



**TRENDY ROZWOJOWE
BEZZAŁOGOWYCH SYSTEMÓW LATAJĄCYCH**
*DEVELOPING TRENDS
OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS*

Dariusz BECMER, Dariusz SKORUPKA, Artur DUCHACZEK
Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. gen. Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu
Military College Named after Gen. Thaddeus Kosciuszko in Wrocław

Streszczenie: Autorzy opracowania przedstawiają możliwości wykorzystania bezzałogowych systemów latających do identyfikacji i neutralizacji zagrożeń. Ponadto opisują kierunki rozwoju koncepcji użycia bezzałogowych systemów latających dotyczących tworzenia tzw. „rojów” złożonych z dużej liczby platform bezzałogowych o niewielkich wymiarach, mających na pokładzie różne, dostosowane do charakteru misji wyposażenie.

Słowa kluczowe: bezzałogowe systemy latające (BSL), dron, identyfikacja zagrożeń, kierunki rozwój BSL

1. Wstęp

Analiza literatury dotyczącej kierunków rozwoju uzbrojenia i wyposażenia sił zbrojnych oraz wizji przyszłych działań, jak również analiza konfliktów zbrojnych występujących po drugiej wojnie światowej stanowią podstawy do sformułowania określonych wniosków. Wnioski te potwierdzają prawidłowość, że osiągnięcie celu walki będzie w głównej mierze uzależnione od przewagi informacyjnej oraz technicznej i technologicznej. Dlatego też jednym z kluczowych kierunków rozwoju sił zbrojnych różnych państw świata jest rozwój zaawansowanych technologicznie systemów, do których zalicza się m.in. systemy bezzałogowe.

Bezzałogowe systemy latające (BSL), to obecnie bardzo dynamicznie rozwijający się

Abstract: Authors of the paper present possibilities of using unmanned aircraft systems for identification and neutralisation of threats. They also describe developing trends of a concept of using unmanned aircraft systems that refers to creation of so called “swarms” composed of a great number of unmanned small size platforms with different onboard equipment adapted to the type of mission.

Keywords: unmanned aircraft systems (UAS), drone, identification of threats, development trends of UAS

1. Introduction

The studies of literature concerning development trends of weapon systems and equipment for the armed forces, and the vision of future actions, and also the analysis of military conflicts after the Second World War are the base to draw particular conclusions. These conclusions confirm the rule saying that the achieving of combat objectives depends in general on information, technical and technological supremacy. For this reason one of key development trends of armed forces in many countries is the development of technologically advanced systems like the unmanned systems.

Unmanned aircraft systems (UAS) be-
long now to dynamically developing type

rodzaj lotnictwa. Postęp w rozwoju tego typu obiektów latających jest konsekwencją wielu czynników, z których najbardziej istotne to: poziom zaawansowania konstrukcyjno-technologicznego, koszty eksploatacji, bezpieczeństwo, a także rozwój koncepcji prowadzenia działań taktycznych, zarówno militarnych jak i niemilitarnych z użyciem środków bezzałogowych. Główną zaletą BSL jest możliwość wykonania autonomicznych lub sterowanych zdalnie lotów w warunkach, w których użycie pilotowanych statków powietrznych jest niemożliwe, zbyt trudne bądź ekonomicznie nieuzasadnione.

2. Rozwój bezzałogowych systemów latających

Badania nad konstrukcjami bezzałogowych samolotów były prowadzone od czasu, gdy dokonano pierwszego udanego lotu samolotu bezzałogowego bez użycia linki sterującej. Wydarzenie to miało miejsce 6 maja 1896 roku nad rzeką Potomac, gdzie samolot o nazwie Aerodrome Nr 5, zbudowany przez Samuela Pierpointa Langleya, napędzany silnikiem parowym, wykonał ciągły lot trwający ponad minutę [4].

We wrześniu 1903 roku niemiecki konstruktor Carl Jatho dokonał oblotu skonstruowanego przez niego dwupłatowego samolotu bezzałogowego, napędzanego silnikiem benzynowym o mocy 9,5 KM, którym przeleciał dystans 59,74 m na wysokości ponad 3 m. Lot ten został odbyty wcześniej i na większą odległość niż wykonany przez braci Wright lot załogowy (17 grudnia 1903 roku). Jednakże to właśnie pierwszy przelot braci Wright wywołał prawdziwą rewolucję technologiczną nie tylko w lotnictwie, ale także odcisnął znaczące piętno w rozwoju otaczającego nas świata [9].

Intensyfikacja badań nad konstrukcjami bezzałogowych samolotów miała miejsce podczas I wojny światowej. Były one inicjowane zarówno przez Marynarkę Wojenną, jak również Wojska Lądowe Stanów Zjednoczonych. Pierwsze konstrukcje samolotów bezzałogowych jednakże bardzo często ulegały całkowitemu zniszczeniu w wyniku upadku podczas testów, co zazwyczaj powodowało zatrzymanie dalszych prac nad danym projektem. Do głównych problemów, którym początkowo nie

of aviation. The progress connected with the development of these type of flying objects is the result of many factors such as: level of design-technological development, costs of exploitation, safety and also the development of the conception for carrying out both military and civilian tactical operations with the use of unmanned assets. The main advantage of UAS is the possibility for autonomous or remotely controlled flights in the conditions where the use of manned aircraft is impossible, too difficult or economically unreasonable.

2. Development of unmanned aircraft systems

The designs of unmanned planes have been studied since the first successful flight of unmanned plane took place without using any controlling string. The event happened on 6 May, 1896 near the Potomac River where the plane named Aerodrome No 5 built by Samuel Pierpoint Langley and propelled by a steam engine performed the continuous flight with the duration time greater than one minute [4].

In September 1903 German designer Carl Jatho performed a test flight of unmanned biplane that he designed and that was propelled by petrol motor of 9.5 KM to cover the distance of 59.74 m at the height above 3 m. This flight happened earlier and covered the longer distance than the flight that was piloted by Wright brothers (17 December, 1903). Nonetheless it was the first flight of Wright brothers that launched the real technological revolution not only in the aviation but also had a significant impact onto the worldwide progress [9].

