figure 11. Urban terrain. Maps of passability (first row) and determined routes (second row) for: (a) Star vehicle; (b) Humvee vehicle; (c) Rosomak vehicle. Projection ETRF2000-PL / CS92 (EPSG:2180)

Source: own study.

The length of the determined routes and the straight-line distance between the start and end points are presented in Table 4.

Table 4. Determined route lengths in various configurations

Kind of terrain	Start – end point distance [m]	Star [m]	Humvee [m]	Rosomak [m]
Agriculture	1375.47	1448.52	1415.10	1416.98
Forest	1054.40	1643.36	1644.53	1645.80
Hilly	1076.82	1247.91	1245.83	1245.46
Swampy	1383.72	1481.68	1480.31	1480.31
Urban	1261.84	1693.65	1715.83	1709.10

Source: own study.

The share of excluded impassable objects and areas that are impassable for specific vehicles based on the analysis are presented in Table 5.

Table 5. Percentage of impassable terrain

Kind of terrain	Excluded area due to land cover [%]	Impassable for Star [%]	Impassable for Humvee [%]	Impassable for Rosomak [%]
Agriculture	1.84	0.38	0.36	0.11
Forest	59.16	0.23	0.23	0.06
Hilly	19.37	2.06	0.75	0.70
Swampy	10.94	0.03	0.01	0.00
Urban	79.36	0.21	0.12	0.07

Source: own study.

An important aspect of the conducted analyses is their efficiency. All analyses were conducted in the multiprocessing mode on a computer with the following parameters:

- CPU: 2 x Intel® Xeon® Gold 6230;
- Base speed: 2.10 GHz;
- RAM: 192 GB;
- Number of cores: 40.

The times required to generate the results are presented in Table 6. Additionally, for pathfinding, the table shows the number of iterations that were required for the algorithm to determine the route.

Table 6. Performance of the analysis (no. of iterations concerns only the route determination time)

Kind of terrain	Duration of:	Star [h:mm:ss] (no. of iterations)	Humvee [h:mm:ss] (no. of iterations)	Rosomak [h:mm:ss] (no. of iterations)
Agriculture	Passability analysis (avg)	1:13:47		
	Route determination	2:55:50 (22)	0:22:10 (1)	0:22:10 (1)
Forest	Passability analysis (avg)	0:28:18		
	Route determination	0:23:52 (1)	0:23:05 (1)	0:23:51 (1)
Hilly	Passability analysis (avg)	1:32:42		
	Route determination	0:54:08 (4)	0:37:14 (3)	0:37:03 (3)
Swampy	Passability analysis (avg)	0:59:55		
	Route determination	0:23:16 (1)	0:22:37 (1)	0:23:22 (1)
Urban	Passability analysis (avg)	0:24:06		
	Route determination	0:48:03 (6)	0:35:05 (3)	0:35:32 (3)

Source: own study.

#### 4. DISCUSSION

The obtained results revealed certain patterns that should be referenced and discussed. Table 5 presents the size of the area that was considered to be impassable. This area was excluded from the analysis generating the route. The table shows clearly that the main part of the excluded area consists of areas that were identified as impassable based on the land cover. In other areas the micro-relief revealed immeasurably smaller areas that were inaccessible for vehicles. The largest share of such areas was found in mountainous regions (0.7 - 2%), while the fewest were found in flatlands, which are practically free from terrain inclinations. In the conducted analyses, these were swampy areas (0.03% of the excluded area). These results are completely consistent with the assumptions (mountainous areas mean larger inclinations), and so are the sizes of areas that were excluded due to obstacles being elements of land cover. The largest surfaces were excluded in forest (59%) and urban areas (79%), as they contained the largest number of terrain obstacles. On the other hand, in uncovered areas, such as agricultural or swampy areas, only small parts (respectively less than 2% and 11%) were excluded as impassable areas.

As a result of the fact that certain areas were excluded based on the analysis of micro-relief, the routes differ both in shape and in length. Although these differences are small and range from several to several dozen meters, depending on the case, they affect the course of the generated routes and confirm the assumption that taking micro-relief into account allows for improved modelling of passability conditions. Although the impassable areas that were determined in the analysis of micro-relief are relatively small, they form consistent parts, often of a linear shape (see Fig. 9),

which must be avoided in order to cross the terrain without encountering obstacles that result from land inclinations. The generated routes do not differ significantly depending on the type of the analysed vehicle, either. These differences result mainly from the individual properties of the analysed areas, but also from the fact that the analysed vehicles are suitable for cross-country movement.

What is worth noting are the results that are presented in Table 6 that refer to the time of generating passability analyses. Although the analyses were conducted for relatively small areas, the whole process of generating passability maps lasted from 24 minutes to over 1.5 hours. This time depends mainly on the number of elevation points that must be analysed by the algorithm in order to check the passability conditions at the given point. Due to the fact that certain areas had been excluded based on land cover and thanks to the generalisation of the digital terrain model, the times were significantly shorter than without these procedures. What is more, for each type of terrain, determining the route for the Star truck took the longest time. This results from the fact that this type of vehicles has the worst traction parameters among all three analysed vehicles, so the most impassable areas were found during the determination of the route. This was also reflected in the number of iterations performed by the algorithm. For agricultural, hilly, and urban areas, Star needed more iterations than the other vehicles in order for an optimal route to be determined. Nevertheless, if no terrain obstacles preventing mobility were detected (the number of iterations was 1), the duration of the determination of the route was close to 23 minutes.

However, the factor that has a decisive influence on the efficiency of the analysis is the enormous number of input data in form of hundreds of thousands of elevation points in the digital terrain model that were the basis for conducting the micro-relief analysis. It should be strongly emphasised that the time of route determination may be significantly shortened by using more efficient computational infrastructure.

The maps in Figures 7–11 present the distinguished impassable areas and the generated routes for the analysed test areas:

1. Agricultural area (Fig. 7) – this area is characterised by a relatively low number of exclusions resulting from land cover elements and it is generally an open area. Areas that are impassable based on micro-relief include mainly drainage ditches, which, however, do not constitute obstacles for the vehicles with the best traction properties, i.e., Rosomak and Humvee. It is worth noting that the algorithm correctly identified the culvert that enabled the Star vehicle to cross this area.
2. The forested area (Fig. 8) is characterised by the presence of a vast impassable area. This is caused by the predominance of the forest, which was automatically and correctly (pursuant to binding standards) classified as impassable. This area practically does not contain any terrain obstacles that result from the micro-relief, so all routes follow the same path, avoiding the forest.
3. The hilly area (Fig. 9), contains numerous inclinations and steep slopes, so it is characterised by the largest area excluded based on micro-relief (in particular for the Star truck). It is worth noting that, in spite of these exclusions, the

courses of the routes are very similar. The noticeable curve in the route marks a culvert, which the algorithm used to create the path, as the areas situated near the creek proved to be impassable for all vehicles.

4. In Poland, swampy areas are situated in flatlands. This is why in the area that is presented in Figure 10 the impassable areas are almost only swamps. After passing by the swamps, the routes generated for all three analysed vehicles are almost identical.
5. Very interesting results were noted for the urban area (Fig. 11). Developed areas were marked as impassable by the algorithm. However, in the remaining part of the region, the only impassable area was the steep embankment of the water course that flows through the analysed town. Nevertheless, the generated route follows existing roads, which is characteristic for movement in areas with dense development.

## 5. CONCLUSIONS

The conducted research revealed that the presented methodology is fully automatic and that it allows for the determination of impassable areas for various vehicles in various types of terrain. The process of generating passability maps was divided into two stages. The first stage involves the analysis of land cover elements that form natural or anthropogenic terrain obstacles. Adopting this assumption allowed the analysis to become more efficient, because only the remaining areas were qualified to be analysed in the second phase, which consists in analysing the micro-relief. This is the most demanding process from the computational point of view or in terms of determining the routes. Considering that, in areas with diverse land cover, the parts that are excluded at the first stage of the process may cover even as much as 80% of the whole surface area, this prevents us from conducting pointless micro-relief analysis in the whole area of interest. This approach to the issue of modelling land passability takes into consideration the situation where an area that is open and apparently easy to pass still contains terrain obstacles in form of elements of micro-relief. It should be emphasised very strongly that the developed algorithms are fully configurable and that they allow both changing the traction parameters of the vehicles (in order to adapt them to other types and models of vehicles) and the data that are used for passability analysis. In the present methodology, the data used originated from the Topographic Objects Database. However, nothing prevents the user from applying data obtained from military databases (such as Vector Map Level 2<sup>35</sup>) or other data sources (e.g., OpenStreetMap<sup>36</sup>). The versatility of sources of spatial data that may be use is extremely important considering the possibility of using the described algorithms in areas located outside the territory of Poland. A limitation of the proposed solution may be the relatively long time of generating the ultimate route. However, this disadvantage will be reduced by optimising the data processing

<sup>35</sup> "Military specification MIL-V-89032 Vector Smart Map (VMAP) Level 2."

<sup>36</sup> J. Jokar Arsanjani et al., *An Introduction to OpenStreetMap in Geographic Information Science*.

algorithms and increasing the computational power of the hardware platform used. It is worth noting that, thanks to the application of simultaneous processing techniques, the described methodology is scalable and very sensitive to increasing computational power of the platform used.

A noticeable disadvantage of the research is the lack of field verification of the obtained results. In further research projects, the authors are planning to verify the results on site, with the use of real vehicles and compare them with results obtained from other methods.

Apart from improving the efficiency, the described system will be further developed with the aim to include other factors that influence passability (such as weather or soil conditions) in the analysis.

## REFERENCES

Achilleos G.A., *The Inverse Distance Weighted Interpolation Method and Error Propagation Mechanism – Creating a DEM from an Analogue Topographical Map*, “Journal of Spatial Science” 2011, no. 2(56), p. 283–304, <https://doi.org/10.1080/14498596.2011.623348>.

Brach J., *Star 266 – Modernization Projects*, 2018, <http://www.magnum-x.pl/artykul/star-266-projekty-modernizacji-czesc-ii>.

Bradbury M., Dasch J., Gonzalez-Sanchez R., Hodges H., Iagnemma K., Jain A., Jayakumar P., et al., *Next-Generation NATO Reference Mobility Model (NRMM) Development*, STO Exploratory Team, 2018.

Dawid W., Pokonieczny K., *Analysis of the Possibilities of Using Different Resolution Digital Elevation Models in the Study of Microrelief on the Example of Terrain Passability*, “Remote Sensing” 2020, no. 12(24), <https://doi.org/10.3390/rs12244146>.

Dawid W., Pokonieczny K., *Generalization of Digital Elevation Models for Military Passability Maps Development*, “Advances in Cartography and GIScience of the ICA” 2023, no. 4, p. 1–8, <https://doi.org/10.5194/ica-adv-4-6-2023>.

Dawid W., Pokonieczny K., *Methodology of Using Terrain Passability Maps for Planning the Movement of Troops and Navigation of Unmanned Ground Vehicles*, “Sensors” 2021, no. 14(21), <https://doi.org/10.3390/s21144682>.

Dawid W., Pokonieczny K., Wszyński M., *Methodology of the Iterative Route Determination Process for the Purposes of Military Passability*, 2023, <https://doi.org/10.1109/ICMT58149.2023.10171260>.

Dawid W., Pokonieczny K., Wszyński M., *The Methodology of Determining Optimum Access Routes to Remote Areas for the Purposes of Crisis Management*, “International Journal of Digital Earth” 2022, no. 1(15), p. 1905–28, <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2134936>.

Dohnal F., Hubacek M., Simkova K., *Detection of Microrelief Objects to Impede the Movement of Vehicles in Terrain*, “ISPRS International Journal of Geo-Information” 2019, no. 3(8), p. 101–16, <https://doi.org/10.3390/ijgi8030101>.

Dohnal F., Hubacek M., Sturcova M., Bures M., Simkova K., *Identification of Microrelief Shapes along the Line Objects over DEM Data and Assessing Their Impact on the Vehicle Movement*, [in:] "2017 International Conference on Military Technologies (ICMT)", p. 262–67, Brno, Czech Republic: IEEE, 2017, <https://doi.org/10.1109/MILTECHS.2017.7988767>.

"Field Manual 5-33 Terrain Analysis", Headquarters, Department of US Army, 1990.

Hubáček M., Kovarik V., Kratochvil V., *Analysis of Influence of Terrain Relief Roughness on DEM Accuracy Generated from Lidar in The Czech Republic Territory*, "ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences" 2016, XLI-B4, p. 25–30, <https://doi.org/10.5194/isprarchives-XLI-B4-25-2016>.

Hubáček M., Almášiová L., Dejmal K., Mertová E., *Combining Different Data Types for Evaluation of the Soils Passability*, [in:] *The Rise of Big Spatial Data*, edited by I. Ivan, A. Singleton, J. Horák, T. Inspektor, p. 69–84, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Cham: Springer International Publishing, 2017, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45123-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45123-7_6).

Hubáček M., Kovarik V., Talhofer V., Rybansky M., Hofmann A., Břeňová M., Čeplová L., *Modelling of Geographic and Meteorological Effects on Vehicle Movement in The Open Terrain*, 2016.

Jayakumar P., Mechergui D., Wasfy T.M., *Understanding the Effects of Soil Characteristics on Mobility*, August 6, 2017, <https://doi.org/10.1115/DETC2017-68314>.

Jokar Arsanjani J., Zipf A., Mooney P., Helbich M., *An Introduction to OpenStreetMap in Geographic Information Science: Experiences, Research, and Applications*, [in:] *OpenStreetMap in GIScience: Experiences, Research, and Applications*, edited by Jamal Jokar Arsanjani, Alexander Zipf, Peter Mooney, and Marco Helbich, 1–15, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Cham: Springer International Publishing, 2015, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-14280-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-14280-7_1).

"KTO Rosomak" 2023, [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=KTO\\_Rosomak&oldid=1190715902](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=KTO_Rosomak&oldid=1190715902).

Maclaurin B., *Comparing the NRMM (VCI), MMP and VLCI Traction Models*, "Journal of Terramechanics" 2007, no. 1(44), p. 43–51, <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2006.01.005>.

"Military specification MIL-V-89032 Vector Smart Map (VMAP) Level 2", National Imagery and Spatial Agency, 1993.

Military.com, "High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle (HMMWV)", 2014, <https://www.military.com/equipment/high-mobility-multipurpose-wheeled-vehicle-hmmwv>.

"NO-06-A015:2012, Terrain – Rules of Classification – Terrain Analysis on Operational Level", Polish Ministry of National Defence, 2012.

Pokonieczny K., *Automatic Military Passability Map Generation System*, [in:] "2017 International Conference on Military Technologies (ICMT)", p. 285–92, <https://doi.org/10.1109/MILTECHS.2017.7988771>.

Pokonieczny K., *Methods of Using Self-Organising Maps for Terrain Classification, Using an Example of Developing a Military Passability Map*, [in:] *Dynamics in GIsience*, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Cham, 2017, p. 359–71, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61297-3\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61297-3_26).

Pokonieczny K., *Use of a Multilayer Perceptron to Automate Terrain Assessment for the Needs of the Armed Forces*, "ISPRS International Journal of Geo-Information" 2018, no. 7(11), <https://doi.org/10.3390/ijgi7110430>.

Pokonieczny K., Borkowska S., *Using High Resolution Spatial Data to Develop Military Maps of Passability*, 2019, <https://doi.org/10.1109/MILTECHS.2019.8870022>.

Pokonieczny K., Mościcka A., *The Influence of the Shape and Size of the Cell on Developing Military Passability Maps*, "ISPRS International Journal of Geo-Information" 2018, no. 7, <https://doi.org/10.3390/ijgi7070261>.

Rybansky M., *Soil Trafficability Analysis*, [in:] "International Conference on Military Technologies (ICMT) 2015", 1–5, <https://doi.org/10.1109/MILTECHS.2015.7153728>.

Rybansky M., *Determination of Forest Structure from Remote Sensing Data for Modeling the Navigation of Rescue Vehicles*, "Applied Sciences" 2022, no. 8(12), <https://doi.org/10.3390/app12083939>.

Rybansky M., *Effect of the Geographic Factors on the Cross Country Movement During Military Operations and the Natural Disasters*, edited by V. Rerucha, Univ Defence, Brno 2007.

Rybansky M., Brenova M., Cermák J., Genderen van J., Sivertun Å., *Vegetation Structure Determination Using LIDAR Data and the Forest Growth Parameters*, "IOP Conference Series: Earth and Environmental Science" 2016, no. 37, 012031, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012031>.

Rybansky M., Hofmann A., Hubacek M., Kovarik V., Talhofer V., *Modelling of Cross-Country Transport in Raster Format*, "Environmental Earth Sciences" 2015, no. 10(74), p. 7049–58, <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4759-y>.

Rybansky M., Vala M., *Relief impact on transport*, 2010.