The intensity of research work on the designs of unmanned planes was greater at the time of the First World War. It was initiated both by the Navy and the land forces of the US. The first designs of unmanned planes were often completely destroyed at test flights and the further work on the project was stopped. The designers initially had a serious problem

mogli sprostać konstruktorzy zaliczono start samolotu i uzyskanie przez niego prędkości zapewniającej stabilny lot. Kolejne wiązały się z ograniczoną wiedzą dotyczącą aerodynamiki, niewłaściwie prowadzonymi testami oraz nieprzemyślanymi, tworzonymi w pośpiechu konstrukcjami samolotów, które w powietrzu zachowywały się niestabilnie. Oprócz wymienionych wcześniej problem również stanowiły rozwiązania techniczne, a konkretnie system sterowania, napędu oraz „delikatna” konstrukcja samolotu, ponieważ projektowano je najczęściej, jako jednorazowego użytku.

W okresie międzywojennym zaczęto wyposażać samoloty bezzałogowe w radiowe systemy sterowania.

to cope with the plane take off and achieving the velocities that provide a stable flight. The next problems were connected with the limited knowledge of aerodynamics, wrong testing procedures and not well prepared or created too quickly designs of the planes which behaved unstably in the air. Apart of that there were also problems with technical solutions including especially the system of control, propelling and “fragile” designs of planes as they were usually designated for the disposable use.

In time between the Wars the unmanned planes started to become equipped with the radio controlled systems.

... w kwietniu 1941 roku przeprowadzono pierwszy udany atak bojowy sterowanym radiowo samolotem Curtiss TG-2 z użyciem atrapy torpedy.

... in April 1941 the first successful live attack was performed by radio controlled plane Curtiss TG-2 with the use of wooden torpedo.

W wyniku rozwoju koncepcji użycia samolotów bezzałogowych w kwietniu 1941 roku przeprowadzono pierwszy udany atak bojowy sterowanym radiowo samolotem Curtiss TG-2 z użyciem atrapy torpedy. Statek bezzałogowy był kontrolowany z „samolotu-matki” oddalonego o ok. 33 km i uderzył dokładnie w cel. W rezultacie odniesionego sukcesu uruchomiono w 1942 roku program budowy 500 bezzałogowych samolotów uderzeniowych i 170 samolotów-matek z aparaturą umożliwiającą kierowanie lotem tych pierwszych.

Podczas II wojny światowej nadal prowadzono badania nad bezzałogowymi samolotami uderzeniowymi, co zaowocowało wynalezieniem w 1940 roku kilku rodzajów broni kierowanej. Jednakże po zakończeniu II wojny światowej uzmysłowiono sobie, że przystosowywanie samolotów załogowych do roli celów szkoleniowych i rozpoznawczych statków bezzałogowych jest nieekonomiczne i zbyt drogie. Stąd stało się oczywiste, że statki bezzałogowe powinny być mniejsze, tańsze w produkcji i eksploatacji oraz charakteryzo-

The development of concept for using unmanned planes caused the first successful live attack was performed by radio controlled plane Curtiss TG-2 in April 1941 with the use of wooden torpedo. The unmanned aircraft was controlled from the “mother plane”, that was ca. 33 km away, and hit precisely the target. As the result of this success, the program was launched in 1942 to built 500 unmanned striking planes and 170 mother-planes with the equipment for controlling the flight of the first ones.

During the WW II the research work was continued on the unmanned strike planes what resulted on the invention of a few different types of controlled (guided) weapon systems in 1940. Nevertheless after the WWII the conclusion was made that the adaptation of manned planes to the purposes of unmanned training and recognition planes is too expensive. For that reason it became obvious that the unmanned aircraft has to be smaller,

wać się większą manewrowością niż budowane wcześniej samoloty.

Znaczący rozwój bezzałogowych systemów latających w Stanach Zjednoczonych nastąpił w wyniku wojny wietnamskiej (1965-1973), w której wojska amerykańskie poniosły dotkliwe straty w załogowych samolotach rozpoznawczych *RF-101* i *RF-4C Phantom*, używanych do fotografowania terenu w rejonach zainteresowania rozpoznawczego. Samoloty te były zmuszone utrzymywać stałe parametry lotu, co powodowało bardzo częste przypadki trafienia ich w wyniku prowadzenia ognia artylerii przeciwlotniczej Wietkongu [5]. Szybko przekonano się, że wykorzystywanie w wojnie wietnamskiej bezzałogowego statku powietrznego *AQM-34 Firebee* (fot. 1), do najbardziej ryzykownych zadań, znacząco wpłynęło na ograniczenie strat wśród pilotów. Podczas wojny w Wietnamie około 1000 tych bezzałogowych statków wykonało 3435 rozpoznawczych lotów bojowych [2].

cheaper in manufacture and use and characterised by the greater manoeuvrability than the planes which were built earlier.

The significant development of unmanned aircraft systems in the US took place as the result of Vietnam War (1965-1973) where the US forces suffered serious losses in recognising piloted planes *RF-101* and *RF-4C Phantom* used for taking pictures of specific areas. These planes had to keep constant characteristics of the flight what often resulted by hitting them by Vietcong antiaircraft artillery shelling [5]. It became clear in a short time that the use in the Vietnam War of the unmanned aircraft *AQM-34 Firebee* (Photograph. 1) for the most risky missions substantially decreased the losses of pilots. At the time of Vietnam War ca. 1000 of these unmanned planes performed 3435 recognising combat missions [2].



Fot. 1. AQM-34 Firebee

Źródło: Dave Bezaire & Susi Havens-Bezaire, [online].[dostęp: 29.06.2013].

Dostępny w internecie: <http://www.flickr.com/photos/75988799@N00/6788289492>

Photograph 1. AQM-34 Firebee

Origin: Dave Bezaire & Susi Havens-Bezaire, [online].[taken on: 29.06.2013].

Accessible in the internet: <http://www.flickr.com/photos/75988799@N00/6788289492>

Rozpatrując konflikty zbrojne na Bliskim Wschodzie można wysnuć wniosek, że dla Izraela głównym bodźcem do konstruowania i doskonalenia rozpoznawczych BSL była wojna Yom Kippur w 1973 roku, w której izraelskie lotnictwo poniosło dotkliwe straty, związane ze stworzeniem przez wojska egipskie „parasola” przeciwlotniczego, skutecznie chroniącego ich wojska przed lotnictwem izraelskim. Dlatego też, po wojnie rozpoczęto zakrojony na szeroką skalę program badaw-

Analysing the military conflicts in the far East the conclusion may be drawn that the main stimulation for the Israel to design and improve the recognising UAS was the Yom Kippur War in 1973 when the Israeli aviation suffered heavy losses as the Egyptian forces deployed an effective antiaircraft protecting “umbrella”. For this reason after the war an extensive research and development program was launched with the aim to

czo-rozwojowy mający na celu opracowanie i skonstruowanie rozpoznawczego BSL. W wyniku prowadzonych prac w 1982 roku, podczas operacji „Pokój dla Galilei” skierowanej przeciwko oddziałom Organizacji Wyzwolenia Palestyny, stacjonującym w pograżonym wojną domową Libanie, zastosowano do wykrywania syryjskich systemów przeciwlotniczych rozpoznawcze i rozpoznawczo-bojowe bezzałogowe statki powietrzne: *Mastiff* i *Scout* (fot. 2).

design and build the reconnaissance UAS. As the result of performed work in 1982 during the operation „Peace for Galilee” launched against the forces of Palestine Liberation Organisation staying in the territory of engulfed in civil war Lebanon the reconnaissance and reconnaissance-striking unmanned planes *Mastiff* and *Scout* (Photograph 2) were applied for the detection of Syrian antiaircraft systems.



Fot. 2. Na zdjęciu: a) bsp Scout, b) bsp Mastiff

Źródło: [online].[dostęp: 29.06.2013]. Dostępny w Internecie: <http://en.wikipedia.org>

Photograph 2. The pictures of: a) UAS Scout, b) UAS Mastiff

Origin: [online].[access: 29.06.2013]. Accessible in the Internet: <http://en.wikipedia.org>

Wydarzyło się to w rejonie doliny Bekaa. Przelot BSL powodował uaktywnienie radarów stanowisk obrony przeciwlotniczej, których współrzędne położenia automatycznie zapisywał izraelski system wczesnego wykrywania i ostrzegania. W kolejnej fazie operacji były one niszczone za pomocą samolotów *F-4*, *F-15* i *F-16*. Całość koordynował samolot z systemem wczesnego ostrzegania i kontroli przestrzeni powietrznej (AWACS) - *E-2C Hawkeye*. W ciągu dwóch godzin siły powietrzne Izraela (IAF) zniszczyły 17, a dwie poważnie uszkodziły z dziesiętnastu stanowisk syryjskich pocisków rakietowych typu: SA-2, SA-3, SA-6 nie tracąc ani jednego pilota [11], [12].

3. Charakterystyka możliwości wykorzystania bezzałogowych systemów latających

Użycie bezzałogowych systemów latających w lokalnych konfliktach zbrojnych stanowiło i nadal stanowi źródło doświadczeń, których analiza była i jest podstawą do prowadzeń dalszych badań w tym kierunku. Obecnie na świe-

It happened in the region of Bekaa valley. The flight of UAS caused the activation of antiaircraft defence radar systems and their coordinates were recorded automatically by the Israeli system of early detection and warning. In the next phase of operation they were destroyed by *F-4*, *F-15* and *F-16* planes. Everything has been coordinated by the aerial warning and space control system (AWACS) - *E-2C Hawkeye*. Within two hours the Israeli air forces (IAF) destroyed 17 and damaged seriously two of nineteen positions of the Syrian missiles SA-2, SA-3 and SA-6 without any own losses of pilots [11], [12].

3. Characteristics of possibilities for using the unmanned aircraft systems

The use of unmanned aircraft systems in local military conflicts has been a source of experiences which are studied to carry out further work and tests in this area. Now more and more countries try to develop

cie coraz więcej państw opracowuje własne lub rozwija już istniejące konstrukcje bezzałogowych systemów latających. Na podstawie analizy dostępnej literatury dotyczącej użycia bezzałogowych systemów latających w ostatnich konfliktach zbrojnych można stwierdzić, że niezależnie od szerokości działania, oraz wielkości bezzałogowego statku powietrznego (BSP), charakter wykonywanych zadań przez te systemy był bardzo podobny i obejmował takie zadania, jak:

- zobrazowanie pola walki dla dowódców różnych szczebli na morzu i na lądzie;
- dozorowanie pola walki w celu wykrywania zagrożeń dla własnych wojsk;
- poszukiwanie, wykrywanie i wskazywanie obiektów z użyciem laserowego wskaźnika celu;
- wsparcie dowodzenia pododdziałami, kierowania ogniem np. artylerii, obrony przeciwlotniczej, korygowanie ognia i ocena skutków uderzeń;
- niszczenie obiektów naziemnych, nawodnych i powietrznych (w tym balistycznych pocisków raketowych, śmigłowców i rakiet samosterujących);
- rozpoznanie radioelektroniczne, poprzez namierzanie, odbiór i analizę sygnałów emisji elektromagnetycznej, itp.;
- walka radioelektroniczna, poprzez niszczenie i zakłócanie węzłów łączności stanowisk dowodzenia oraz stacji radiolokacyjnych;
- wykorzystanie jako stacje retransmisyjne pomiędzy innym odległym BSP a naziemną stacją kontroli, tworzenie zastępczych sieci łączności;
- wsparcie w działaniach w terenie zabudowanym (mini i mikro BSP);
- zabezpieczenie działań sił specjalnych;
- prowadzenie walki psychologicznej, propagandowej;
- osłona i ochrona baz przed niespodziewanym atakiem z powietrza, morza i z lądu oraz likwidacja grup rozpoznanych jako terrorystyczne;
- rozpoznanie dróg i osłona konwojów;
- rozpoznanie trasy lotu śmigłowców;
- rozpoznanie zapór inżynierskich, poszukiwanie, lokalizacja pól minowych i umocnień przeciwnika na drogach podejścia i kierunkach wykonywanych uderzeń, oraz w głębi ugrupowania przeciwnika;

own or upgrade the existing designs of unmanned aircraft systems. Basing on the studies of available literature concerning the use of unmanned aircraft systems in the last military conflicts it can be stated that independently on the organisational level of operation and the size of the unmanned aerial vehicle (UAV) the character of tasks performed by these systems was similar and included such assignments as:

- Visualisation of battle field for different level commanders in the sea and land
- Surveying the battle field to detect the threats for own forces
- Searching, detection and pointing the objects by using target laser pointer
- Supporting the process of commanding the military units, fire controlling for artillery, antiaircraft defence, coordinating the fire and assessment of strikes
- Destroying the land, sea and aerial objects (including ballistic missiles, helicopters and self-guided missiles)
- Radio-electronic recognition through bearing, reception and analysis of electromagnetic emission signals, etc.
- Radio-electronic warfare through destroying and interfering command communication centres and radar stations
- Using as a retransmitting station between other more distanced UAV and the land control station, creation of replacing communication nets
- Support in operations carried out in the built area (mini and micro UAV)
- Securing the operations of special forces
- Carrying out the psychological and propaganda warfare
- Shielding and protection against unexpected attack from the air, sea and land and liquidation of groups recognised as terroristic ones
- Reconnaissance of roads and protection of convoys
- Helicopter flight path reconnaissance
- Reconnaissance of engineering barriers, searching and localisation of enemy mine fields and enforcements on the approaching roads and directions of performed attacks, and deep in the en-

- naprowadzanie i przesyłanie danych do uzbrojenia naprowadzanych samolotów w celu zniszczenia obiektu ataku;
- zabezpieczenie działań bojowego ratownictwa lotniczego;
- ratowanie załóg zestrzelonych samolotów i osób zaginionych na morzu i lądzie;
- sztuczne cele powietrzne;
- rozpoznanie i rejestracja chemicznego, biologicznego i promieniotwórczego skażenia itp. [3].

Rozpatrując użycie BSL w działaniach niemilitarnych, ich zastosowanie obejmowało m.in. następujące zadania:

- rozpoznanie meteorologiczne (pomiar temperatury, ciśnienia, wilgotności i zanieczyszczeń występujących w atmosferze);
- wykonywanie zdjęć dla celów kartograficznych i tworzenie map terenu dla potrzeb gospodarki narodowej;
- akcje ratowniczo – poszukiwawcze na lądzie i morzu;
- wsparcie informacyjne i kierowanie policyjnymi grupami antyterrorystycznymi podczas bezpośrednich akcji;
- kontrola zgromadzeń, rozruchów i zamieszek ulicznych;
- nawożenie i opryskiwanie pól uprawnych oraz szacowanie wielkości zbiorów,
- określanie wielkości zniszczeń w przypadku katastrof i niesienie pierwszej pomocy dla osób znajdujących się w miejscach trudno dostępnych;
- kontrolowanie zanieczyszczeń środowiska, w tym rozpoznanie skażeń powstałych w wyniku awarii w zakładach przemysłowych;
- monitorowanie obiektów skażonych, wokół których występuje promieniowanie zagrażające życiu ludzkiemu;
- patrolowanie i monitorowanie ruchu: w rejonach i na podejściach do granicy państwowej, obszarów trudnodostępnych i niebezpiecznych, terenów zamieszkałych, rejonów klęsk żywiołowych itp.;
- sprawdzanie obszarów leśnych (pod kątem pożarów, wykrywania ognisk lub poszukiwanie kłusowników, osób zaginionych);
- monitorowanie akwenów morskich, kontrola ruchu przybrzeżnego, red, portów;
- monitorowanie stanu technicznego linii energetycznych lub rurociągów;

emy positions

- Directing and sending data to weapon systems of guided planes to destroy the object of attack
 - Securing the aerial combat rescue operations
 - Rescue missions for crews of downed planes and persons missed on the sea or land
 - Artificial aerial targets
 - Recognition and recording chemical, biological and radioactive pollution [3].
- Considering the use of UAS in non-military operations the following tasks were performed:
- Meteorological recognition (measurement of temperature, humidity and pollution in the atmosphere)
 - Taking pictures for cartographic purposes and preparing the maps of an area for the needs of national economy
 - Land and sea rescue and searching operations
 - Information support and control for police antiterrorist actions
 - Monitoring the street meetings and riots
 - Fertilisation and watering the fields and estimation of yields
 - Assessment of damage in case of disasters and providing the first help for persons in places with difficult access
 - Monitoring the pollution of the environment including the recognition of contamination at industrial plants failures
 - Monitoring the contaminated objects surrounded by areas with the radiation level that is hazardous for the human life
 - Patrolling and monitoring the traffic: in the regions and approaches to the national borders, inhabited areas of difficult access and dangerous or affected by natural disasters, etc.
 - Surveying the forests (forest fires, detection of fires, searching the poachers and lost persons)
 - Monitoring sea areas, surveying the offshore traffic, ports and roadstead
 - Monitoring technical status of energetic lines or pipelines

- monitorowanie ruchu drogowego (zwłaszcza na drogach dojazdowych do dużych miast lub w okresach większej intensywności, np. podczas Dnia Wszystkich Świętych);
- kontrola obszarów wodnych (kontrola statków, które wypuściły wodę zęzową i zanieczyściły środowisko lub rybaków łowiących na niedozwolonych akwenach);
- w technice TV i filmowej (wykonywanie ujęć specjalnych, pokazywanie miejsc trudno dostępnych lub niebezpiecznych dla człowieka);
- dostarczanie przesyłek pocztowych, kurierskich w odległe rejony;
- monitorowanie zagrożeń lawinowych w górach [3], [16].

Analizując dostępne materiały oraz najnowsze doniesienia można również wywnioskować, że jednym z aktualnie panujących trendów na świecie, jest dążenie do konstruowania małych, tanich, o optymalnych charakterystykach technicznych bezzałogowych systemów latających (np. *Aerosonde*), które swoimi możliwościami zaczynają dorównywać dużym statkom (np. typu *Predator*).