**Anna MICHALSKA**

Polish Air Force University  
 e-mail: a.michalska@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0002-9292-589X

**Daniel MICHALSKI**

Polish Air Force University  
 e-mail: d.michalski@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0001-8202-6738

**Stepan SAVCHUK**

Polish Air Force University  
 e-mail: s.savchuk@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0002-2475-9666

DOI: 10.55676/asi.v3i1.67

## RELIABILITY OF UNMANNED AERIAL VEHICLES: WINGLETS' ISSUE

NIEZAWODNOŚĆ BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH:  
ZAGADNIENIE WINGLETÓW

### Abstract

The reliability of the military equipment determines the possibility of the success of the mission. This paper focuses on identifying damage to Unmanned Aerial Vehicles during their operation. The research problem was expressed by the question: which UAV elements are most often damaged, and what causes it? The research is based on the analysis of technical documents, an electronic damage archiving system, and manufacturer documentation. These studies were complemented by empirical research conducted at the 12th Unmanned Aerial Vehicles Base in Mirosławiec, Poland. The initial phase involved identifying damages affecting the operation of Unmanned Aerial Vehicles. Subsequently, the reliability measure was determined for the repairable two-state object, excluding repair time.

**Keywords:** Unmanned Aerial Vehicle; drone, reliability, exploitation

### Streszczenie

Niezawodność sprzętu wojskowego decyduje o możliwości powodzenia misji. W artykule skupiono się na identyfikacji uszkodzeń bezzałogowych statków powietrznych podczas ich eksploatacji. Problem badawczy wyrażał się w pytaniu: które z elementów UAV ulegają najczęściej uszkodzeniom i co jest tego przyczyną? Badania opierają się na analizie dokumentacji technicznej elektronicznego systemu archiwizacji uszkodzeń oraz dokumentacji producenta. Uzupełnieniem tych badań były badania empiryczne prowadzone w 12. Bazie Bezzałogowych Statków Powietrznych w Mirosławcu. W początkowej fazie zidentyfikowano uszkodzenia mające wpływ na działanie bezzałogowych statków powietrznych. Następnie wyznaczono miarę niezawodności naprawialnego obiektu dwustanowego, z wyłączeniem czasu naprawy.

**Słowa kluczowe:** bezzałogowe statki powietrzne, drony, niezawodność, eksploatacja

## 1. INTRODUCTION

Both the military and civilian sectors have recognized the potential of unmanned aerial vehicles (UAVs) or drones. This is evidenced by the growing interest of business and security leaders. In the civilian market, the estimated global value of UAVs from 2017 to 2026 exceeds \$73.5 billion, equivalent to the annual GDP of Lithuania and Latvia combined<sup>1</sup>. The significant potential for their use in combat, their impact on operational military doctrine<sup>2</sup>, coupled with their relatively low cost (many times less than manned aircraft), has aroused growing interest in developed and developing countries.

These trends are reflected in the Technical Modernization Plan of the Polish Armed Forces, where UAVs are prominently featured in three main operational priorities: Image and Satellite Reconnaissance, Missile and Artillery Forces Modernization (as additional equipment to the missile system), and the task of Circulating Ammunition of the Warmate type<sup>3</sup>. Undoubtedly, the role of UAVs in combat will continue to grow with technological advancements. Ongoing efforts aim to equip UAVs with artificial intelligence<sup>4</sup>, develop concepts for their collaboration with crewed machines, and deploy them in swarm formations<sup>5</sup>. The increasing significance of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and their proliferation<sup>6</sup> on the battlefield underscores the need for research on their operational aspects, with a particular focus on reliability<sup>7</sup> and faultlessness<sup>8</sup>. In this context, the presented article addresses the issue of identifying the most common damages to UAVs, which significantly impact their operational processes. The research was conducted using an unmanned aerial vehicle of the Orbiter 2B type. The study's results reflect existing documents and data from an electronic damage archiving system. Furthermore, empirical research was carried out at the 12th Unmanned Aerial Vehicles Base in Mirosławiec<sup>9</sup>. The identification of damages affecting the functioning of unmanned aerial vehicles and the monitoring of the structural condition (especially crucial for flight safety) are of paramount importance in the exploitation process.

<sup>1</sup> Ministerstwo Infrastruktury, Polski Instytut Ekonomiczny, Biała Księga Rynku Bezzałogowych Statków Powietrznych, Warszawa, luty 2019.

<sup>2</sup> P. Bernat, *Unmanned Aerial Vehicles and Their Growing Role in Shaping Military Doctrine*, "Security Forum" 2018, no. 2(1), pp. 77–90, DOI: 10.26410/SF\_1/18/7.

<sup>3</sup> Ocena stanu realizacji Planu Modernizacji Technicznej Sił Zbrojnych RP na lata 2013–2022, 2017–2026 i 2021–2035 według stanu na dzień 13 października 2019.

<sup>4</sup> M.A. Lahmeri, M.A. Kishk, M.S. Alouini, *Artificial intelligence for UAV-enabled wireless networks: A survey*, "IEEE Open Journal of the Communications Society" 2021, no. 2, pp. 1015–1040.

<sup>5</sup> W. Chen, J. Liu, H. Guo, N. Kato, *Toward robust and intelligent drone swarm: Challenges and future directions*, "IEEE Network" 2020, no. 34(4), pp. 278–283.

<sup>6</sup> M. Fuhrmann, M.C. Horowitz, *Droning on: Explaining the proliferation of unmanned aerial vehicles*, "International Organization" 2017, no. 71(2), pp. 397–418.

<sup>7</sup> A. Michalska, *Introduction to Reliability Tests of Unmanned Aircraft Used in the Armed Forces of the Republic of Poland*, "Safety & Defense" 2019, no. 5(2), pp. 54–61.

<sup>8</sup> E. Petritoli, F. Leccese, L. Ciani, *Reliability and maintenance analysis of unmanned aerial vehicles*, "Sensors" 2018, no. 18(9), p. 3171, doi: 10.3390/s18093171, PMID: 30235897, PMCID: PMC6165073.

<sup>9</sup> D. Bogusz, *Porty lotnicze i morskie*, LAW, Dęblin 2023, doi: 10.55676/66514-68-3.

## 2. RESEARCH METHODS

The main objective of the research was to identify the most frequent critical damage to unmanned aerial vehicles during their operation. The research problem was expressed by the question: which of the UAV elements are most often damaged, and what are the causes of it? The research was conducted based on an analysis of technical documents, an electronic system for archiving damage, and manufacturer's documentation. These studies were supplemented by empirical research in the form of a diagnostic survey conducted at the 12th Unmanned Aerial Vehicle Base in Mirosławiec.

A collection of information and technical data gathered using the SAMANTA system supporting exploitation control allowed for the development of evidence and mathematical experience in calculating reliability – a measure of faultlessness – utilizing renewal theory. This system serves as an electronic data archiving and operational control support system<sup>10</sup>. The SAN/SAMANTA system aids the user in managing the operation of aviation technology, allowing for the recognition of signs indicating changes in the reliability, safety, and quality of the operation processes of aircraft<sup>11</sup>. It also determines recommended directions for preventive actions<sup>12</sup>.

The SAN/SAMANTA BIS system consists, among other things, of local computerized databases installed in aviation units and repair facilities. These databases accumulate knowledge regarding the course of operation for each instance of an aircraft. The acquired data includes information about the registration and operational status of aircraft, their components, and subcomponents, along with details about their rotation and the functioning of individual instances of aircraft, components, and aggregates, among other things. The collected information is transmitted to collective databases at higher levels of aviation technology management and the central bank. Furthermore, after processing, the data is utilized according to the needs of direct users. Data emanating from each computer station is automatically compressed and encoded. Using the SAN/SAMANTA BIS system allows for assessing aircraft operation, considering the detectability of damages and the effectiveness of preventive measures, technical readiness of aircraft, flight safety levels in technical aspects, and support for the work of aviation incident investigation committees<sup>13</sup>. It facilitates estimating the actual workload (resources) and the processes of managing resource-related activities<sup>14</sup>. The reliability level and quality of the aircraft operation process are assessed using adopted indicators and characteristic analyses. During the

<sup>10</sup> R. Kaleta, J. Niczuj, A. Bryzek, *Zarządzanie procesami eksploatacyjnymi z wykorzystaniem systemów informatycznego wsparcia eksploatacji statków powietrznych*, "Autobusy" 2016

<sup>11</sup> R. Kaleta, M. Zieja, A. Bryzek, *Informatyczne wspomaganie procesu eksploatacji wojskowych statków powietrznych*, TRANSCOMP – XIV International Conference Computer Systems Aided Science. Industry and Transport, 6-9.12.2010 Zakopane, "Logistyka" 2010, no. 6, s. 1291–1300.

<sup>12</sup> R. Kaleta, M. Witoś, M. Zieja, *Systemy informatyczne wsparcia Lotnictwa Sił Zbrojnych RP*, "Logistyka" 2014, no. 6.

<sup>13</sup> M. Zieja, H. Smoliński, P. Gołda, *Information systems as a tool for supporting the management of aircraft flight safety*, "Archives of Transport" 2015, no. 36(4), pp. 67–76.

<sup>14</sup> A. Maziar, *Classification of unmanned aerial vehicles*, Mech Eng 2016.

compilation of operational data from the SAN/SAMANTA system, details regarding damages incurred by all Orbiter 2B devices were gathered over three years, spanning from the latter half of 2016 to the initial half of 2019. The dataset encompasses the following:

1. The count of damages recorded between 2016 and 2019.
2. Categorization into ground and air damage.
3. In-depth particulars concerning damages and the subsequent remediation procedures applied.
4. The overall count of flights.
5. The cumulative repair duration for specified components.
6. The count of take-offs and landings for the entire fleet within a specific year.
7. The total planned raid count for all UAVs.
8. The actual count of flights undertaken by all UAVs.
9. The nature of the service performed.

Following a comprehensive analysis of the amassed data and the cataloging of damages over the three-year period, specific insights were garnered regarding the frequency of damages for individual elements.

Empirical studies using a survey method were focused on individuals involved in the usage and operation issues. Thanks to these conducted studies, a realistic picture and qualitative reflection of UAV exploitation quality were obtained. The expert group participating in the survey comprised 30 individuals, with respondents being soldiers, including women and men. Responses were provided by experts serving in positions related to the operation and use of unmanned aerial vehicles. Additionally, six surveys were excluded from the study, including three due to respondents lacking involvement with the Orbiter 2B UAV and 3 for the unreliability of responses to the posed questions.

Research limitations concerned the diagnostic survey, including estimating the size of the research group, statistical error, and representativeness. This is due to the sensitive nature of information about the completion of the military unit where the research was conducted, affecting the safety and defense of the state. Furthermore, the study covered only one type of unmanned aerial vehicle, namely the Orbiter 2B. It is emphasized that the chosen type of UAV constitutes the vast majority used in the Polish Armed Forces. The decision was made to calculate exclusively for the reliability measure, which describes individual elements without considering the UAV as a complete structure. Exploitation data were entered into the SAMANTA system only from the second half of 2016 onwards, so the observation period was limited to that time.

### 3. MAIN CRITICAL DAMAGE OF UAVS

The analysis of the survey conducted with specialists in the field of unmanned aerial systems operations allowed, for the first time, the determination of which element of UAVs is the most unreliable. In the survey, it was established that the minimum

required experience in the field of UAVs operation is one year. The chart below illustrates the survey participants' responses, utilizing survey techniques for the first posed question regarding the most common primary cause of malfunction in unmanned aerial vehicles.

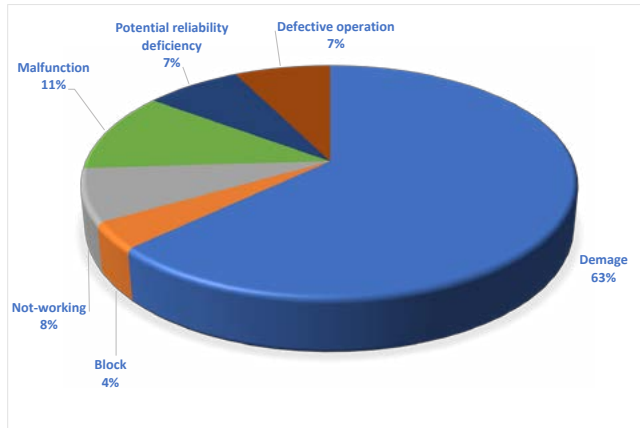


Figure 1. Percentage of the answer to the most common primary cause of malfunction in unmanned aerial vehicles

Source: own work.

This means that 63% of the surveyed individuals believe that the leading cause is damage, characterized by the loss of the object's fitness for further operation. Damage occurs when the parameters of the unmanned aerial vehicle are beyond the norm or exceed its critical strength values. The next question determined which structural elements, according to the respondents, are most commonly subject to damage.

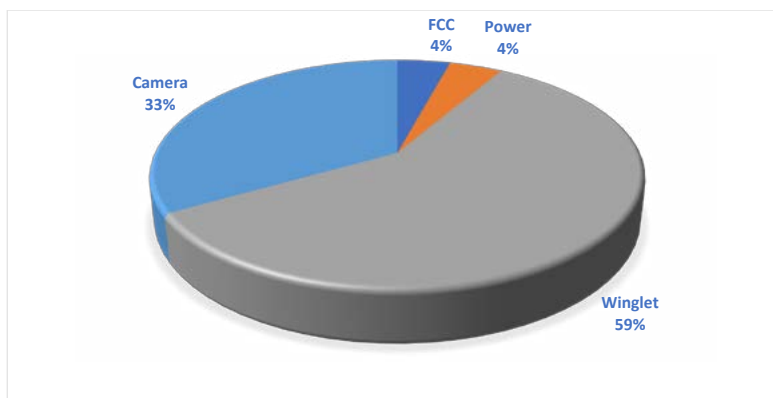


Figure 2. Percentage representation of the answer to which structural element of the UAV is most often damaged

Source: own work.

According to the data presented in Figure 2, it is evident that the most frequently damaged part is the winglet. It should be noted that the camera head response is 33%, the power supply is 4%, and FCC (Fly Control Computer) is 4%. These do not meet the criterion and are not part of the structure. Nevertheless, to highlight the differences and correctness, it was decided to present the included survey responses. The initial analysis of the research conducted based on the survey reveals that the main damages occurring in the unmanned aerial vehicle relate to damage to the skin elements. Studies on the most damaged element of the UAVs were conducted based on technical documentation analysis. The chart below presents the results regarding the quantity of damages and allows for identifying the most unreliable elements.

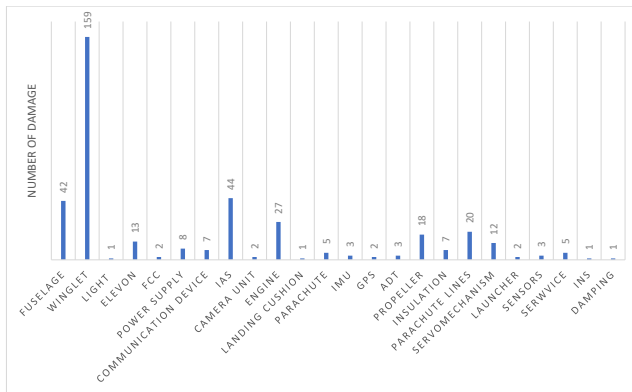


Figure 3. Analysis of SAMANTA system data, damage in the total observation time 2016–2019  
Source: own work.

As a result of the conducted data analysis, it was decided to identify one element with the highest damage occurrence: Winglets in 37% of incidents.

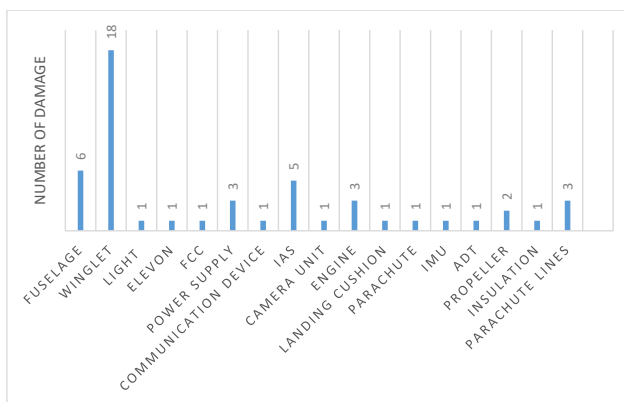


Figure 4. UAVs damage in 2016  
Source: own work.

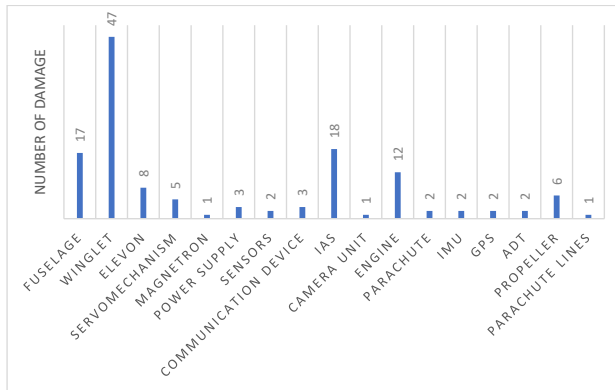


Figure 5. UAVs damage in 2017

Source: own work.