4. Przykłady zastosowań bezzałogowych systemów latających

Wymieniony wcześniej BSL *Aerosonde* (fot. 3) może wykonywać lot, a także startować i lądować w sposób autonomiczny, dzięki satelitarnemu układowi nawigacyjnemu GPS, oraz łączności wykorzystującej zarówno zakres fal UHF, jak również satelitarne łącza wymiany danych systemu SATCOM. Jego ładowność użyteczna wynosi do 5 kg i może być wyposażony w kamerę obserwacyjną dzienną i termowizyjną, urządzenia zakłócające WE, i inne. Pierwotnie miał być tanim mini bezzałogowym statkiem powietrznym o dużej długotrwałości lotu przeznaczonym do obserwacji i zbierania danych meteorologicznych w odległych obszarach. Prace rozwojowe projektu tego BSL były prowadzone pomiędzy 1995 i 1998 w Australii przez dwie spółki: *Australian Bureau of Meteorology* z Australii, i *Insitu Group* ze Stanów Zjednoczonych. W ramach tego projektu statek wykonywał loty celem zbierania danych meteorologicznych w Australii, Ameryce Północnej, Japonii i Taj-

- Monitoring the traffic (especially on approaching roads to big cities or in times of greater intensity e.g. in the Day of All Saints)
- Surveying the water areas (surveying the vessels which let the dirty water out and contaminated the environment or the fishermen on forbidden areas)
- At TV and film technique (taking special pictures and in places of difficult access or dangerous for people)
- Delivery of post and courier shipment to remote areas
- Monitoring the threat of avalanche in mountains [3], [16].

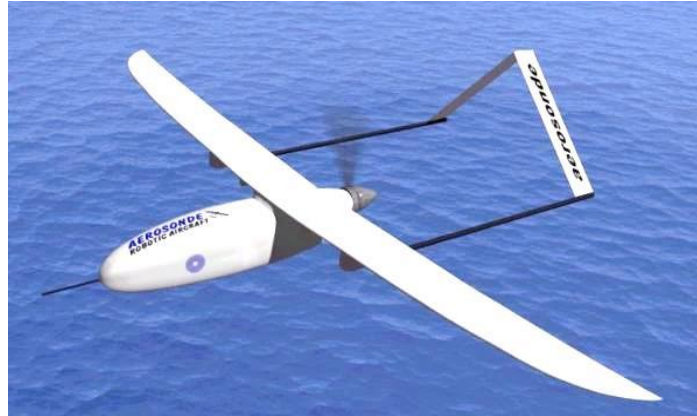
Analysing the accessible material and the newest information a conclusion may be also drawn that one of world currently dominating trends is a tendency to design unmanned aircraft systems with small size, cheap and possessing optimised technical characteristics (e.g. *Aerosonde*) which start to become compared with bigger systems (e.g. *Predator*) regarding their capacities.

1. Examples of application for unmanned aircraft systems

The UAS *Aerosonde* (Photograph 3) may fly, take off and land in autonomous way thanks to satellite navigation system GPS and the communication that uses both UHF bands and satellite data exchange links of SATCOM system. Its efficient loading capacity is up to 5 kg and it may be equipped with day and thermal observation camera, jamming equipment of electronic warfare and other instruments. According to its first designation it had to be an unmanned aerial vehicle with long term flying capacities for surveying and acquisition of meteorological data in remote regions. Development work on this UAS were carried out between 1995 and 1998 in Australia by two companies: *Australian Bureau of Meteorology* from Australia and *Insitu Group* from the US. In the frame of this project the vessel performed flights to collect meteorological data in Australia, North America, Japan

wanie. Obejmowały one swoim zakresem pomiary: ciśnienia atmosferycznego, kierunku i prędkości wiatru, temperatury i wilgotności powietrza, temperatury przy powierzchni morza i oceanu (z użyciem pirometru)¹ oraz wysokości terenu nad poziomem morza (z użyciem GPS).

and Taiwan. Following measurements were carried out: atmospheric pressure, direction and velocity of wind, temperature and humidity of air, temperature at the surface of sea and ocean (by using pyrometer)² and the height above the sea level (by using GPS).



Fot. 3. BSP Aerosonde

Źródło: Luis Gustavo Lira, [online]. [dostęp: 26.10.2013]. Dostępny w Internecie:
<http://www.flickr.com/photos/86954699@N00/17347704>

Photograph 3. UAS Aerosonde

Origin: Luis Gustavo Lira, [online]. [taken: 26.10.2013]. Available in the Internet:
<http://www.flickr.com/photos/86954699@N00/17347704>

W dniach 20-21 sierpnia 1998 roku *Aerosonde* stał się pierwszym bezzałogowym statkiem, który podczas autonomicznego lotu (według wprowadzonego programu lotu) przeleciał Atlantyk z Nowej Funlandii do Szkocji pokonując odległość 3270 km w czasie 26 godzin i 45 min., spalając przy tym tylko 6,5 litra benzyny (rys. 1).

Kolejne efektowne wydarzenie z udziałem BSL *Aerosonde Mk 3* miało miejsce 3 listopada 2007 roku, kiedy to opisywanego statku użyto do zbadania jądra huraganu *Noel* szalejącego w tym czasie 400 km od wybrzeża stanu Płn. Karoliny. Przedstawiciele NASA oficjalnie stwierdzili, że czujniki BSL *Aerosonde* odnotowały prędkość wiatru w oku huraganu przekraczającą 130 km/h. Statek zbierając dane spędził wewnątrz huraganu 7 godzin i 27 minut unosząc się na wysokości 91 m nad powierzchnią oceanu. Dane te były wysyłane

The *Aerosonde* became the first unmanned vehicle that on 20-21 August, 1998 during the autonomous flight (according to introduced program of the flight) flew the Atlantic Ocean from the New Funland to Scotland covering the distance 3270 km during 26 hours and 45 min. and spending only 6.5 litre of petrol (Figure 1).

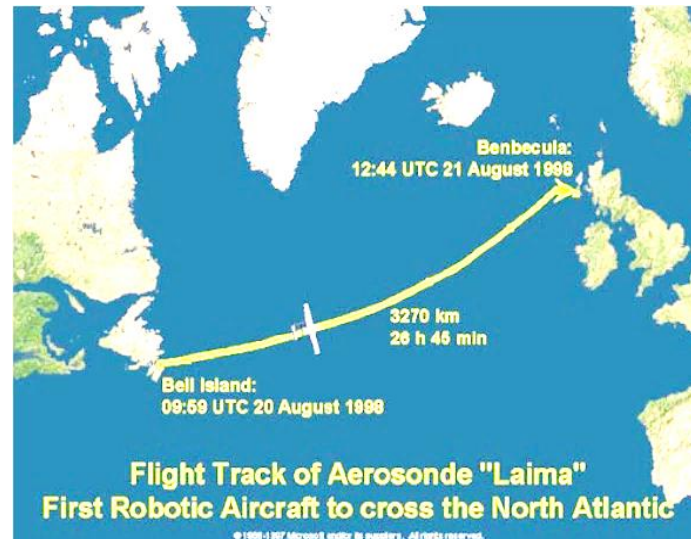
The next successful event with the use of UAS *Aerosonde Mk 3* took place on November, 2007 when it was used to examine the core of *Noel* Hurricane raging at that time 400 km from the coast of the North Caroline. The representatives of NASA have officially confirmed that the sensors of UAS *Aerosonde* measured the velocity of wind exceeding 130 km/h in the centre of the hurricane. The aircraft spent 7 hours and 27 minutes inside the hurricane at the height of 91 m to collect data. This