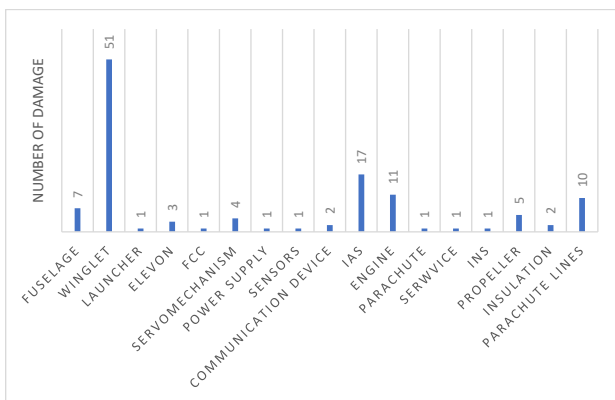


Figure 6. UAVs damage in 2018

Source: own work.

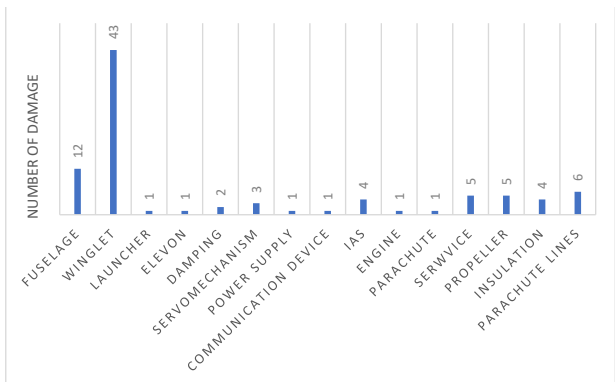


Figure 7. UAVs damage in 2019

Source: own work.

Based on the charts in Figure 4–7, it can be inferred that each year, regardless of internal and external factors, the most damage is associated with the skin (winglet). There was no observed situation in which there was an accumulation of damage instances (winglet) in one year. This means that the element was not deemed unfit multiple times, only within a specific period (one year), and did not exceed the damage to the elements chosen by the author. In another case, it would be challenging to determine whether such an element is the most reliable, and there is a need for reliability studies, or if there was only a problem, for example, with a defective batch of elements. Based on the presented research results, it was decided to analyze further that the most reliable elements of the unmanned aerial vehicle are the winglets. Further analysis was focused solely on studying the reliability of this element.

#### 4. ANALYSIS OF UAV'S DAMAGE CAUSES

Analyzing the causes results in a targeted resolution of identification problems or events. The effectiveness of the analysis arises from eliminating the actual causes of the problems rather than conflating the causes with apparent symptoms. By directing corrective and preventive actions to the appropriate areas, one can expect the probability of problem recurrence to be minimized. However, it is recognized that preventing the causes from recurring entirely due to a single intervention is impossible. Hence, the repair process is often perceived as a tool for continuous analysis.

The following damage analysis was conducted during the observation period of the unmanned aerial vehicle type Orbiter. By pinpointing the most unreliable UAVs components and identifying their root causes, it is possible to influence the determination of problem resolution or defect elimination. This is considered absolutely necessary for enhancing reliability.

According to the classification established in the military unit, damages have been cataloged into two main categories. The first category includes ground damages resulting from the operational use of BSP (Base Station Processor) during maintenance activities (e.g., maintenance time, garage/hangar storage, downtime, etc.). In contrast, the second category consists of damages occurring during the aerial vehicle's operation, for example, during the flight phase. The percentage distribution of occurrence of these two categories are presented in Figure 8. Additionally, the documentation identifies 16 classifications of factors influencing BSP damages, out of which only four occurred during the observed 3-year period:

1. Technical wear and tear: The wear and tear of BSP components or subassemblies during its operation necessitates premature replacement.
2. Failure to maintain technical parameters: When the aircraft, its installations, or systems fail to maintain the required technical parameters, possibly due to misalignment or misconfiguration.
3. Adverse impact of weather conditions on aircraft operations: When unexpected entry into hazardous weather phenomena affects BSP operations.
4. Aviation incidents, such as platform disappearance.



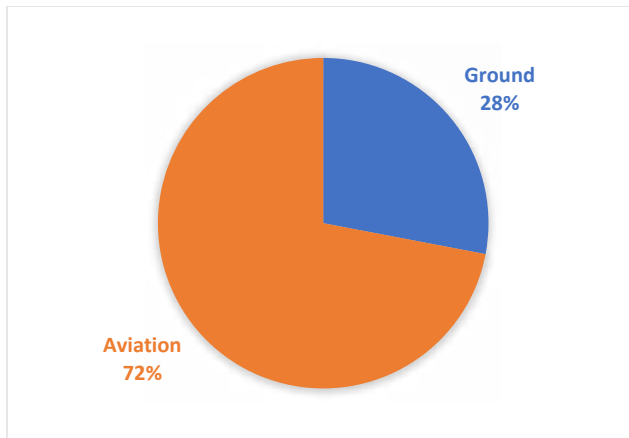


Figure 8. Classification of the damage on aviation and ground. SAMANTA data analysis over a three-year period

Source: own work.

During the survey, BSP Orbiter 2B operators provided the following responses to the same question: out of 24 individuals, 23 indicated the same phase – the flight phase (with a particular emphasis on landing). This implies that the majority of damages were classified as aviation-related.

In the conducted research, the flight time of BSP was identified as the period during which the highest number of damages occurred. The flight time of BSP encompasses all activities from takeoff to landing. Therefore, based on survey data, it was determined that damages most frequently occur during the landing phase.

In summary, the analysis of causes impacting the reliability of selected damages took into account the influence of the number of occurrences during the unmanned aerial vehicle's operational time (landing phase). According to literature others factors such as human<sup>15</sup> or weather conditions<sup>16</sup> can be taken into account as well but this is not a subject of this paper.

## 5. UNRELIABILITY MEASURES

During the operation, the reliability properties of unmanned aerial vehicles are initially mapped, and the assumed reliability measures are checked. As a result, this allows for quick modernization and the introduction of changes already at the design stage.

<sup>15</sup> D. Doroftei, G. De Cubber, H. De Smet, *Reducing drone incidents by incorporating human factors in the drone and drone pilot accreditation process*, [in:] *Advances in Human Factors in Robots, Drones and Unmanned Systems: Proceedings of the AHFE 2020 Virtual Conference on Human Factors in Robots, Drones and Unmanned Systems*, July 16-20, 2020, Springer International Publishing, USA 2021, pp. 71–77.

<sup>16</sup> M. Gao, C.H. Hugenholtz, T.A. Fox, M. Kucharczyk, T.E. Barchyn, P.R. Nesbit, *Weather constraints on global drone flyability*, "Scientific Reports" 2021, no. 11(1), p. 12092.

Empirical research was necessary to determine the reliability measures. Based on general knowledge derived from the operational information used, data acquisition was directed towards:

1. Diagnosing reliability state.
2. Predicting reliability states.
3. Operational effectiveness.

The decision was made to use the faultlessness measure to determine the considered objects' reliability. According to the Author, this measure is the best solution for the specific calculation of the reliability of selected elements of an unmanned aerial vehicle.

Reliability shaped during the operational stage manifests itself subjectively or objectively. The subjective way reflects assessments obtained through opinions or judgments, while the objective way does so using evaluations of obtained results as a result of active or passive experiments, descriptions, indicators. Taking the above into account, during the research conducted at the 12th Base of Unmanned Aerial Vehicles, both methods were used to acquire data through the SAN/SAMANTA (operating, failures, repairs, servicing) control assistance system, technical documentation and a survey was conducted.

The essence of the research is to determine the characteristics characterizing random properties. The randomness of features of an unmanned aerial vehicle is the result of unknown and uncontrollable factors. From many considered cases, a population group is derived without the ability to obtain data from all objects. The general population is determined randomly and is also a set of finite populations subject to investigation. Since each unmanned aerial vehicle participating in the study has an equal chance of being included in the sample, it was referred to as a simple random sample. As a result, the research results were presented as a set of feature values or events that occurred.

In the literature, the determination of reliability measures has been divided into two cases. The first one is the determination of reliability measures for non-repairable elements, and the second one is for repairable elements. In the research, only the method of calculating reliability for repairable objects was adopted because objects excluded from the study after repair were re-included in the research sample.

## 6. RELIABILITY CALCULATIONS OF SELECTED COMPONENTS OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

The study involved estimating the leading distribution function, the instantaneous damage intensity function, and the instantaneous value of the reliability function using a non-parametric method. All results were subjected to non-parametric polynomial regression in specialized MATLAB software.

The study involved objects with a population of  $n = 90$ . Damages were repaired and reintroduced for further investigation. The repair time was not considered as the cumulative repair time exceeds the total operational time of the UAV.

Table 1. Repair and operational times of objects in years 2016–2019

ELEMENT	TYPE	TIME [h]
UAV	$T_{work\ BSP}$	2265h 16'
Winglets	$T_{fix\ WIN}$	255h 30'

Source: own work.

During the time interval  $[0, t_m]$ ,  $m = 156$  failures were recorded. The estimation of the expected value of the reliability function  $R(t_m)$  and confidence intervals were estimated  $[\bar{R}(t_m), \underline{R}(t_m), \beta = 0,95]$ . Based on the estimated values of the distribution of a continuous function which was constructed using MATLAB software, and its results were subjected to polynomial regression estimation. All confidence interval values for the reliability function, leading distribution function, and failure intensity were estimated using the chi-square quantiles distribution. Based on the estimates, a histogram was constructed using MATLAB software, and its results were subjected to polynomial regression estimation.

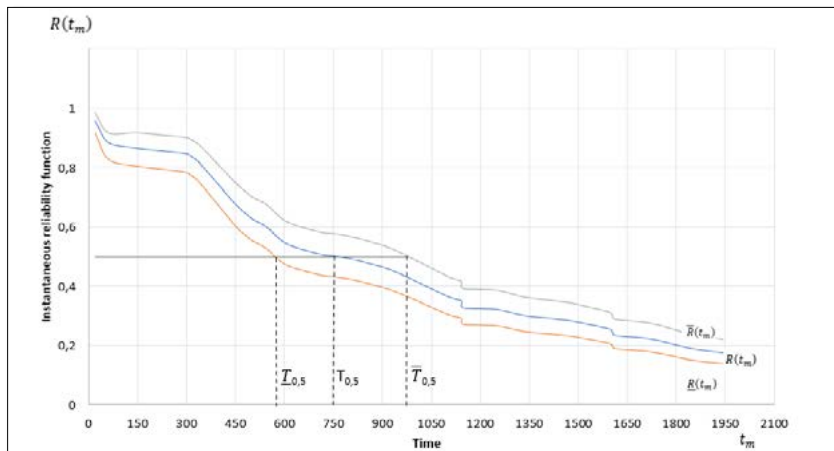


Figure 9. WINGLET Element Reliability Function

Source: own work.

The estimated quantile of order  $p = 0,5$ , representing the uninterrupted operation time of an object, is marked on the histogram. The benefits of the reliability function plot with  $p = R = 0,5$ , corresponding to the durability values  $T_{0,5}=750h$ ,  $\bar{T}_{0,5}=980h$ ,  $\underline{T}_{0,5}=583h$ , indicate that at a confidence level  $\beta = 0,95$ , the object's reliability within the time interval  $[583, 980]$  will be  $R(t_m) = 0,5$ .

The next step involved estimating the expected value of the leading distribution function  $A(t_m)$ , and confidence intervals  $[\bar{A}(t_m), \underline{A}(t_m), \beta=0,95]$ , which were performed. Based on the estimated values, a histogram was created, and the results were subjected to polynomial regression in the MATLAB program.

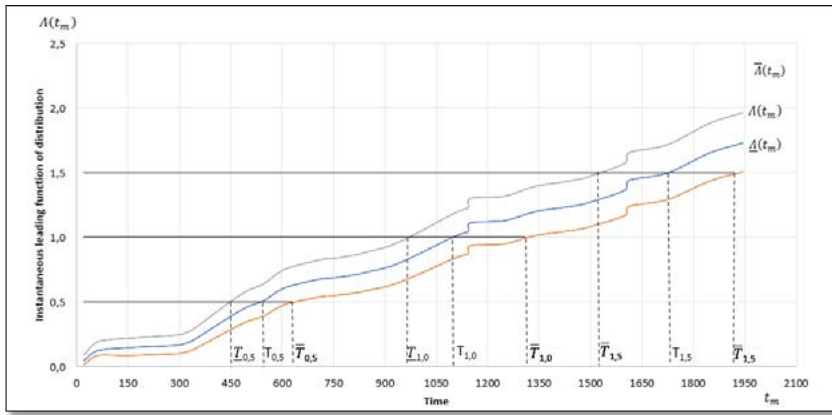


Figure 10. Leading function of the distribution of WINGLET elements

Source: own work.

Using graphical estimation based on figure 10, the expected value of the time to the  $m$ -failure and the value of the time between the  $(m-1)$  and  $m$ -failure (at 50% resource consumption) were determined as follows:

$$\begin{aligned}
 T_{0,5} &= 545h, \quad \underline{T}_{0,5} = 450h, \quad \overline{T}_{0,5} = 630h \\
 T_1 &= 1098h, \quad \underline{T}_1 = 966, \quad \overline{T}_1 = 1308h, \\
 T_{1,5} &= 1729h, \quad \underline{T}_{1,5} = 1517h, \quad \overline{T}_{1,5} = 1920h.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

The obtained results present a numerical reflection of the initial assessment of the aging of objects by determining the time of failure-free operation.

$$\begin{aligned}
 T_{m-1,m} &= T_m - T_{m-1} = T_1 - T_{0,5} = 553h \\
 \overline{T}_{m-1,m} &= \overline{T}_m - \overline{T}_{m-1} = \overline{T}_1 - \overline{T}_{0,5} = 673h \\
 \underline{T}_{m-1,m} &= \underline{T}_m - \underline{T}_{m-1} = \underline{T}_1 - \underline{T}_{0,5} = 516h \\
 T_{m-1,m} &= T_m - T_{m-1} = T_{1,5} - T_1 = 631h \\
 \underline{T}_{m-1,m} &= \underline{T}_m - \underline{T}_{m-1} = \underline{T}_{1,5} - \underline{T}_1 = 612h \\
 \overline{T}_{m-1,m} &= \overline{T}_m - \overline{T}_{m-1} = \overline{T}_{1,5} - \overline{T}_1 = 551h
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

The obtained results present a numerical reflection of the initial assessment of object aging.

In subsequent calculations, the authors approximate the aging times of the objects. For this purpose, an estimation of the instantaneous average damage intensity function,  $\lambda_w(t_m)$ , as well as confidence intervals  $[\overline{\lambda}_w(t_m), \underline{\lambda}_w(t_m), \beta=0,95]$  was performed and visualize on figure 11.

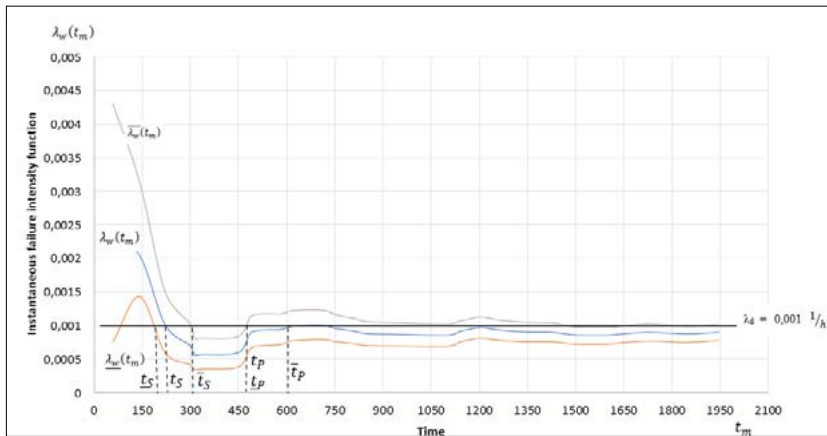


Figure 11. Value of Leading function of WINGLET elements

Source: own work.

The graphical method was used in the research, utilizing figure 11, to provide initial estimates of the aging time  $t_S$  of objects with confidence intervals, as well as the preventive action time  $t_P$  (after which preventive actions, such as component replacement, are performed) with confidence intervals, assuming an allowable intensity value of  $\lambda_d = 0,001 [1/h]$ . The obtained values for  $t_S = 222h$ ,  $\bar{t}_S = 306h$ ,  $\underline{t}_S = 187h$ , respectively, with visible extremes on the graph. Since the BSP (object) is a composite entity, these extremes indicate the presence of weak elements in the object. Therefore, it is purposeful to estimate the time for preventive actions. On the graph above, the respective values for were found  $t_P = \underline{t}_P = 474h$ ,  $\bar{t}_P = 608h$ .

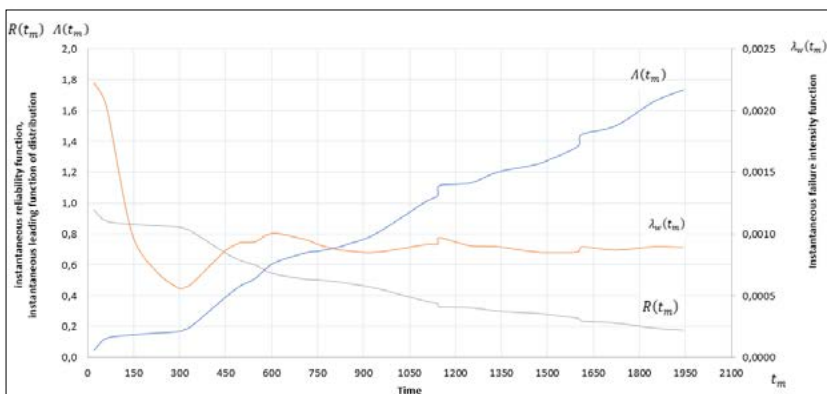


Figure 12. Comparison of instantaneous reliability function, instantaneous leading function of distribution, and instantaneous failure intensity function for winglet elements

Source: own work.