¹ Termometr optyczny - przyrząd do pomiaru temperatury metodą bezstykową (tj. przy braku bezpośredniego kontaktu z badanym ciałem) wykorzystujący promieniowanie cieplne [13].

² Optical thermometer – instrument for remote measurement of temperature (i.e. without direct contact with tested body) that uses thermal radiation [13].

poprzez łącza satelitarne do NOAA³ National Hurricane Center w Miami na Florydzie. W celu zebrania jak największej ilości danych NOAA postanowiła poświęcić opisywany BSL i wydłużyć czas jego lotu w oku huraganu aż do momentu wyczerpania się paliwa⁴, co spowodowało, że warty 35 000 \$ bezzałogowy samolot zakończył swoją misję utonięciem w falach Atlantyku [8].

data has been sent through the satellite links to NOAA⁵ National Hurricane Center in Miami in Florida. In order to collect possibly huge amount of data NOAA has decided to spent the UAS and extent the time of its flight in the eye of the hurricane until the fuel goes out⁶ what caused that the plane worth \$ 35 000.00 terminated its mission in the water of Atlantic Ocean [8].



Rys. 1. Trasa lotu BSP Aerosonde (o nazwie „Laima”), który przeleciał Atlantyck

Źródło: <http://www.u-dynamics.com> [online]. [dostęp: 26.10.2007]

Figure 1. Flight track of UAS Aerosonde (named „Laima”) that crossed the North Atlantic

Origin: <http://www.u-dynamics.com> [online]. [access: 26.10.2007]

BSL *Aerosonde* był wykorzystywany również przez grupę badaczy z Uniwersytetu w Kolorado do badania prądów powietrznych u wybrzeży Antarktyki w październiku 2009 roku. Dane zebrane w czasie tych badań umożliwiły naukowcom opracowanie trójwymiarowych map, które okazały się znaczącym wsparciem podczas studiowania wpływu wiatrów arktycznych na strukturę lodowca Oceanu Antarktycznego. Do badań użyto czterech bezzałogowych statków powietrznych (BSP), które podczas wykonywanych misji⁷ były wyposażone w urządzenia meteorologiczne służące do pomiaru ciśnienia powietrza, temperatury, wilgotności, prędkości wiatru, promieniowania

UAS *Aerosonde* was also used by the team of investigators from the Colorado University to investigate the currents of the air at the coasts of Antarctic in October 2009. The data acquired during these tests provided information for developing three dimensional maps which gave the significant support at studying the impact of Arctic winds onto the structure of the Antarctic Ocean glacier. The tests were carried out by four unmanned aerial vehicles (UAV) equipped for these missions⁹ with meteorological instruments for measuring air pressure, temperature and humidity, wind velocity, sun radiation,

³ NOAA - ang. *National Oceanic and Atmospheric Administration*.

⁴ Samolot był w powietrzu od godz. 14.00 2. listopada 2007 roku.

⁵ NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*.

⁶ The plane was in the air starting from 02.00 P.M. 02 November, 2007.

⁷ Podczas 16 misji zarejestrowano ponad 130 godzin lotu oraz przelot ponad 7 tys. mil przez opisywane BSP.

⁹ During 16 missions more than 130 hours of flight of these UAS were recorded at distance exceeding 7 000 miles.

słonecznego, temperatury powierzchni oceanu oraz grubości pokrywy lodowej. Samoloty *Aerosonde* wykonywały loty w temperaturze 38° C poniżej zera i utrzymywały się w powietrzu do 17 godzin [18].

Najnowsza wersja opisywanego bezzałogowego statku – *Aerosonde Mark 4.7* – jest przewidziana do użycia w lądowych oraz morskich działaniach militarnych i niemilitarnych zarówno przez wojska lądowe jak i siły morskie. Standardowy zestaw składa się z:

- 1) 3 bezzałogowych aparatów latających;
- 2) systemu odzyskiwania opartego na sieci chwytającej lądujący aparat;
- 3) zestawów wyposażenia pokładowego zależnego od misji:
 - a) do obserwacji dziennej – EO (*electro-optic*),
 - b) do obserwacji nocnej – IR (*infrared*),
 - c) i do laserowego wskazywania celów – LP (*laser pointer*);
- 4) tzw. ekspedycyjnej stacji kontroli lotu (ang. EGCS – *Expeditionary Ground Control Station*);
- 5) i wyposażenia naziemnego.

Na uwagę zasługuje fakt, że stacja EGCS jest stacją uniwersalną, wyposażoną w urządzenia zgodne ze STANAG-iem 4586, która została stworzona i gwarantuje interoperacyjność podczas kierowania i kontrolą lotu różnych systemów bezzałogowych, nie tylko *Aerosonde*. Po raz pierwszy tego dokonano w maju 2009 roku w czasie *Kansas Unmanned Systems Symposium*. Podczas demonstracji za pomocą tej stacji kontrolowano misje trzech systemów bezzałogowych. Wypuszczony został wtedy BSL *Aerosonde 4* wyposażony w głowicę z dzienną kamerą obserwacyjną, który zrealizował w pełni autonomiczny lot od wystartowania do lądowania lecąc na wysokości 4500 stóp (1372 m) oraz dwa mini systemy bezzałogowe *Orbiter*⁸. Jeden z nich był wyposażony również w głowicę do obserwacji dziennej i wykonywał lot na wysokości 1500 stóp (457 m), a drugi z głowicą noktowizyjną (IR) realizował lot na wysokości 1000 stóp (304 m). Eksperyment wskazał na istotną zaletę, jaką jest możliwość otrzymywania obrazów z pokładowych urządzeń obserwacyjnych różnych systemów bezzałogowych przesyłanych

ocean surface temperature and the thickness of ice cover. The planes *Aerosonde* performed the flights in temperature of 38° C below zero and stayed in the air to 17 hours [18].

The newest version of described unmanned plane – *Aerosonde Mark 4.7* – is predicted to be used in military and non-military operations of both land and sea character and by the navy and land forces. The standard system consists of:

- 1) Three unmanned aircraft vehicles
- 2) Recovering system based on the net for catching the landing plane
- 3) Sets of onboard equipment depending on mission:
 - a) For day observation – EO (*electro-optic*),
 - b) For night observation – IR (*infrared*),
 - c) For indication of targets by the laser beam – LP (*laser pointer*).
- 4) Expeditionary Ground Control Station EGCS)
- 5) Ground equipment.

It has to be stressed that the EGCS is an universal station equipped with instruments according to STANAG 4586 that has been designed to secure the interoperability at controlling and guiding the flight of different unmanned systems, not only *Aerosonde*. It was made for the first time in May 2009 at *Kansas Unmanned Systems Symposium*. During the presentation the station was used to control the missions of three unmanned systems. At that time UAS *Aerosonde 4* was launched and completed totally autonomous flight, from take off to landing with the ceiling on 4500 feet (1372 m) and having a day observation camera onboard, together with two unmanned mini-systems *Orbiter*¹⁰. One of them was also equipped with a head for day observation and flew on the height of 1500 feet (457 m) and the second one with the night vision head (IR) flew on the height of 1000 feet (304 m). The experiment has proved the significant advantage of receiving pictures from

⁸ System ten jest używany również przez Siły Zbrojne RP.

¹⁰ The system is also used by the Polish Armed Forces.

do użytkowników jednej naziemnej stacji kontroli lotu.

Przedstawione przykłady obrazują nie tylko coraz większy zakres zadań, do których mogą być używane systemy bezzałogowe, ale również rozwój systemów związanych ze sposobem wykonywania przez nie tych zadań. Niemniej jednak, należy tu podkreślić fakt, że mogą być używane do zadań niebezpiecznych lub nawet w pewnych warunkach niemożliwych do zrealizowania przez samolot załogowy z pilotem na pokładzie.

onboard observation devices of different unmanned systems transmitted to the users of one ground flight control station.

Presented examples illustrate not only a widening scope of assignments for which the unmanned systems may be used but also the development of systems connected with the ways these tasks are performed by them. Anyway it is worth to mention that they may be used for dangerous assignments or even if they cannot be performed by a piloted plane.

Nieobecność załogi pozwala na realizację długotrwałych i bardziej niebezpiecznych zadań bojowych, ...

The lack of crew on the board makes the long term and dangerous combat missions are possible ...

Nieobecność załogi pozwala na realizację długotrwałych i bardziej niebezpiecznych zadań bojowych, ponieważ czas przebywania w powietrzu samolotu załogowego jest ograniczony głównie wytrzymałością załogi. Szacuje się, że pilot jednomiejscowego myśliwca lub samolotu rozpoznawczego może przebywać w powietrzu około dwunastu godzin. Dłuższy czas wykonywania zadania jest możliwy, jeżeli na pokładzie są zwielokrotnieni członkowie załogi [10]. Jednakże miejsce dla dodatkowych członków załogi wymaga większego i kosztowniejszego samolotu niż wynika to z istoty zadania bojowego. Przyjmuje się, że najdłuższy czas wykonywania zadania bojowego z użyciem dwuosobowej załogi, wzmocnionej trzecim pilotem wynosi 40 godzin. Tak długie loty zmniejszają dostępność pilotów do kolejnych zadań, którą liczy się w godzinach na dzień i na miesiąc, a zatem podnoszą koszty utrzymania stanu osobowego [17]. Ponadto należy mieć na uwadze to, że w przypadku utraty samolotu załogowego poniesiona strata jest zdecydowanie większa, ponieważ wiąże się z kosztami poniesionymi na wyprodukowanie droższego, w porównaniu z bezzałogowym, samolotu oraz kosztami wykształcenia wysokiej klasy specjalistów – pilotów.

The lack of crew on the board makes the long term and dangerous combat missions are possible as the time of flight for piloted plane is in general limited by crew endurance. It is estimated that the pilot of one man crew striker or reconnaissance plane may spent ca. twelve hours in the air. The longer time of mission is possible when some replacement crew members are available onboard [10]. But the room for additional crew members requires a bigger and more expensive plane than the combat mission justifies. It is accepted that the longest time of leading the combat mission with using two person crew and assisted by the third pilot is 40 hours. The long term flights decrease the accessibility of pilots for consecutive tasks that is calculated in hours per day and per month what results in increased costs of staff maintenance [17]. The other important thing is that in case of losing the piloted plane the loss is much greater as it is connected with the manufacture of more expensive plane than the unmanned one and the costs of education and training of high class specialists – the pilots.

5. Tendencje rozwojowe bezzałogowych systemów latających

Rozwój bezzałogowych statków latających postępuje i będzie postępować w kierunku dalszej miniaturyzacji, jak również konstruowania platform wielozadaniowych. Miniaturyzacja BSP będzie wiązać się ze zmianą sposobów użycia systemów bezzałogowych. Ponieważ miniaturowy aparat w przeciwieństwie do większego nie będzie mógł zabrać takiej ilości aparatury, stąd niejednokrotnie będzie potrzeba wysłania kilku aparatów z różnymi urządzeniami lub uzbrojeniem.

W wyniku zauważenia takiej potrzeby tworzone są również koncepcje „rojów” złożonych z mini bezzałogowych aparatów latających, w których każdy statek ma określoną funkcję do wypełnienia różną od pozostałych będących elementami roju. W długoterminowej wizji (sięgającej roku 2047) stworzonej w Amerykańskich Siłach Powietrznych ujmowany jest rój mini bezzałogowych aparatów latających złożony z setek małych zrobotyzowanych „insektów”, zataczający kręgi nad celem, którym kierując z bezpiecznej odległości piloci (operatorzy) wykonują skupione, zdecydowane i zmasowane uderzenie [6].