Considering the chosen winglet element as a whole and the graphical representation of the results, such as the instantaneous reliability function, the instantaneous damage intensity function, and the leading distribution function presented in figure 12, the characteristic can be divided into three parts. In the first part (up to approximately 150 flight hours), signals of a certain type try to stabilize, and it should be noted that at the beginning of the observation, there is always such a situation with a small amount of data. Furthermore, after this period, it can be preliminarily assessed that the aging process of the selected elements begins from the lower limit  $t_s = 187$  h of flight time. In the next part, a noticeable smoothed extremum can be distinguished, which arises due to the increase in instantaneous damage intensity (during 300–600 flight hours), additionally causing a 27% decrease in the instantaneous reliability of the objects within 300 flight hours, and simultaneous 45% resource consumption within 600 flight hours. Therefore, it is reasonable to carry out preventive actions between 474 and 608 flight hours. In the last part, it can be observed that with 60% resource consumption in the time interval [600–1944], the characteristics tend to stabilize the damage process (instantaneous damage intensity, instantaneous reliability, and resource consumption). Additionally, it should be noted that resource consumption is proportionally much higher than the instantaneous reliability, which exhibits a constant distribution in damage intensity. Furthermore, the authors consider the correct estimation of the object's aging by determining the time between failures with a 50% resource consumption jump, which is equal to  $T_{0,5} = 545h$ ,  $T_1 = 1098h$ , hours, and  $T_{1,5} = 1729h$ . The distribution of time between the specified intervals averages 592 flight hours.

## 7. CONCLUSION

This paper examines the reliability of unmanned aerial vehicles (UAVs) by identifying frequently damaged components and their causes. Conducted at a UAV base, the research combines analysis of technical documents, an electronic damage archiving system, and empirical studies. The results highlight the skin and winglets as the most frequently damaged UAV parts. Influencing factors include wear and tear, inadequate maintenance of technical parameters, weather conditions, and aviation incidents, with damage often occurring during flight, especially during landing.

The researchers used renewal theory and mathematical insights from the SAMANTA system, a data archiving, and operational control support system, to assess the reliability of the winglets. This system stored and analyzed operational data and revealed that winglets accounted for 37% of the damage. Further analysis categorized the damage into maintenance and flight phase damage, attributing the causes to wear, lack of maintenance, weather, and aviation incidents.

Interviews with Orbiter 2B UAV operators identified the landing phases as the most susceptible to damage. Overall, the study uses technical documentation and empirical data to increase understanding and provide critical insights to improve UAV reliability and operations.

## BIBLIOGRAPHY

- Bernat P., *Unmanned Aerial Vehicles and Their Growing Role in Shaping Military Doctrine*, "Security Forum" 2018, no. 2(1), p. 77–90, DOI: 10.26410/SF\_1/18/7.
- Bogusz D., *Porty lotnicze i morskie*, LAW, Dęblin 2023, DOI 10.55676/66514-68-3.
- Chen W., Liu J., Guo H., Kato N., *Toward robust and intelligent drone swarm: Challenges and future directions*, "IEEE Network" 2020, no. 34(4), p. 278–283.
- Doroftei D., De Cubber G., De Smet H., *Reducing drone incidents by incorporating human factors in the drone and drone pilot accreditation process*, [in:] *Advances in Human Factors in Robots, Drones and Unmanned Systems: Proceedings of the AHFE 2020 Virtual Conference on Human Factors in Robots, Drones and Unmanned Systems*, July 16–20, 2020, Springer International Publishing, USA 2021, pp. 71–77.
- Fuhrmann M., Horowitz M.C., *Droning on: Explaining the proliferation of unmanned aerial vehicles*, "International Organization" 2017, no. 71(2), pp. 397–418.
- Gao M., Hugenholtz C.H., Fox T.A., Kucharczyk M., Barchyn T.E., Nesbit P.R., *Weather constraints on global drone flyability*, "Scientific Reports" 2021, no. 11(1), 12092.
- Kaleta R., Niczaj J., Bryzek A., *Zarządzanie procesami eksploatacyjnymi z wykorzystaniem systemów informatycznego wsparcia eksploatacji statków powietrznych*, "Autobusy" 2016.
- Kaleta R., Witoś M., Zieja M., *Systemy informatyczne wsparcia Lotnictwa Sił Zbrojnych RP*, „Logistyka” 2014, no. 6.
- Kaleta R., Zieja M., Bryzek A., *Informatyczne wspomaganie procesu eksploatacji wojskowych statków powietrznych*, TRANSCOMP – XIV International Conference Computer Systems Aided Science, Industry and Transport, 6–9.12.2010 Zakopane, s. 1291–1300, "Logistyka" 2010, no. 6.
- Lahmeri M.A., Kishk M.A., Alouini M.S., (2021). *Artificial intelligence for UAV-enabled wireless networks: A survey*, "IEEE Open Journal of the Communications Society" 2021, no. 2, pp. 1015–1040.
- Michalska A., *Introduction to Reliability Tests of Unmanned Aircraft Used in the Armed Forces of the Republic of Poland*, "Safety & Defense" 2019, no. 5(2), pp. 54–61.
- Ministerstwo Infrastruktury, Polski Instytut Ekonomiczny, *Biała Księga Rynku Bezzałogowych Statków Powietrznych*, Warszawa, luty 2019.
- Maziar A., *Classification of unmanned aerial vehicles*, Mech Eng 2016.
- Ocena stanu realizacji Planu Modernizacji Technicznej Sił Zbrojnych RP na lata 2013–2022, 2017–2026 i 2021–2035 według stanu na dzień 13 października 2019.
- Petritoli E., Leccese F., Ciani L., *Reliability and maintenance analysis of unmanned aerial vehicles*, "Sensors" 2018, no. 18(9), 3171, doi: 10.3390/s18093171, PMID: 30235897, PMCID: PMC6165073.
- Zieja M., Smoliński H., Gołda P., *Information systems as a tool for supporting the management of aircraft flight safety*, "Archives of Transport" 2015, no. 36(4), pp. 67–76.





**Marcin SZTOBRYN**

 Lotnicza Akademia Wojskowa  
 e-mail: m.szobryn@law.mil.pl  
 ORCID: 0009-0004-4981-7713

DOI: 10.55676/asi.v3i1.36

## DIAGNOZA UŻYCIA SAMOLOTÓW F-35 W SIŁACH POWIETRZNYCH RP. ZARYS PROBLEMATYKI

DIAGNOSIS OF THE USE OF THE F-35 IN THE POLISH AIR FORCE.  
OUTLINE OF THE ISSUES

### Streszczenie

Dostawa 32 samolotów F-35 to ogromna szansa na skok generacyjny i jakościowy dla Sił Powietrznych Rzeczypospolitej Polskiej. Samoloty F-35 z powodzeniem mogą zostać implementowane do procesu eksploatacji. Jako myśliwiec sieciocentryczny, niezwykle śmiertelny oraz przeżywalny, F-35 gwarantuje użytkującym je pilotom krytyczną dominację nad jakimkolwiek przeciwnikiem, pozwalając na realizowanie misji i w pełni bezpieczny powrót do wskazanej lokalizacji.

Samolot F-35 stanowi wyróżnik w działaniach wojennych, stając się najbardziej zaawansowanym węzłem sieciowej wizji operacyjnej konfliktów zbrojnych XXI wieku. Celem artykułu było przedstawienie wybranych możliwości użycia samolotów F-35 w lotnictwie Sił Powietrznych RP. Główną metodą badawczą były: kwerenda literatury przedmiotu, analiza, komparatyka oraz uogólnienie.

Przedstawione wyniki dociekań naukowych pozwoliły wskazać w sposób wymowny na potencjał wynikający z zakupu nowej platformy. Możliwymi zadaniami polskiego samolotu F-35 stanie się realizacja misji przewagi powietrznej, panowania w powietrzu, ataku strategicznego, wywiadu, obserwacji i rozpoznania oraz walki radioelektronicznej.

**Słowa kluczowe:** działania strategiczne, F-35, misje lotnicze, sztuka wojenna, samolot wielozadaniowy

### Abstract

The delivery of 32 F-35 aircraft is a huge opportunity for a generational and qualitative leap for the Air Force of the Republic of Poland. F-35 aircraft can be successfully implemented into the operational process. As a network-centric fighter, extremely lethal and survivable, the F-35 guarantees its pilots critical dominance over any opponent, allowing them to carry out their missions and return to the indicated location in complete safety.

The F-35 aircraft is a differentiator in warfare, becoming the most advanced node of the network operational vision of 21st century warfare. The aim of the article was to present selected possibilities of using F-35 aircraft in the Polish Air Force. The main research methods here are: literature research, analysis, comparative studies and generalization.

The presented results of scientific investigations allowed to clearly indicate the potential resulting from the purchase of the new platform. Possible tasks for the Polish F-35 aircraft will become implementation of Air Superiority, Air Supremacy, Strategic Attack, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance, Electronic Warfare missions.

**Keywords:** art of war, military multi-role aircraft F-35, missions, strategic operations

F-35 jest kamieniem węgielnym naszych przyszłych sił myśliwskich i przewagi powietrznej. Osiągnięcie przewagi powietrznej w przyszłej walce jest silnie uzależnione od dominacji w pełnym spektrum. F-35 i jego możliwości piątej generacji są częścią naszego projektu sił myśliwskich, który wyprzedza kluczowych konkurentów.

*Gen. Charles Q. Brown Jr., szef sztabu Sił Powietrznych USA*

## 1. WSTĘP

Wybór platformy F-35 jako wielozadaniowego myśliwca piątej generacji był szczegółowo analizowany nie tylko przez Ministerstwo Obrony Narodowej w Polsce. Proces pozyskiwania samolotów F-35 jest realizowany w oparciu o umowę między rządem Polski i rządem Stanów Zjednoczonych. Procedowana umowa jest efektem zrealizowanej w krótkim czasie, gdyż w przeciągu około roku, procedury negocjacyjnej w zakresie programu Harpia<sup>1</sup>. W umowie kupna F-35 założono pozyskanie 32 platform powietrznych. F-35 trzeba rozpatrywać nie tylko przez pryzmat nowoczesnego samolotu wielozadaniowego, lecz jako platformę zapewniającą afiliację domen powiększających zdolności bojowe wszelkich elementów systemu obronnego Rzeczypospolitej Polskiej<sup>2</sup>.

Celem artykułu było przedstawienie wybranych możliwości użycia samolotów F-35 w lotnictwie Sił Powietrznych RP. Wynika to z faktu zakupu zupełnie nowej platformy dla sił zbrojnych, która może zdecydowanie poszerzyć zdolności systemu obronnego państwa. Podjęta problematyka ma wymiar głównie militarny.

Osiągnięcie tak sformułowanego celu wymagało rozwiązania problemu badawczego wyrażonego pytaniem: *jakie wybrane misje lotnicze może realizować samolot/platforma F-35 na współczesnym polu walki?* Z analizy potencjału oraz charakterystyk samolotu F-35 wynika, iż może on zostać wykorzystany do różnych działań lotniczych pozostających w kompetencji lotnictwa sił powietrznych.

Z punktu widzenia metodologicznego należy wyróżnić kilka ważnych elementów, które pozwolą na lepszą percepcję prowadzonych dociekań naukowych. Przedmiotem czynionej analizy stał się samolot F-35 oraz możliwość jego użycia w misjach realizowanych w domenie powietrznej. Płaszczyzną przestrzenną prowadzonych wywodów stało się lotnictwo taktyczne, a cezurą czasowa dotyczy współczesnego okresu. Główną metodą badawczą są tu: kwerenda literatury przedmiotu, analiza, komparatystyka oraz uogólnienie. Bazą do sporządzenia tego materiału stały się: pozycje zwarte, artykuły naukowe zamieszczone w periodykach oraz źródła internetowe. Ze względu na ujęcie wielu wątków w tym materiale, należy traktować go jako zarys problemu. Obszarem szczególnego zainteresowania stała się realizacja wybranych misji, takich

<sup>1</sup> Por. A. Howlett, A. Migone, M. Howlett, *The politics of military procurement: the F-35 purchasing process in Canada and Australia*, Compared, Defence Studies 2022.

<sup>2</sup> Informacja Ministra Obrony Narodowej podczas posiedzenia Komisji Obrony Narodowej z dnia 13 kwietnia 2021 r., <https://orka.sejm.gov.pl/zapisy9.nsf/0/28F46B538FE62AAFC12586BD003BDF80/%24File/0114509.pdf> [dostęp: 15.05.2023].

jak: przewaga powietrzna, panowanie w powietrzu, atak strategiczny, wywiad, obserwacja i rozpoznanie oraz walka radioelektroniczna.

## 2. LOTNICTWO SIŁ POWIETRZNYCH

Taktyka to termin powszechnie stosowany w dziedzinie wojskowości, ale także w innych obszarach. Ogólnie ujmując, taktyka odnosi się do zasad i metod stosowanych w celu osiągnięcia konkretnego celu lub celów<sup>3</sup>. W kontekście wojskowym taktyka definiowana jest jako dziedzina wiedzy zajmująca się sposobami walki na poziomie taktycznym. W fachowej literaturze taktykę traktuje się jako racjonalny dział sztuki wojennej, obejmujący najniższe poziomy organizacyjne rodzajów sił zbrojnych<sup>4</sup>.

Działania taktyczne w ogólnym ujęciu stanowią zorganizowane użycie sił i środków wojskowych w celu wykonania zadań bojowych<sup>5</sup>. Istnienie przeciwnika to kluczowy czynnik wpływający na planowanie i organizowanie działań taktycznych lotnictwa. Wszelkie tego rodzaju działania powinny być ukierunkowane na osiągnięcie celów operacyjnych i strategicznych, przy jednoczesnym minimalizowaniu strat własnych i maksymalizowaniu strat przeciwnika<sup>6</sup>. Walka powietrzna jest jedną z podstawowych kategorii działań taktycznych lotnictwa. Polega ona na zwalczaniu celów powietrznych, w tym przede wszystkim innych samolotów, śmigłowców, dronów, pocisków i pozostałych obiektów latających. Walka powietrzna ma kluczowe znaczenie w obronie przestrzeni powietrznej kraju, jak również w misjach wojskowych prowadzonych na terenie innych państw. Aby prowadzić skuteczną walkę powietrzną, lotnictwo musi dysponować odpowiednio wyszkolonymi załogami, sprzętem i technologią, a także odpowiednią taktyką działań. Walka może być rozpatrywana wieloaspektowo, a jako starcie zbrojne w przestrzeni powietrznej statków powietrznych zmierza do zniszczenia przeciwnika<sup>7</sup>.

W ramach taktyki lotnictwa istotny staje się dobór odpowiednich technik i procedur, które pozwalają na osiągnięcie założonych celów operacyjnych, a także minimalizowanie strat własnych<sup>8</sup>. Obszarem szczególnego zainteresowania niniejszego materiału stało się lotnictwo taktyczne. Samoloty lotnictwa taktycznego są kluczowymi elementami systemu obrony powietrznej kraju, realizując zadania taktyczne na różnych poziomach domeny powietrznej. Ich główną rolą jest zapewnienie przewagi powietrznej, przeprowadzenie ataków na cele naziemne, a także prowadzenie rozpoznania i wsparcie powietrzne dla wojsk lądowych. Samoloty taktyczne charakteryzują się dużą zwrotnością i zdolnościami manewrowymi. Ich zaletą jest także mobilność, pozwalająca na szybkie przemieszczanie się pomiędzy różnymi punktami<sup>9</sup>.

<sup>3</sup> *Działania taktyczne wojsk lądowych: podręcznik*, red. nauk. Z. Ścibiorek, AON, Warszawa 1995, s. 56.

<sup>4</sup> Zob. J. Karpowicz, *Podstawy taktyki lotnictwa sił powietrznych*, WSOSP, Dęblin 2008, s. 30.

<sup>5</sup> Tamże, s. 37.

<sup>6</sup> Tamże, s. 39.

<sup>7</sup> Tamże, s. 75.

<sup>8</sup> Tamże, s. 31.

<sup>9</sup> W. Pawłuszko, F. Seredyński, *Nowy samolot bojowy dla Sił Powietrznych RP. Program pozyskania krajowego potencjału w przemyśle lotniczym - raport*, Instytut Sobieskiego, Warszawa 2017.

Zdolność do operowania na znacznych odległościach od bazy startowej oraz zdolność do tankowania w powietrzu są kluczowe dla lotnictwa sił powietrznych. Lotnictwo może działać w różnych miejscach na świecie w krótkim czasie. To umożliwia skuteczne reagowanie na sytuacje kryzysowe i zapewnienie wsparcia innym rodzajom sił zbrojnych<sup>10</sup>.

W zakresie zadań realizowanych przeciwko wojskom lądowym lotnictwo sił powietrznych może zostać użyte do wsparcia działań desantowych wykonywanych przez komponent wojsk lądowych. Pomoc w tych operacjach przyjmuje specyfikę ostony myśliwskiej obszaru załadunku, trasy lotu i rejonu desantowania lub też bezpośredniego wsparcia ogniowego wojsk aeromobilnych, od desantu do momentu końca wykonania zadania<sup>11</sup>.

Działania bojowe o charakterze strategicznym lotnictwa sił powietrznych koncentrują się na uderzeniach na cele o potencjale strategicznym. Wymagają one zazwyczaj dużych sił i są prowadzone w ramach operacji połączonych różnych komponentów sił zbrojnych lub samodzielnej operacji lotnictwa sił powietrznych. Strategicznymi celami uderzeń lotnictwa sił powietrznych stają się centra kierowania państwem, siłami zbrojnymi, jak również kluczowe lokalizacje w systemie obronnym przeciwnika, np. komponenty dowódcze, zakłady zbrojeniowe, obiekty przemysłowe, rafinerie, porty lotnicze oraz wrażliwa infrastruktura dla przemysłu, systemy energetyczne czy centra telewizyjne<sup>12</sup>. Strategiczne uderzenia z powietrza mogą być prowadzone bez udziału wojsk lądowych i morskich, przy użyciu lotnictwa oraz rakiet balistycznych lub samosterujących<sup>13</sup>.

### 3. SAMOŁOT F-35 – BUDOWA, WYPOSAŻENIE, UZBROJENIE

Samoloty wojskowe zawsze były nosicielami innowacyjnych technologii zwiększających wydajność, zmniejszających wagę, poprawiających niezawodność i zaawansowanie systemów nawigacji/sterowania. Siły Powietrzne RP zakupiły samoloty F-35A w konfiguracji konwencjonalnego startu i lądowania (CTOL). Dotychczas Stany Zjednoczone nie sprzedają myśliwców przewagi powietrznej F-22 Raptor, dlatego F-35A stał się bardziej przystępnym cenowo uzupełnieniem polskiego lotnictwa<sup>14</sup>.

Samoloty potencjalnych agresorów starzeją się, a samolot F-35 nadal ma kluczowe znaczenie dla utrzymania dominacji w powietrzu. Możliwości samolotu piątej generacji są definiowane przez połączenie technologii *stealth*<sup>15</sup> – niezrównaną zdolność unikania wykrycia przez przeciwnika – z nieznaną dotychczas możliwością wkraczania w sporną przestrzeń powietrzną.

<sup>10</sup> Zob. J. Karpowicz, *Podstawy...*, dz. cyt., s. 7.

<sup>11</sup> Tamże, s. 22.

<sup>12</sup> Tamże.

<sup>13</sup> Tamże, s. 23.

<sup>14</sup> I. Khan, S. Rahman, *Detailed Modeling and Investigation of Impact of Transient Loading on Electrical Power System of Military Aircraft F-35*, IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC), 2022.

<sup>15</sup> Samoloty „*stealth*” – ich charakterystyka najczęściej przybiera formę redukcji sygnatury radarowej statku powietrznego poprzez staranne kształtowanie płatowca, specjalne powłoki, uszczelnienia szczelin i inne środki.

Samolot F-35 wzbogacono o liczne sensory elektromagnetyczne i optyczne w zakresie 360°. Konstruktorzy zadbali także o specjalny zintegrowany system zobrazowania *sensor fusion*, który pozwala pilotowi na śledzenie sytuacji taktycznej w obszarze wszystkich stron platformy. Myśliwiec ten wyposażono w najbardziej zaawansowany pakiet czujników, który w znacznym stopniu rozszerza świadomość sytuacyjną, przeżywalność i skuteczność rażenia, a wszystko to w połączeniu z naddźwiękowym myśliwcem dalekiego zasięgu o wysokiej manewrowości<sup>16</sup>. Należy do nich radar z aktywnym skanowaniem elektronicznym (AESA), system rozproszonej apertury (DAS), system namierzania elektrooptycznego (EOTS) i system wyświetlania na hełmie<sup>17</sup>.

Na samolocie F-35 zabudowano silnik F135 Pratt & Whitney, którego innowacyjność i niezawodność napędza wszystkie trzy warianty myśliwca F-35. Jest to silnik turbinowy o zmiennej geometrii, wysokiej niezawodności, który przeszedł liczne testy i próby, aby zapewnić spełnienie wymagań samolotu nowej generacji<sup>18</sup>. Silnik F135 z ponad 40 000 funtów ciągu stał się sercem samolotu, poprzez używanie dotychczas nieznanego, zaawansowanego, zintegrowanego układu sterowania silnikiem oraz możliwość zarządzania jego termicznością<sup>19</sup>. Samolot zatankowany do pełna oraz w pełni uzbrojony osiąga prędkości 1,6 Macha<sup>20</sup>.

Tabela 1. Parametry techniczno-taktyczne samolotu F-35A

PARAMETRY TECHNICZNO-TAKTYCZNE F-35A	
Długość	15,67 m
Rozpiętość	10,67 m
Powierzchnia skrzydeł	42,70 m <sup>2</sup>
Wysokość	4,38 m
Wysokość ze statecznikiem	6,86 m
Masa własna	13 170 kg
Paliwo wewnętrzne	8278 kg
Masa uzbrojenia	12564 kg
Standardowe uzbrojenie wewnętrzne	- 1 x działko GAU-22/A 25 mm - 2 x kpr AIM-120 AMRAAM - 2 x bomby GBU-31 JDAM 907 kg
Maksymalna masa startowa	31 751 kg
Prędkość (z wewnętrznym uzbrojeniem)	1,6 Ma
Pułap	15 240 m
Promień działania (paliwo wewnętrzne)	1093 km
Zasięg (paliwo wewnętrzne)	2222 km
Silnik	Pratt&Whitney F135-100
Ciąg	- z dopalaczem 191,3 kN - bez dopalacza 128,1 kN
Maksymalne przeciążenie	9 g

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/f-35/f-35-capabilities.html> [dostęp: 15.05.2023].

<sup>16</sup> <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/f-35/f-35-capabilities.html> [dostęp: 15.05.2023].

<sup>17</sup> Tamże.

<sup>18</sup> <https://www.prattwhitney.com/en/products/military-engines/f135> [dostęp: 15.05.2023].

<sup>19</sup> Tamże.

<sup>20</sup> <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/f-35/f-35-capabilities.html> [dostęp: 15.05.2023].

Biorąc pod uwagę przeżywalność w domenie powietrznej, w płatowcu F-35 implementowano mechanizmy obniżające detekcję samolotu. Utrzymanie tej dominanty zostało wzmocnione poprzez zaprojektowanie wewnętrznej komory do umieszczenia uzbrojenia. Istnieje również możliwość zainstalowania uzbrojenia na zewnątrz. Samolot F-35A może być wyposażony w szeroki zakres uzbrojenia, w tym w rakiety powietrze-powietrze, bomby kierowane, pociski manewrujące i amunicję strzelecką<sup>21</sup>.

F-35A może zostać uzbrojony w różne typy rakiet powietrze-powietrze, w tym AIM-120 AMRAAM, AIM-9X Sidewinder i AIM-132 ASRAAM. Trzeba podkreślić, iż to doskonałe uzbrojenie do misji realizowanych z zakresu *Air Policing*. Ponadto F-35A może przenosić bomby kierowane, takie jak: GBU-12 Paveway II, GBU-31 JDAM i GBU-39 SDB. Są to precyzyjne bomby, które mogą być używane do atakowania celów naziemnych.

W dyspozycji F-35A pozostają również pociski manewrujące: AGM-154 *Joint Standoff Weapon* i AGM-158 *Joint Air-to-Surface Standoff Missile*. Są to pociski zdolne do atakowania celów naziemnych z dużej odległości. Siły Powietrzne RP zainteresowane są również pociskami JSM (*Joint Strike Missile*), które posiadają zdolność do atakowania celów morskich i lądowych z dużą precyzją. Ważnym elementem uzbrojenia F-35A jest także system wizyjny EOTS (*Electro-Optical Targeting System*), który umożliwia pilotowi wykrycie celów na ziemi i w powietrzu, a także wykonywanie precyzyjnych ataków z odległości ponad 25 kilometrów. Ostateczny wybór uzbrojenia dla polskich samolotów F-35A zostanie dokonany przez Siły Zbrojne RP na podstawie analizy potrzeb obronnych oraz dostępności konkretnych systemów uzbrojenia<sup>22</sup>.

Zestaw czujników, wyświetlaczy i zaawansowanych algorytmów misji F-35 został stworzony, aby sprostać wymaganiom i dostarczyć przyszłym pilotom myśliwców niezrównaną ilość informacji. Systemy dają pilotowi świadomość sytuacyjną oraz zapewniają pomoce decyzyjne, które umożliwiają podejmowanie krytycznych decyzji w odpowiednim czasie. Wydajność F-35 została potwierdzona poprzez setki tysięcy godzin lotu, obejmujące testy rozwojowe, przygotowania do testów operacyjnych i loty szkoleniowe<sup>23</sup>.

Każda kolejna generacja platform bojowych przesuwa technologię do granic możliwości, co związane jest ze specyficznymi wymaganiami oraz krzywą pobierania nauki. Rozpatrując niezawodność samolotu, można stwierdzić, że F-35 charakteryzuje się wektorem dodatnim. W 2019 r. wskaźnik niezawodności w USAF wzrósł z 55 do 73 procent. Samoloty te w eskadrach lotniczych mogą być wykorzystywane przez trzy czwarte czasu w działaniach operacyjnych. Wynik ten jest tożsamy względem innych

<sup>21</sup> Tamże.

<sup>22</sup> Pociski JSM powstały od początku z myślą o przenoszeniu w wewnętrznych komorach uzbrojenia samolotów F-35A/C. Mają masę 416 kg, długość 4 m i szerokość złożonych skrzydeł 48 cm. Po rozłożeniu jest to 1,35 m. Zasięg przy kombinowanym profilu lotu to 550 km, a w przypadku profilu lotu zgodnego z rzeźbą terenu ponad 200 km.

<sup>23</sup> G. Lemons, K. Carrington, T. Frey, J. Ledyard, *F-35 Mission Systems Design, Development, and Verification*, Lockheed Martin Aeronautics Company, Fort Worth, TX, 76101, Atlanta, Georgia 2018.

samolotów wielozadaniowych. Taki stan to zasługa producenta, użytkowników i personelu obsługi<sup>24</sup>.

#### 4. WYBRANE MISJE POLSKIEJ PLATFORMY F-35

Działania zbrojne zapoczątkowuje najczęściej agresja w przestrzeni powietrznej. Walkę rozpoczynają samoloty, które rywalizują o dominację w domenie powietrznej, np. samoloty piątej generacji. Ich zasadniczym zadaniem jest zwalczanie myśliwców, bombowców oraz neutralizacja zdolności antydostępowych wroga. Zazwyczaj to początkowe dni walki. Rosyjska agresja na Ukrainę pokazuje, że po tym czasie rusza nawała lądowa, nie zawsze z najnowocześniejszym uzbrojeniem. Nie jest to szczególnie zadziwiający atak. Celem jest przede wszystkim likwidacja wojsk, niszczenie infrastruktury oraz działania terroryzujące miasta bronią nieprecyzyjną<sup>25</sup>.

W ostatnich latach toczono w Polsce liczne debaty dotyczące samolotu wielozadaniowego przeznaczonego do eksploatacji na najwyższych szczeblach domeny powietrznej. Zdecydowano, że to miejsce dla platformy F-35, która łączy częściowo walory samolotów należących do wszystkich wyspecjalizowanych rodzajów lotnictwa taktycznego. F-35 Lightning II nie jest bezpośrednim zamiennikiem dla innych samolotów, takich jak: A-10, AV-8B, F-16 i F/A-18A/B/C/D, ale ma być ich następcą w ramach programów modernizacyjnych sił zbrojnych wielu krajów, w tym Polski<sup>26</sup>.

Założono, że F-35 może wywiązać się z realizacji misji AS (*air superiority/air supremacy*), EW (*electronic warfare*), ISR (*intelligence, surveillance, and reconnaissance*). Ponadto samolot może realizować misje SA (*strategic attack*), zabezpieczać bojowe patrole powietrzne i reagować na prowokacje przeciwnika, związane z naruszeniem polskiej przestrzeni powietrznej.

##### **Przewaga w powietrzu (*air superiority*)/panowanie w powietrzu (*air supremacy*)**

Terminy *air superiority* i *air supremacy* są często używane jako synonimy, ale istnieje między nimi subtelna różnica. Pierwszy z nich oznacza zdolność do zapewnienia przewagi powietrznej w określonym obszarze operacyjnym. Oznacza to, że własne siły powietrzne są w stanie przeciwdziałać lub unikać ataków wroga, a także zapewnić osłonę innym jednostkom wojskowym na ziemi lub na morzu. *Air supremacy* oznacza zaś całkowitą dominację w powietrzu, czyli siły powietrzne są w stanie zniszczyć lub unieszkodliwić całą zdolność bojową wrogich sił powietrznych, a także uniemożliwić im prowadzenie jakiegokolwiek aktywności w powietrzu.

Innymi słowy, *air superiority* oznacza kontrolę nad przestrzenią powietrzną, podczas gdy *air supremacy* to określenie pełnej dominacji w powietrzu. Mimo że te dwa terminy są często używane zamiennie, różnica między nimi może mieć duże znaczenie strategiczne w zależności od kontekstu sytuacji bojowej.

<sup>24</sup> <https://www.forbes.com/sites/davedeptula/2020/07/20/f-35-problem-child-or-on-track-for-success/?sh=427871d015d1> [dostęp: 15.05.2023].

<sup>25</sup> <https://polska-zbrojna.pl/home/articleshow/37927> [dostęp: 15.05.2023].

<sup>26</sup> S.A. Fraioli, *Intelligence Support for the F-35A Lightning II*, „Air & Space Power Journal” 2016.

*Air superiority* jest kluczowa dla wyniku współczesnej wojny konwencjonalnej. Bez kontrolowania przestrzeni powietrznej operacje militarne na lądzie, morzu czy w powietrzu są znacznie trudniejsze i bardziej ryzykowne. Zdobycie przewagi w powietrzu stanowi środek do osiągnięcia końcowego celu, którym jest osłabienie zdolności bojowych wroga i umożliwienie własnym siłom wykonania celnych uderzeń. Przewaga powietrzna pozwala również kontrolować przestrzeń powietrzną i utrudniać lub uniemożliwiać przeciwnikom działania z powietrza, takie jak ataki powietrzne czy dostawy zaopatrzenia<sup>27</sup>.

Jednak należy pamiętać, że zapewnienie przewagi powietrznej nie jest jedynym priorytetem dowódcy, a działania w domenie powietrznej muszą być zintegrowane z działaniami wojsk lądowych i morskich. Ten rodzaj przewagi może być efektywny tylko wtedy, gdy jest wykorzystywany w sposób skoordynowany i strategiczny we wszystkich aspektach działań wojennych. Misja F-35 polegająca na zapewnieniu przewagi powietrznej rzeczywiście obejmuje zwalczanie potencjału przeciwnika nad obszarami konfliktów. Przewaga ta jest kluczowa dla umożliwienia siłom zbrojnym działania na wybranym przez siebie miejscu i czasie oraz dla ochrony polskich wojsk lądowych przed atakami z powietrza. F-35 jest w stanie zapewnić przewagę powietrzną poprzez wykorzystanie zaawansowanych systemów sensorycznych, takich jak sensory elektrooptyczne, radarowe i komunikacyjne, które umożliwiają pilotom lepsze rozumienie sytuacji w powietrzu i szybsze podejmowanie decyzji. Ponadto, F-35 jest w stanie działać w sieci z innymi platformami (np. drony i satelity), co umożliwia bardziej kompleksowe monitorowanie sytuacji w powietrzu i na ziemi.

Systemy F-35, takie jak radar z aktywną anteną fazową, system samoobrony, system ostrzegania przed atakami rakietowymi, a także zdolność unikania wykrycia przez przeciwnika, pozwalają na zidentyfikowanie i unieszkodliwienie wrogich samolotów i rakiet. Jako wielozadaniowy myśliwiec zadaniem F-35A w wielu z tych misji mogą być właśnie zadania OCA (*Offensive Counter Air*), czyli ofensywnego wywalczania przewagi powietrznej. W ramach tych misji może on pełnić funkcje eskorty i ochrony dla ukrytych bombowców lub innych myśliwców poprzez identyfikację i likwidację wrogich samolotów przed atakiem. Alternatywnie może śledzić i neutralizować zagrożenia ziemia-powietrze, wykorzystując kombinację technologii i taktyk charakterystycznych dla F-35.

Jednak zapewnienie dominacji w powietrzu to bardziej złożone zadanie niż zapewnienie przewagi powietrznej. Dominacja w powietrzu oznacza efektywne zwalczanie potencjału powietrznego przeciwnika, co umożliwia prowadzenie działań ofensywnych i defensywnych w dowolnym miejscu i czasie. Mimo że F-35 posiada wiele zaawansowanych zdolności, to jednak zapewnienie dominacji w powietrzu wymaga zintegrowanej strategii i koordynacji z innymi rodzajami sił zbrojnych, w tym wojskami lądowymi i morskimi.

F-35 jest obecnie jednym z najbardziej zaawansowanych samolotów na świecie, ale przewaga w powietrzu nie jest tylko kwestią posiadania najnowszych technologii

---

<sup>27</sup> P.S. Meilinger, *Supremacy in the skies*, „Air Force Magazine”, February 2016.



i zdolności. W rzeczywistości, w przypadku walk powietrznych decydujące znaczenie mają umiejętności pilota, taktyka, strategia, koordynacja działań i wiele innych czynników, które mogą wpłynąć na wynik walki. Aby utrzymać swoją pozycję, F-35 musi być nieustannie modernizowany. Rozwój sztucznej inteligencji i szybkiego przetwarzania komputerowego ma potencjał, aby znacząco wpłynąć na przyszły rozwój technologii lotniczych i zdolności samolotów, w tym F-35. Kolejnym przykładem jest integracja zaawansowanych systemów sensorycznych. Inne możliwe zmiany konstrukcji samolotów obejmują ulepszoną aerodynamikę, wykorzystanie nowych materiałów, technik produkcji, rozwój bardziej efektywnych układów zasilania i napędu, jak również bardziej zaawansowane systemy samoobrony i uzbrojenia. Zdobycie przewagi w powietrzu jest jednym z kluczowych elementów strategii militarnych, zwłaszcza w przypadku współczesnych konfliktów, które wymagają szybkich i skutecznych działań.

### **Atak strategiczny (*strategic attack* – SA)**

SA ma na celu osiągnięcie ważnych celów strategicznych, takich jak zmniejszenie zdolności bojowej przeciwnika lub zniszczenie jego ważnych obiektów militarnych lub cywilnych bez konieczności osiągnięcia celów operacyjnych jako warunku wstępnego<sup>28</sup>. Niezwykle ważne pozostaje zakłócanie krytycznych funkcji przywódczych, infrastruktury i strategii wroga, poprzez oddziaływanie na sferę psychologiczną, poznawczą i behawioralną. SA może obejmować różne środki, takie jak cyberatak, atak na węzły komunikacyjne, propagandę wojenną i inne formy psychologicznego nacisku<sup>29</sup>.

Samoloty F-35 są nowoczesnymi myśliwcami wielozadaniowymi, zaprojektowanymi z myślą o przeprowadzaniu działań ofensywnych w ramach tzw. koncepcji walki sieciowej (*network-centric warfare*). Ze względu na swoje zaawansowane systemy awioniki samoloty F-35 są zdolne do prowadzenia działań ofensywnych w różnych scenariuszach, takich jak ataki powietrzne, naziemne i morskie. Posiadają one systemy walki elektronicznej, dzięki którym są w stanie przechwytywać i analizować dane z radarów i innych źródeł, co pozwala na identyfikację i zwalczanie wrogich celów. Dzięki technologii *stealth* myśliwce są w stanie przenikać przez systemy obrony powietrznej przeciwnika. Co więcej, samoloty F-35 mogą być wyposażone w różne rodzaje uzbrojenia, takie jak pociski raketowe, bomby kierowane czy przeciwokrętowe pociski raketowe, co umożliwia prowadzenie różnych typów ataków w ramach działań SA.

Jedną z wyróżniających cech działań ataku strategicznego z wykorzystaniem samolotów F-35 jest skupienie się na zwalczaniu wrogich systemów, takich jak: systemy przeciwlotnicze (SAM), systemy dowodzenia i kontroli (C2) czy systemy obrony przeciwrakietowej (BMD). Samoloty F-35 są wyposażone w zaawansowane sensory (m.in. radar AN/APG-81 i systemy elektrooptyczne), które umożliwiają ich pilotom wykrycie i zlokalizowanie celów na dużych odległościach, nawet w warunkach ograniczonej widoczności. Dlatego SA realizowany przez samoloty F-35 często skupia się na

<sup>28</sup> Air Force Doctrine Publication 3-70, Strategic Attack, 21 November 2021.

<sup>29</sup> Tamże.

neutralizacji wrogich systemów, co umożliwia innym siłom wojskowym przeprowadzenie operacji z mniejszym ryzykiem utraty sprzętu i ludzi, a także zwiększa szanse na osiągnięcie celów strategicznych. Realizacja działań SA z wykorzystaniem samolotów F-35 może mieć różną formę. Przykładowo, kampania SA realizowana przez samoloty F-35 może składać się z serii uderzeń przeciwko różnym celom wrogiej infrastruktury, wrogim siłom wojskowym oraz systemom dowodzenia i kontroli, co ma na celu osłabienie zdolności wroga do prowadzenia działań<sup>30</sup>.

Z drugiej strony, indywidualne uderzenia SA samolotów F-35 mogą być przeprowadzane w sytuacjach nagłych, w celu szybkiego unieszkodliwienia konkretnego wrogiego celu lub systemu, co może przynieść szybki efekt i osłabić zdolność wroga do działań. Warto jednak pamiętać, że prowadzenie działań SA z wykorzystaniem platform F-35 wymaga odpowiedniego planowania i koordynacji z pozostałymi siłami wojskowymi, takimi jak siły lądowe, morskie i specjalne<sup>31</sup>.

Skuteczna zdolność do prowadzenia działań SA realizowanych przez samoloty F-35 może pomóc w osiągnięciu wczesnego zakończenia konfliktu poprzez osłabienie zdolności wroga do prowadzenia działań, zastraszenie go, wymuszenie na nim zmiany strategii lub taktyki, a nawet podjęcia negocjacji pokojowych. Jednocześnie, warto pamiętać, że skuteczność działań SA zależy od wielu czynników, w tym od siły i zdolności wroga, dostępności informacji wywiadowczych, warunków atmosferycznych, a także od dokładności i efektywności broni<sup>32</sup>.

### **Wywiad, obserwacja i rozpoznanie (*intelligence, surveillance, and reconnaissance – ISR*)**

ISR odnosi się do działań mających na celu zbieranie, analizę i dostarczanie informacji wywiadowczych, nadzoru i rozpoznania w celu wspierania bieżących i przyszłych operacji. Istotą tego rodzaju działań jest synchronizacja i integracja różnych elementów, takich jak systemy przetwarzania i dystrybucji danych. Optymalizacja ISR polega na zapewnieniu, że cały proces – od zbierania danych, przez analizę i interpretację, po dostarczanie informacji – jest dobrze zintegrowany i działa harmonijnie. Dzięki temu można uzyskać pełniejszy obraz sytuacji operacyjnej, szybko reagować na zmieniające się warunki i skutecznie planować oraz prowadzić operacje<sup>33</sup>.

Informacje wywiadowcze są niezwykle istotne dla planowania i przeprowadzania misji, a samolot F-35 ma zdolności ISR, które pomagają zbierać i przekazywać informacje wywiadowcze. ISR obejmuje różne dziedziny, w tym zbieranie danych o pozycji przeciwnika, celach, aktywnościach, ruchach i zamiarach, jak również informacje o warunkach atmosferycznych i terenie. Dzięki swojej zdolności do operowania na dużych wysokościach i prędkościach F-35 może szybko zbierać i przekazywać informacje wywiadowcze, co umożliwia lepsze zrozumienie sytuacji taktycznej i podejmowanie trafnych decyzji.

<sup>30</sup> Tamże.

<sup>31</sup> Tamże.

<sup>32</sup> Tamże.

<sup>33</sup> Air Force Doctrine Publication 2-0, Globally Integrated ISR Operations, USAF 2015.

Zaawansowane sensory i systemy komunikacyjne samolotu F-35 pozwalają na skuteczne przeprowadzanie operacji wywiadowczych, a także na zbieranie danych. Do głównych sensorów F-35 należą m.in. radar AN/APG-81, który pozwala na wykrywanie celów powietrznych i naziemnych na dużej odległości, a także system elektrooptyczny EOTS, umożliwiający skanowanie terenu i śledzenie ruchu wrogich sił. Ponadto, samolot wyposażony jest w system optyczny DAS (*distributed aperture system*), który pozwala na wykrycie celów z każdej strony samolotu oraz system EW (*electronic warfare*), umożliwiający wykrycie i zwalczanie zagrożeń związanych z systemami obrony przeciwlotniczej. Dzięki radarowi z syntetyczną aperturą (SAR), optycznym kamerom i systemom rozpoznawania elektronicznego (ESM) F-35 może zbierać dane, pomocne w określeniu celów i zagrożeń w obszarze działań. Systemy te umożliwiają obserwację sytuacji na polu walki, identyfikację celów i przekazywanie informacji do dowództwa w czasie rzeczywistym.

Misje wywiadowcze mogą być przeprowadzane w różnych warunkach atmosferycznych oraz porze doby, co daje samolotowi F-35 dużą elastyczność operacyjną. Dane te mogą być przekazywane na bieżąco do sił lądowych lub morskich, co umożliwi szybsze podejmowanie decyzji na podstawie aktualnych informacji wywiadowczych.

### **Walka radioelektroniczna (*electronic warfare*)**

Polska armia wciąż jest w trakcie tworzenia formalnych definicji kognitywnej wojny elektronicznej, czasami określanej również jako algorytmiczna wojna elektroniczna. Zasadniczo terminy te ogólnie odnoszą się do wysiłków zmierzających do poprawy zdolności systemów walki elektronicznej do automatycznego reagowania na wykrycie nowych sygnałów i analizowania w czasie rzeczywistym szczególnie niebezpiecznych emisji z bałaganu współczesnego elektronicznego pola walki.

Jednostki polskich sił powietrznych, dzięki patrolom wzdłuż wschodniej flanki NATO w ciągu ostatniego roku, mogą wyciągać nowe cenne wnioski na temat problemów związanych z bronią elektroniczną, które prawdopodobnie pojawią się na przyszłych polach bitew.

Samolot F-35 posiada zaawansowane możliwości walki elektronicznej. Samolot ten jest wyposażony w systemy elektroniczne, które pozwalają mu na wykrywanie i identyfikowanie różnych zagrożeń, np. rakiet przeciwlotniczych, radarów czy innych samolotów. Ponadto F-35 jest w stanie samodzielnie identyfikować i wybierać cele, a także wykonywać operacje walki elektronicznej, takie jak zakłócanie systemów przeciwnika i atakowanie ich systemów łączności.

Systemy walki elektronicznej F-35 są nie tylko wyjątkowo zaawansowane, ale także zintegrowane z innymi systemami samolotu, m.in. systemem naprowadzania uzbrojenia czy systemami wykrywania i identyfikacji celów. To pozwala na jeszcze większą skuteczność i elastyczność w walce powietrznej. System EW samolotu F-35 umożliwia lokalizowanie oraz śledzenie sił przeciwnika, blokowanie radarów i zakłócanie ataków. Samolot wykorzystuje wiele zaawansowanych technologii jak cyfrowa radio-stacja nadawczo-odbiorcza AN/APG-81, która umożliwia wykrywanie, śledzenie i identyfikowanie celów powietrznych i naziemnych na dużych odległościach, a także

systemy IRST (*infrared search and track*) i DAS (*distributed aperture system*), które umożliwiają wykrywanie i śledzenie celów bez użycia radarów. System EW samolotu F-35 nazywa się AN/ASQ-239, a jego zadaniem jest zapewnienie ochrony przed atakami przeciwnika, w tym poprzez zakłócanie radionawigacyjnych, radiokomunikacyjnych i radarowych systemów wroga oraz maskowanie własnych sygnałów radiowych. System ten jest w stanie działać w trzech trybach: ofensywnym, defensywnym i wspierającym, a także może działać w sposób zautomatyzowany, dostosowując swoje reakcje do sytuacji w powietrzu<sup>34</sup>.

Walka elektroniczna i kognitywne zdolności są coraz ważniejsze w dzisiejszych konfliktach. Piloci F-35A wykorzystują zaawansowane systemy walki elektronicznej, aby wykrywać i neutralizować zagrożenia dla siebie i innych sił sojuszników. Również rozwijane są nowe technologie, takie jak sztuczna inteligencja, co daje jeszcze większą przewagę w walce. Jednocześnie taka walka wymaga nieustannego rozwoju i szkolenia, aby sprostać zmieniającym się warunkom i zagrożeniom, co stanowi wyzwanie dla wojskowych planistów i strategów<sup>35</sup>.

Niezależnie od tego, jak dobre są aktualne możliwości walki elektronicznej F-35 i o ile lepsze mogą być dzięki kolejnym ulepszeniom, nadal polegają na możliwości dopasowania wszelkich wykrytych emisji do znanych informacji zawartych w mozolnie utrzymywanych bazach zagrożeń. W przypadku walki elektronicznej wciąż istnieje potrzeba aktualizacji baz danych i przekazywania ich do jednostek operacyjnych, aby umożliwić właściwe wykorzystanie informacji. W tym sensie kognitywna wojna elektroniczna może pomóc w przyspieszeniu tego procesu, ale wciąż będzie wymagała koordynacji i przetwarzania danych przez ludzi.

## 5. PODSUMOWANIE

Aktualnie F-35 jest wykorzystywany przez wiele krajów na całym świecie i stanowi ważny element ich sił powietrznych. Platforma F-35 zapewni znaczący postęp zdolności wojskowych, a więc spełni wymagania Polski w zakresie zwalczania obecnych i pojawiających się zagrożeń. Samolot może być wykorzystywany w różnych misjach bojowych<sup>36</sup>. Może niszczyć obiekty o znaczeniu operacyjnym i taktycznym, stałe lub mobilne, położone w strefie działań bojowych lub na dalekim zapleczu przeciwnika. Charakter obiektu rażenia i warunki operacyjno-taktyczne działań decydują o tym, jaki rodzaj uzbrojenia zostanie użyty podczas realizacji zadania, aby zagwarantować jego najefektywniejsze wykonanie<sup>37</sup>. Zaledwie kilka samolotów F-35 może osiągnąć te same efekty, które wymagałyby zaangażowania do tego od kilkunastu lub więcej samolotów czwartej generacji, o mniejszym zaawansowaniu technologicznym. Potencjalny lot czterech F-35 będzie więc kosztować znacznie mniej niż dziesiątki alternatywnych platform o niższej technologii.

<sup>34</sup> <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/f-35/f-35-capabilities.html> [dostęp: 21.04.2023].

<sup>35</sup> Tamże.

<sup>36</sup> Zob. J. Karpowicz, *Podstawy...*, dz. cyt., s. 13.

<sup>37</sup> Tamże, s. 247–248.

Rozwiązując problem badawczy artykułu, wskazano wybrane zadania, jakie może realizować F-35 na współczesnym polu walki. Próbując uogólnić prowadzone dociekania naukowe w tym obszarze, można wyprowadzić kilka wniosków końcowych:

1. Samoloty wojskowe cechuje uniwersalność, której egzemplifikacją są produkowane aktualnie samoloty wielozadaniowe. Dzięki temu lotnictwo jest w stanie realizować zadania lotnicze o specyficznym charakterze, ofensywne, jak i defensywne, myśliwskie, uderzeniowe oraz rozpoznawcze, ukierunkowane na obiekty naziemne, nawodne i podwodne, a w szczególności powietrzne.
2. Główny atrybut charakteryzujący F-35 jest prosty: współczesne kanony walki powietrznej wymagają samolotów z kilkoma kluczowymi cechami: osiągi aerodynamiczne, prędkość naddźwiękowa, wszechstronna niewidzialność, wysoce zintegrowana awionika sieciowa<sup>38</sup>. Najważniejsze staje się wykorzystanie tych możliwości, aby jak najskuteczniej zrealizować założone cele misji. Jednocześnie minimalizując lub całkowicie uniemożliwiając przeciwnikowi możliwości namierzenia i zniszczenia własnego samolotu.
3. Konieczność zakupu samolotu F-35 bezsprzecznie nie powinna podlegać krytyce. Napaść Rosji na Ukrainę zdecydowanie potwierdziła słuszność decyzji podjętych przez Ministerstwo Obrony Narodowej RP. F-35 wzmacnia bezpieczeństwo narodowe, rozszerza światowe partnerstwa i potęguje wzrost gospodarczy.

F-35 jest kluczowym elementem zwalczania potencjału przeciwnika, podstawowym warunkiem wstępnym każdej udanej operacji wojskowej. Kontrola nad przestrzenią powietrzną zapewniana przez te samoloty daje siłom zbrojnym znaczną przewagę nad wrogiem, umożliwiając im realizowanie działań z mniejszym ryzykiem i większą efektywnością.

Podsumowując, cel artykułu został spełniony. Przedstawiona analiza pozwoliła wskazać w sposób wymowny na potencjał wynikający z zakupu platformy F-35. Polscy piloci docenili charakterystyki i zdolności samolotu, który może zostać wykorzystany w różnych misjach lotniczych pozostających w kompetencji lotnictwa sił powietrznych. Przewiduje się, iż treści zawarte w niniejszej pracy mogą posłużyć jako podstawa do dalszych rozważań w ramach systemu lotnictwa sił powietrznych.

## BIBLIOGRAFIA

### Artykuły i monografie

*Działania taktyczne wojsk lądowych: podręcznik*, red. nauk. Z. Ścibiorek, AON, Warszawa 1995.

Fraioli S.A., *Intelligence Support for the F-35A Lightning II*, „Air & Space Power Journal” 2016.

<sup>38</sup> C. Wiegand, B. Bullick, J. Catt, J. Hamstra, G. Walker, S. Wurth, *F-35 Air Vehicle Technology Overview*, Lockheed Martin Aeronautics Company, Fort Worth, TX, 76109, Atlanta, Georgia 2018.

Howlett A., Migone A., Howlett M., *The politics of military procurement: the F-35 purchasing process in Canada and Australia*, Compared, Defence Studies 2022.

Karpowicz J., Cieślak E., Marud W., *Podstawy taktyki lotnictwa Sił Powietrznych*, AON, Warszawa 2002.

Karpowicz J., *Podstawy taktyki lotnictwa sił powietrznych*, WSOSP, Dęblin 2008.

Khan I., Rahman S., *Detailed Modeling and Investigation of Impact of Transient Loading on Electrical Power System of Military Aircraft F-35*, IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC), 2022.

Lemons G., Carrington K., Frey T., Ledyard J., *F-35 Mission Systems Design, Development, and Verification*, Lockheed Martin Aeronautics Company, Fort Worth, TX, 76101, Atlanta, Georgia, 2018.

Meilinger P.S., *Supremacy in the skies*, „Air Force Magazine” February 2016.

Pawłuszko W., Seredyński F., *Nowy samolot bojowy dla Sił Powietrznych RP. Program pozyskania krajowego potencjału w przemyśle lotniczym - raport*, Instytut Sobieskiego, Warszawa 2017.

Wiegand C., Bullick B., Catt J., Hamstra J., Walker G., Wurth S., *F-35 Air Vehicle Technology Overview*, Lockheed Martin Aeronautics Company, Fort Worth, TX, 76109, Atlanta, Georgia 2018.

## Dokumenty

---

Air Force Doctrine Publication 2-0, Globally Integrated ISR Operations, USAF 2015.

Informacja Ministra Obrony Narodowej podczas posiedzenia Komisji Obrony Narodowej z dnia 13 kwietnia 2021 r., <https://orka.sejm.gov.pl/zapisy9.nsf/0/28F46B538FE-62AAFC12586BD003BDF80/%24File/0114509.pdf>.

## Źródła internetowe

---

<https://polska-zbrojna.pl/home/articleshow/37927>.

<https://www.forbes.com/sites/davedeptula/2020/07/20/f-35-problem-child-or-on-track-for-success/?sh=427871d015d>.

<https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/autonomic-logistics-information-system-alis.html>.

<https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/f-35/f-35-capabilities.html>.

<https://www.prattwhitney.com/en/products/military-engines/f135>.

### Krzysztof CUR

Polish Air Force University  
 e-mail: k.cur@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0003-4552-445X

### Paweł GOŁDA

Polish Air Force University  
 e-mail: p.golda@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0003-4066-7814

### Adam RURAK

Polish Air Force University  
 e-mail: a.rurak@law.mil.pl  
 ORCID: 0000-0002-5842-8048

DOI: 10.55676/asi.v3i1.66

## APPLICATION OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS IN THE AIR FORCE

### ZASTOSOWANIE BEZZAŁOGOWYCH SYSTEMÓW POWIETRZYNYCH W SIŁACH POWIETRZYNYCH

#### Abstract

The article discusses the use of unmanned aerial vehicles (UAV) in Iraq and Afghanistan. During the operation in Afghanistan the RQ-1A was used for the first time to carry out assault missions. The legal aspects of the use of unmanned aerial vehicles in the Polish airspace are described. They determine the increase in the use of UAVs.

The tasks that are and can be carried out by UAV in modern combat operations and the directions of their further development are also presented.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, Iraq, Afghanistan, drone

#### Streszczenie

W artykule omówiono wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w Iraku i Afganistanie. Podczas operacji w Afganistanie RQ-1A po raz pierwszy został użyty do wykonywania zadań szturmowych. Opisano prawne aspekty użycia bezzałogowych statków powietrznych w polskiej przestrzeni powietrznej. Determinują one wzrost wykorzystania BSP.

Przedstawiono także zadania, jakie są i mogą być realizowane przez BSP we współczesnych działaniach bojowych oraz kierunki ich dalszego rozwoju.

**Słowa kluczowe:** bezzałogowe statki powietrzne, Irak, Afganistan, dron

## 1. INTRODUCTION

Unmanned aerial vehicles are much older than the manned. The lack of a pilot reduces the risk during flight tests, accelerates the experiments and reduces their costs, and shortens the time of introduction of new technologies. This is the role of unmanned aerial devices today, and it can even be said that they are flourishing. Currently, there is a worldwide tendency to transfer various tasks to unmanned vehicles. The technical modernization of the Polish Armed Forces is also heading in this direction. In the perspective of 2030, they are one of the most important components of the organizational structure of our Armed Forces. The assault systems of the Polish Armed Forces will consist of manned and unmanned land platforms (remotely controlled vehicles), air and sea platforms equipped with modern navigation and targeting systems and precision destruction weapons, as well as non-lethal means of destruction<sup>1</sup>. Our armed forces are now able to use modern combat systems and, in the future, to own the latest inventions of advanced aviation technology. This also applies to unmanned aerial vehicles. Already today, unmanned aerial vehicles perform many tasks on the modern battlefield.

## 2. COMPONENTS OF THE UNMANNED AERIAL SYSTEM

The following two components are distinguished in the operation of unmanned aerial systems: air and ground. The air component consists of an unmanned aerial vehicle with sensors installed on it. The ground module consists, in addition to the supervisory staff, of control elements, data transmission component, supporting elements and users.

It can be assumed that an unmanned aerial system consists of three essential elements:

- control station,
- communication infrastructure,
- air platform.

The first is the control station, which allows for constant observation and control over the flying platform. Another component is the broadly understood communication infrastructure responsible for sending all the necessary data. The third, most important element is the air platform, i.e. the unmanned aerial vehicle. The complete system, however, consists of the following modules:

- UAV – unmanned aerial vehicle;
- ground control station (GCS), handled by an operator;
- communication system between the control station and the vehicle in the air;
- interchangeable loads, used depending on the nature of the mission;
- software for processing the collected data;
- auxiliary equipment for transporting and operating the entire system<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Vision of the Polish Armed Forces – 2030, Warsaw 2008, pp. 30–33.

<sup>2</sup> M. Adamski, J. Rajchel, *Bezzałogowe statki powietrzne. Cz. I: Charakterystyka i wykorzystanie*, WSOSP, Dęblin 2013, p. 51.



These modules are necessary for the efficient and effective operation of the entire system, but the main elements of the system are the pilot-operator and the unmanned aerial vehicle. The use of the terms: unmanned aerial system and unmanned aerial vehicle interchangeably is possible, however, with the awareness that the unmanned aerial vehicle functions properly only within the system.

### 3. EXPERIENCE WITH THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN RECENT ARMED CONFLICTS

In Iraq and Afghanistan, the Americans use several types of unmanned aerial vehicles (UAV). Their use is getting wider. It is mainly related to the lack of human factor and minimizing the costs of fighting.

On the modern battlefield, already at the tactical levels of command, there is a current need for information about the enemy and the need to provide fire support. UAVs are suitable for the tasks of observation, battlefield reconnaissance and fire support of subunits. In 2003, the US Army was equipped with a mini UAV for the needs of the battalion-company and platoon-squad. Such a small Raven, weighing about 3 kg, powered by batteries, carries an infrared camera and data transmission devices. It can stay in the air for 1.5 hours, Fig. 1.



Figure 1. RQ-11A Raven

Source: [www.army-technology.com/projects/rq11-raven](http://www.army-technology.com/projects/rq11-raven) [access: 3.06.2020].

Such mini devices can be carried in soldiers' backpacks. They fly up to an altitude of 300 m and preparing them for use takes no more than 10 minutes. The image from the camera mounted on them is transmitted to a portable computer. Routes are planned using a GPS receiver. Pre-planned routes, depending on the needs of the battlefield situation, can be changed during the flight. Such devices, as early as in

2006, were used by every company of the 3rd Brigade of the 101st Airborne Division and the 10th Mountain Division of the USA deployed in Afghanistan. Unmanned aerial vehicles of this type work in sets consisting of three unmanned aerial vehicles and a ground control station. Currently, the Americans operate about 3,000 of such UAVs.

The Polish Military Contingent in Afghanistan is equipped with mini sets, the reconnaissance UAV Orbiter<sup>3</sup>, Fig. 2.



Figure 2. Mini reconnaissance UAV Orbiter

Source: [www.altair.com.pl/magazines/article?article\\_id=356](http://www.altair.com.pl/magazines/article?article_id=356) [access: 20.06.2020].

The crew of the Mini UAV Orbiter<sup>4</sup> supports troops in Afghanistan by providing them with information from air reconnaissance, supervises a specific area, indicates targets and assesses the effects of fire strikes. They perform these tasks both during the day and at night, in various weather conditions. In Afghanistan, the crew of the 11th shift made over 300 reconnaissance flights during the day and night. Flights take from 1 to 1.5 hours. The camera weighs 8 kg, films in color during the day from a height of 500 m. The mini aircraft can provide an image even from a distance of 15 km. In Afghanistan, due to strong winds in the mountains, the Team is limited to a distance of about 10 km<sup>5</sup>.

The RQ-7 Shadow was used to a large extent by the US Army in Iraq, Fig. 3.

---

<sup>3</sup> Tactical and technical data of the Mini UAV Orbiter: operating ceiling – 180–650 m; operating radius – 15, 30, 50 km; speed – 40–100 km/h; max speed – 130 km/h; ceiling – 6 km; maximum head weight – 1.5 kg; operating time – 2.5–3 hours.

<sup>4</sup> The Mini UAV Orbiter is operated by soldiers whose home unit is the Air Reconnaissance Squadron in Mirosławiec, divided into two stationary services at the Polish bases Ghazni and Waghez.

<sup>5</sup> Information obtained from the Operational Command of the Polish Armed Forces.



Figure 3. RQ-7 Shadow

Source: [www.google.pl/search?client=opera&q=/AIR\\_UAV\\_RQ-7\\_Shadow\\_Maintenance\\_on\\_Flightline\\_lg.jpg](http://www.google.pl/search?client=opera&q=/AIR_UAV_RQ-7_Shadow_Maintenance_on_Flightline_lg.jpg) [access: 24.06.2020].

The RQ-7 Shadow 2000 set consists of a ground control station and four UAVs. In Iraq, these sets were used to observe convoy routes, for monitoring and reconnaissance missions. The RQ-7 Shadow sets were used as a protection against unexpected attacks by the 4th Mechanized Division in Iraq. In the “Iraqi Freedom” operation, 39 RQ-5A / B Hunter UAVs were used, Fig. 4.



Figure 4. RQ-5A/B Hunter

Source: [www.google.pl/imgres?imgurl=http://img156.imageshack.us/img156/591/92608464.jpg&imgrefurl=http://www.defence.pk/forums/military-forum/32863-ngc-hunter-unmanned-air-system-successfully-completes-gps](http://www.google.pl/imgres?imgurl=http://img156.imageshack.us/img156/591/92608464.jpg&imgrefurl=http://www.defence.pk/forums/military-forum/32863-ngc-hunter-unmanned-air-system-successfully-completes-gps) [access: 5.07.2020].

Hunters can operate in the air for up to 15 hours during the day and night. They have a range of up to 125 km. In Iraq, this type of UAVs operated in pairs, one of them acted as a retranslator. This application increased the range of the pair to 200 km. In the Operation Iraqi Freedom, the Hunters performed tasks for the corps and often for the CJTF (Combined Joint Task Force). Hunters are adapted to the following tasks:

- Observation;
- Tracking;
- Recognition;
- Indicating targets;
- Assessment of impact results;
- Cooperation with artillery;
- Real-time data delivery;
- Making attacks with rockets, bombs and ammunition from the plane.

They can be classified as multi-purpose unmanned aerial vehicles.

The RQ-1A Predator unmanned aerial vehicles participated in the “Enduring Freedom” operation, Fig. 5.



Figure 5. RQ-1A Predator

Source: [www.google.pl/imgres?imgurl=http://defense-update.com/images/predator050506-F-0000S-002.jpg&imgrefurl=http://defense-update.com/products/p/predator](http://www.google.pl/imgres?imgurl=http://defense-update.com/images/predator050506-F-0000S-002.jpg&imgrefurl=http://defense-update.com/products/p/predator) [access: 12.07.2020].

Predators, in addition to the reconnaissance, also cooperated with strategic aviation, providing precise data on the coordinates of detected objects. Such cooperation contributed to high efficiency in the implementation of the tasks of the B-52H and B-1B bombers.

Over time, the list of UAV<sup>6</sup> tasks was expanded with new ones, including impact missions. Since 2001, UAVs have been armed with precision missiles and laser-guided bombs<sup>7</sup>. UAVs have a great merit in combating terrorism.

For the first time in 2001, the RQ-1A was used in Afghanistan to perform assault missions by firing a Hellfire rocket from its deck. The RQ-1A drone detected and

<sup>6</sup> Unmanned Aerial Vehicle – a powered aircraft that has no human aboard.

<sup>7</sup> K. Krzysztofowicz, *Bezpilotowe środki latające (BSL)*, “Lotnictwo” 1994, no. 1, p. 4.

destroyed the target with one of the two Hellfire missiles under its wings<sup>8</sup>. This date is considered to be the beginning of the era of combat unmanned aerial vehicles.

In the following years, subsequent modernized versions of the Predator RQ-1A, Predator B and the much larger MQ-9 Predator B were introduced, Fig. 6. Larger UAVs provide wider possibilities of using:

- Satellite communications;
- Sensors as components of a larger system;
- Sensors as standard equipment;
- Sensors previously used only in manned aircraft.



Figure 6. MQ-9 Predator B

Source: [www.google.pl/imgres?q=mq-9+predator+b&sa=X&biw=1333&bih=645&tbn=isch&tbnid=bMI6Ny0pbrxUaM:&imgrefurl=http://www.airwar.ru/enc/bpla/mq9.html&docid=ZVYTZOsxFzSLNM&imgurl=http://www.airwar.ru/image/idop/bpla/mq9/mq9-2.jpg](http://www.google.pl/imgres?q=mq-9+predator+b&sa=X&biw=1333&bih=645&tbn=isch&tbnid=bMI6Ny0pbrxUaM:&imgrefurl=http://www.airwar.ru/enc/bpla/mq9.html&docid=ZVYTZOsxFzSLNM&imgurl=http://www.airwar.ru/image/idop/bpla/mq9/mq9-2.jpg) [access: 11.08.2020].

Here are a few examples of their use and a presentation of their capabilities.

In 2006, an MQ-1 Predator, while observing the hideout of terrorists in the Iraqi village of Hibhib, transmitted live images to ground command centers, cooperating with F-16 aircraft on duty in the previously designated zones. The crew of the F-16 aircraft dropped two 250-kilogram bombs on the house where the terrorists were hiding. During the implementation of the task, the unmanned aerial vehicle was commanded from the Nevada air force base in the other hemisphere. The task was secured by an air tanker, enabling the F-16 to be on duty for a long period on a signal from the ground.

In the fall of 2007, the MQ-1 Predators fought back terrorists carrying out covert rocket and mortar attacks on the important US Balad logistics base in Iraq. The action was commanded from operational centers in the United States. There was only a small group of operators at Balad taking care of take-offs and landings. Predators

<sup>8</sup> J.M. Brzezina, *Szkolenie operatorów bezzałogowych statków powietrznych (cz. III)*, "Przegląd Sił Powietrznych" 2009, no. 6, p. 40.

detected and eliminated terrorist groups eight times. Thanks to this air cover, the number of terrorist attacks has significantly decreased.

The capabilities of UAVs are constantly developing. An example is the Predator B, which can carry four 250 kg bombs each and stay in the air all day long.

Operating at high altitudes of approximately 20 km, Global Hawks, Fig. 7, can carry out missions from 24 to 28 hours long and can launch complex battlefield apparatuses. Global Hawk, performing tasks at such high altitudes, is inaccessible to enemy fighter planes and air defense missiles.



Figure 7. Global Hawk

Source: [www.google.pl/imgres?imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/RQ-4\\_Global\\_Hawk.jpg](http://www.google.pl/imgres?imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/RQ-4_Global_Hawk.jpg) [access: 11.08.2020].

Global Hawk<sup>9</sup> also does not require cooperation with the operator. The route is programmed on the ground and the operator only checks the task in progress. However, in a situation where it is necessary to make corrections or change the planned route, the operator may change the previously entered parameters. On board of this unmanned aerial vehicle there is a SAR radar with a tracking radius of up to 160 km, a camera that sees in infrared at night, the EO/R sensor which can operate within a radius of up to 50 km. Global Hawks are commanded from three Combined Air Operations Centers (CAOC). Images obtained from radars and sensors installed on board of this UAV are exchanged in real time via the Internet, classified voicemail, electronic chat and used in real time for planning and conducting combat operations. In the near future, UAVs will be adapted to airlift and air refueling tasks as well as other jobs resulting from the needs of the dynamically developing battlefield.

<sup>9</sup> Tactical and technical data of RQ-4B Global Hawk: drive - turbofan engine – “Rolls-Royce AE 3007H”; maximum flight duration – over 36 hours; cruising speed – 310 kts / 574 km/h; practical ceiling – 60.000 ft / 18.300 m; wingspan – 39.9 m; length – 14.5 m; height – 4.6 m; maximum take-off weight (MTOW) – 14.628 kg; maximum payload – 1360 kg.

Currently, there is a race of the armed forces in the use of UAVs on the modern battlefield. However, their application will only increase after the use of airspace by manned and unmanned aerial vehicles is regulated.

#### 4. LEGAL ASPECTS OF THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE POLISH AIRSPACE

The development of unmanned systems, particularly visible in the plans to modernize the armed forces, is the result of the progress of new technologies and the needs of the military. It extends the possibilities of advancing the “robotization of the battlefield”.

Currently, there are over 250 types of UAVs in the world, of many classes, from miniature flying apparatuses to those that can carry out long-term flights with technologically modern weapons in the stratosphere and space. The systematic growth of unmanned aviation equipment and its increasing use make them become noticeable airspace users.

The state civil aviation administration bodies, the representatives of the Polish Armed Forces and international organizations are currently working on the provisions on the use of unmanned aerial vehicles. The most important of the organizations are:

- International Civil Aviation Organization – ICAO;
- European Organization for the Safety of Air Navigation – Eurocontrol<sup>10</sup>;
- European Defense Agency – EDA;
- European Union Aviation Safety Agency – EASA.

The regulations contained in the draft amendments to the aviation law regarding the use of the Polish airspace are consistent with the arrangements and guidelines of the above-mentioned organizations, and in particular with the guidelines of the European Organization for the Safety of Air Navigation. Eurocontrol is of the opinion that the widespread use of UAVs will only be possible if these vehicles meet the same safety criteria as those of manned aircraft.

Generally speaking, UAVs and their systems have to move in the controlled airspace in accordance with ICAO rules for manned aircraft. The aim of ICAO’s activities in relation to unmanned aviation is to provide a basic international legal framework by introducing:

- relevant standards;
- procedures;
- recommended practices;
- advisory materials providing the basis for the skillful and safe performance of all types of UAV operations in the common area with the manned aviation.

---

<sup>10</sup> EUROCONTROL was established in 1960 pursuant to the provisions of the international convention for cooperation in the field of the safety of air navigation EUROCONTROL, signed on December 13, 1960 in Brussels, as amended by the additional protocol of July 6, 1970, as amended by the protocol of November 21, 1978, fully amended by the protocol of February 12, 1981 (Journal of Laws of 2006, No. 238, item 1723). Currently, this organization has 38 member states.

The general goal of ICAO's activities is the following motto: the level of aviation safety after the integration of the UAV with non-segregated airspace - cannot be lower than that for manned aviation.

The Chicago Convention<sup>11</sup> stipulates that UAVs may only fly over the territory of a Contracting State with a special authorization from that State and in accordance with the terms of such authorization. A Contracting State provides UAV flights control in areas open to civil aircraft.

By means of international legislative measures, the aim is to achieve a level of safety that will ensure that UAV flights in air traffic services spaces do not pose a greater threat to persons and property on the ground and in the air than caused by manned aircraft of the appropriate class and category. Representatives of the Member States, representing civil and state aviation authorities, industry and research and development centers, participate in the work of task forces working within these organizations. Aviation regulations are agreed on a global scale in accordance with the Convention on International Civil Aviation. International standards and proposed methods of conduct in this field are updated and adopted by the ICAO Council, adding them as annexes to this Convention. The organization also publishes various normative documents that define the procedures of air navigation services.

Summing up, it should be stated that the international tasks of military aircraft are carried out in accordance with the ICAO regulations.

The provisions regarding UAV appeared in the Aviation Law after the amendment of June 30, 2011 (Journal of Laws No. 170, item 1015), which entered into force on September 18, 2011. Before the amendment, the law prohibited any unmanned aerial vehicle from flying in controlled airspace without the prior consent of the President of the Office specifying detailed rules for this type of flights.

The amended aviation law contains two provisions directly related to the issue of unmanned aerial vehicles, art. 126<sup>12</sup> and 149. Art. 126 allows for the performance of UAV flights in the Polish airspace on the basis of a flight plan and provided that they

---

<sup>11</sup> Article 8 of the Chicago Convention.

<sup>12</sup> In the amended Aviation Law, Article 126 was replaced by the following:

1. Unmanned aerial vehicle flights may be performed in the Polish airspace.
2. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) shall be equipped with the same facilities for flight, navigation and communication as a manned aircraft operating according to visual flight rules (VFR) or instrument flight rules (IFR) in the specified airspace class. The derogations applicable to manned aircraft in this respect apply equally to unmanned aerial vehicles (UAV).
3. The flights of the unmanned aerial vehicles equipped in accordance with paragraph 2 may be conducted on the basis of a flight plan in the manner and under the conditions referred to in item 5, subject to article 149.
4. Flights of unmanned aerial vehicles without the equipment referred to in item 2, can be performed in zones separated from the airspace generally accessible to aviation, taking into account the regulations issued on the basis of article 121 paragraph 5.
5. The minister responsible for transport, in consultation with the Minister of National Defense, shall define, by way of a regulation, the detailed method and conditions of performing flights of the UAVs within the Polish airspace, and the procedures for cooperation between the operators of the vehicles and air traffic service providers, taking into account the principles of safe use of the airspace.



are equipped with the same devices enabling flight, navigation and communication as a manned aircraft performing a flight according to visual flight rules (VFR) or instrument flight rules (IFR) in the specific airspace class.

The flights of unmanned aerial vehicles without the required equipment may be performed only in areas separated from the airspace open to aviation.

Paragraph 5 of article 126 contains an authorization for the minister responsible for transport and the Minister of National Defense to define, by way of a regulation, the detailed method and conditions for the performance of flights by unmanned aerial vehicles in the Polish airspace, and the procedures for cooperation between the operators of these UAVs and the air traffic service providers, taking into account the principles of safe use of the airspace.

Whereas in art. 149<sup>13</sup>, the legislator stated, in accordance with the interpretation of art. 8 of the Chicago Convention that: the performance of international flights by civil unmanned aerial vehicles requires an authorization granted by the President of the Office in agreement with the relevant military authorities.

Due to the fact that apart from the aforementioned regulations, no other executive regulations have been established so far, there is practically no legal basis for UAV flights in the air traffic services spaces in the FIR Warsaw flight information area.

According to the rules of the use of the Polish airspace, UAV flights can only be performed inside unclassified structures managed by AMC Poland, i.e. in dangerous zones (D) – above aviation, artillery and sea training grounds or in temporarily separated zones (TSA), i.e. based on the rules that are in force in the European countries. Unfortunately, although the new regulations open the Polish airspace for the UAV users, they cannot be used anyway, because there is still a regulation under development that is to specify the detailed method and conditions of UAV flights. Due to the lack of legislative arrangements, in FIR Warsaw UAV flights can be performed only in the segregated elements of the space structures. It should be emphasized, however, that the draft regulation introduces a division into UAVs weighing up to 30 kg and weighing more than 30 kg, setting different conditions of use for them.

UAVs weighing up to 30 kg will be considered models. The draft assumes that they will be able to fly in the controlled airspace on the basis of the authorization of the air traffic control unit. They are forbidden to perform flights in a distance of less than 150 m from densely built-up cities, towns and settlements, and in a distance of less than 50 m from people, buildings and vehicles.

On the other hand, the flights of UAVs weighing more than 30 kg will be carried out in accordance with the air traffic regulations for the flight information area, the so-called FIR Warsaw, on the same terms as in the case of manned ships, according to the airspace class. The flight of such a vehicle will be continuously tracked to keep it in accordance with the approved flight plan.

---

<sup>13</sup> In the amended Aviation Law art. 149 was replaced by the following: The performance of international flights by foreign civil unmanned aircraft requires a permit granted by the President of the Office in consultation with the relevant military authorities.

An unmanned aircraft weighing more than 30 kg must be equipped with similar devices for flight, navigation and communication as a manned aircraft performing a VFR or IFR flight. The derogations that apply to manned aircraft in this respect will also apply to unmanned aerial vehicles.

The draft regulation also proposes precise rules that will guarantee the safety of flights in the Polish space.

In the event of losing the radio communication between the pilot-operator and the UAV, its technical equipment must ensure the flight in accordance with the planned parameters.

The emergency mode must also ensure the safety of other airspace users. The UAV pilot-operator and the air traffic controller will be required to be familiar with the specific flight procedures and parameters. It means that even if the pilot-operator loses the ability to remotely control the aircraft and it changes to autonomous control, the pilot-operator must know all possible variants of the autonomous aircraft flight in such a situation and must inform the air traffic control about them on an ongoing basis.

Moreover, the same separation rules will be applied to UAVs as to other airspace users.

Also, the Polish Air Navigation Services Agency has developed a document called "Air Traffic Safety Analysis", which provides the basis for designating zones for UAV flights used by the Polish Armed Forces and establishes the safety rules for the use of this space. The main assumptions of the Safety Analysis define the rules of UAV flights, introduce the need to secure these flights by segregating the airspace. Certain security systems should be ready to secure flights within the designated zones, even in the event of a complete loss of control over the flying UAV by the pilot-operator. The responsibility for keeping the UAVs in the zone lies with the pilot-operator, who is obliged to maintain safe altitudes and distances from the boundaries of the established zone according to the rules, for example: Orbiter – 500 m, Aerostar – 1500 m from the horizontal boundaries and both types – 150 m from the vertical boundaries of a certain zone.

## 5. PLANNING THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN COMBAT OPERATIONS

It can be assumed that the main area of application of the UAV on the future battlefield will be the zone from a few to several kilometers into the enemy group, i.e. the zone of operational and tactical activities. In this zone, the opponent has a large potential of forces and resources concentrated.

In the today's dynamic battlefield, the most important thing is to receive information at the right time, preferably the confirmed information about the position of the troops.

These most important factors, combined with the environment of military operations, define the requirements which must be met by UAVs, and determine the methods of their application.

In the today's battlefield, meeting the needs of various types of forces, UAVs will be used mainly in three groups of tasks:

The tasks of the first group include recognition, observation of the battlefield and determination of the effects of attacks. These tasks include:

- Recognition of the enemy's combat group at tactical, operational and strategic levels;
- Tracking the movement of troops on land and at sea;
- Tracking the movement of the reserve;
- Recognition of the aviation home bases;
- Recognition of ground components of precision weapon systems;
- Recognition of command systems, surface and underwater objects;
- Identification of the means of anti-tank defense and anti-aircraft defense systems and other means radiating electromagnetic energy;
- Observation of the battlefield and identification of targets for firearms;
- Determination of the effects of firearms strikes and other reconnaissance tasks resulting from immediate military needs.

The second group are fire tasks. This group will include tasks carried out in the field of:

- Direct support;
- Air isolation;
- Participation in an airborne operational or strategic attack;
- Other types of activities on land, sea and in the air.

The third group will be supporting and auxiliary tasks. These will be tasks such as:

- Special;
- Propaganda;
- Sham.<sup>14</sup>

## 6. SUMMARY

In conclusion, the use of UAVs for military purposes and the purposes of the national economy will become more and more common. UAVs are becoming more and more perfect and they already perform tasks previously reserved only for manned aircraft. Their further development is closely related to the further pace of development of modern technologies. However, the rapid development of such areas as: miniaturization, robotization, availability of GPS channels, and IT confirms the belief that their further development is inevitable and very close. It can be assumed that such tasks as air refueling, transport, space observation, fighting maneuvering and counteracting air targets will be real in the near future, i.e. in the next 10–15 years.

<sup>14</sup> J. Karpowicz, K. Kozłowski, *Bezzałogowe statki powietrzne i miniaturowe aparaty latające*, AON, Warsaw 2003, p. 97.

But, the implementation of UAVs is associated with the following requirements:

- the Polish civil and military aviation must be made ready by introducing appropriate legal regulations, to implement new, deemed revolutionary not so long ago but common today, technological solutions;
- appropriate legal regulations should aim at establishing uniform terminology in line with the international nomenclature;
- it is necessary to create rules of law for the safe use of UAVs in space, defining the rules for their separation from other aircraft, rules for using airports and performing airport operations;
- providing UAVs with access to controlled and uncontrolled airspace requires the definition of incident and air accidents involving unmanned aviation investigation regulations, as well as the rules of legal liability for damage caused by their participation.

To sum up, the introduced legal regulations should aim at providing all users of the Polish airspace the required level of flight safety.

## BIBLIOGRAPHY

### Compact studies

Adamski M., Rajchel J., *Bezzałogowe statki powietrzne, Cz. I. Charakterystyka i wykorzystanie*, WSOSP, Dęblin 2013.

Brzezina J.M., *Szkolenie operatorów bezzałogowych statków powietrznych (cz. III)*, "Przegląd Sił Powietrznych" 2009, no. 6.

*Debiut bojowy MQ-9 Reaper w Afganistanie*, "Aero" 2007, no. 11.

*Evolving Eyes*, "Air Forces" 2007, no. 11.

Goodman G.W. jr., *Congested Airspace*, "Defence News", 30 January 2006.

Gotowała J., *Powietrzna wojna robotów*, "Przegląd Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej" 2004, no. 6.

Grant R., *G H Sweeps Iraqi Terrain*, "Defence News", 12 July 2004.

Hołdanowicz G., *BSL – polskie plany*, "Raport WTO" 2004, no. 9.

*Jednostka BLS rozpoczęła służbę*, "Raport WTO" 2007, no. 12.

Karpowicz J., Kozłowski K., *Bezzałogowe statki powietrzne i miniaturowe aparaty latające*, AON, Warszawa 2003.

Kemp D., Hodge N., *Forward Flight*, "Jane's Defence Weekly", 12 December 2007.

Krzysztofowicz K., *Bezpilotowe środki latające (BSL)*, "Lotnictwo" 1994, no. 1.

Mordawski H., *Nadlatują bezpilotowe*, "Wiraże" 2004, no. 3.

*Ready for duty: Shadow UCAVs*, "C4ISR Journal" 2004, no. 10.

*Vision of the Polish Armed Forces – 2030*, MON, Warsaw 2008.

## Legal acts

---

Act of July 3, 2002, Aviation Law.

Convention on International Civil Aviation, signed in Chicago on December 7, 1944 - Chicago Convention (Journal of Laws of 1959, No. 35, item 212, as amended).

Regulation of the Minister of Transport, Construction and Maritime Economy of June 26, 2012.

## Internet sources

---

[www.altair.com.pl/magazines/article?article\\_id=356](http://www.altair.com.pl/magazines/article?article_id=356) [access: 20.06.2020].

[www.armytechnology.com/projects/rq11raven](http://www.armytechnology.com/projects/rq11raven) [access: 3.06.2020].

[www.google.pl/imgres?imgurl=http://defense-update.com/images/predator-050506-F-0000S-002.jpg&imgrefurl=http://defense-update.com/products/p/predator](http://www.google.pl/imgres?imgurl=http://defense-update.com/images/predator-050506-F-0000S-002.jpg&imgrefurl=http://defense-update.com/products/p/predator) [access: 12.07.2020].

[www.google.pl/imgres?imgurl=http://img156.imageshack.us/img156/591/92608464.jpg&imgrefurl=http://www.defence.pk/forums/military-forum/32863-ngc-hunter-unmanned-air-system-successfully-completes-gps](http://www.google.pl/imgres?imgurl=http://img156.imageshack.us/img156/591/92608464.jpg&imgrefurl=http://www.defence.pk/forums/military-forum/32863-ngc-hunter-unmanned-air-system-successfully-completes-gps) [access: 5.07.2020].

[www.google.pl/imgres?imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/RQ-4\\_Global\\_Hawk.jpg&](http://www.google.pl/imgres?imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/RQ-4_Global_Hawk.jpg&) [access: 11.08.2020].

[www.google.pl/imgres?q=mq9+predator+b&sa=X&biw=1333&bih=645&tbnid=bMl6NyOpbrxUaM:&imgrefurl=http://www.airwar.ru/enc/bpla/mq9.html&docid=ZVYTZOsxFzSLNM&imgurl=http://www.airwar.ru/image/idop/bpla/mq9/mq9-2.jpg](http://www.google.pl/imgres?q=mq9+predator+b&sa=X&biw=1333&bih=645&tbnid=bMl6NyOpbrxUaM:&imgrefurl=http://www.airwar.ru/enc/bpla/mq9.html&docid=ZVYTZOsxFzSLNM&imgurl=http://www.airwar.ru/image/idop/bpla/mq9/mq9-2.jpg) [access: 11.08.2020].

[www.google.pl/search?client=opera&q=/AIR\\_UAV\\_RQ7\\_Shadow\\_Maintenance\\_on\\_Flightline\\_lg.jpg](http://www.google.pl/search?client=opera&q=/AIR_UAV_RQ7_Shadow_Maintenance_on_Flightline_lg.jpg) [access: 24.06.2020].







**PUBLISHING HOUSE**  
POLISH AIR FORCE UNIVERSITY