Aby stanowić „rój”, bezzałogowe samoloty muszą komunikować się pomiędzy sobą, tak aby wykonywać zadania, jak inteligentna grupa rozpoznawcza. Na przykład podczas prowadzenia obserwacji rejonu ześrodkowania przeciwnika, w przypadku pojawienia się żołnierza sił przeciwnika, jeden ze statków może go śledzić oraz otoczenie, w którym znajduje się ten żołnierz. Pozostałe statki mogą: śledzić inne obiekty, tworzyć szczegółowe mapy obszaru zainteresowania, wykrywać skażenia oraz przekazywać dane dotyczące aktualnej sytuacji. W przypadku opuszczenia roju przez któryś z BSP (np. z powodu wyznaczenia go do działania w innym rejonie lub utracenia go), rój automatycznie powinien przeorientować zadania poszczególnych samolotów, tak żeby żadne z wcześniej postawionych nie zostało pominięte podczas realizacji misji [20].

Podobne koncepcje były tworzone również w naszym kraju, czego potwierdzeniem jest koncepcja M. Mroczkowskiego i L. Surazyńskiego

5. Developing tendencies of unmanned aircraft systems

The unmanned aircraft systems have been developing towards further miniaturisation and multitask platforms. The miniaturisation of UAS will be connected with the change of using the unmanned systems. As the miniaturised vessel takes a smaller load than the bigger plane then a few planes with different equipment and arms usually have to be sent.

As such a need was noticed there are also created the conceptions of so called “swarms” composed of unmanned mini-planes where each plane has a specific function to perform and this function differs from tasks of other components of the swarm. In the long term perspective (reaching to 2047) created in the US Air Forces there is a notion of the swarm of unmanned aerial vehicles composed of hundreds of small robotic “insects”, turning the circles over a target, and controlled by pilots (operators) from the safe distance to perform a concentrated, decisive and mass strike [6].

In order to create the “swarm” the unmanned planes have to communicate between themselves to perform the assignment like the intelligent reconnaissance group. When at exemplary observation of enemy concentration region an enemy soldier is spotted then one of planes may track him and his vicinity. The remaining planes may track other objects, create detailed maps of interested area, detect pollutions and transmit the data concerning the current situation. In case when one UAV leaves the swarm (e.g. because of shifting it to operate in other region or its loss) the swarm has to reorient automatically the tasks of particular planes in order to secure the performance of all tasks which were earlier assigned for the mission [20].

The similar concepts were created also in our country by M. Mroczkowski and L. Surazyński¹⁴. This concept is based on the idea of net-centric operations with the use of a sophisticated and autonomous net of

skiego¹¹. Koncepcja ta opiera się w swej istocie na idei działań sieciocentrycznych z wykorzystaniem rozbudowanego, o dużej autonomii systemu sieci miniaturowych bezzałogowych systemów latających tzw. miniBSL łączonych w roje (rys. 2). W założeniach tej koncepcji przyjęto, że istniejący w NCW¹² – „system systemów” można ująć matematycznie jako zbiór węzłów i połączeń między nimi, w którym węzły:

- istnieją w postaci miniBSL stanowiących sieć;
- są ucyfrowione, są sterowalne i posiadają bezpieczną łączność cyfrową;
- są w pełni zorientowane i dynamicznie opisane ($m, x, y, z, t, u, v, w, F_x, F_y, F_z$);
- są routerami – czyli każdy z nich jest w stanie określić punkt sieciowy do którego należy skierować pakiet danych, posiada wiedzę na temat otaczających go urządzeń;
- „wiedzą” to co wie sieć (dysponują aktualnym operacyjnym obrazem sytuacji: COP – ang. *common operational picture*), posiadają procesory, pamięci, wejścia i wyjścia oraz oprogramowanie;
- potrafią działać w sieci i walczyć oraz obezwładniać w sieci (NF- ang. *Networked Fire*) [3].

Ideę tej koncepcji przedstawia rys. 2. Sieć złożona z BSL miałyby być tworzona na wysokości około 700 m. Parametry bezzałogowych statków latających tworzących sieć miałyby być zbliżone do przedstawianego w tym opracowaniu BSL *Aerosonde*. Przede wszystkim musiałyby posiadać niewielką masę własną (do 19 kg)¹³, możliwość wzięcia ładunku użytecznego do 5kg, oraz możliwości długotrwałego lotu, o dużym promieniu działania. W sieci mogłyby współdziałać z BSL szczebla taktyczno-operacyjnego typu *Predator* i operacyjno-strategicznego typu

unmanned aerial mini-systems called as mini-UAS and combined in the swarms (Figure 2). In the assumption to this conception it was accepted that the “system of systems” existing within NCW¹⁵ may be mathematically described as a set of junctions and connections between them where the junctions:

- Exist in the form of UAS creating the network
- Are digitalised and controllable and equipped with the safe digital communication links
- Are entirely oriented and described dynamically ($m, x, y, z, t, u, v, w, F_x, F_y, F_z$)
- Are the routers – i.e. each of them is able to precise the point of the network to which the data package has to be directed and possesses the knowledge about other devices which surround it
- „Know” what the network knows (possess current operational picture of the situation - *Common Operational Picture - COP*), have suitable processors, memories, inputs and outputs and the software
- May act within the network and fight and disable within the network (*Networked Fire- NF*) [3].

The idea of this conception is presented in the figure 2. The network composed of UAS would be created at the height of ca. 700 m. The characteristics of unmanned aerial vehicles could be similar to presented here UAS *Aerosonde*. First of all they have to have a little weight (to 19 kg)¹⁶, effective loading capacity to 5kg and possibilities for long term flight with a great radius of operation. They would work together within the network with the UAS of tactical-operational level like *Predator*

¹⁴ Listed scientists are also the authors of „A Concept of Using Mini-drones by the Polish Armed Forces”, where the use of mini-drones is proposed for image recognition on the levels from the squad to battalion and to destroy important targets [14].

¹¹ Wymienieni naukowcy są również autorami „Koncepcji wykorzystania Minibezpilotowych Środków Latających w Siłach Zbrojnych RP”, w której proponowano użycie mini BSL-ów do rozpoznania obrazowego na szczeblach od drużyny do batalionu oraz do niszczenia celów wysokowartościowych [14].

¹² NCW – ang. *Networked Centric Warfare*.

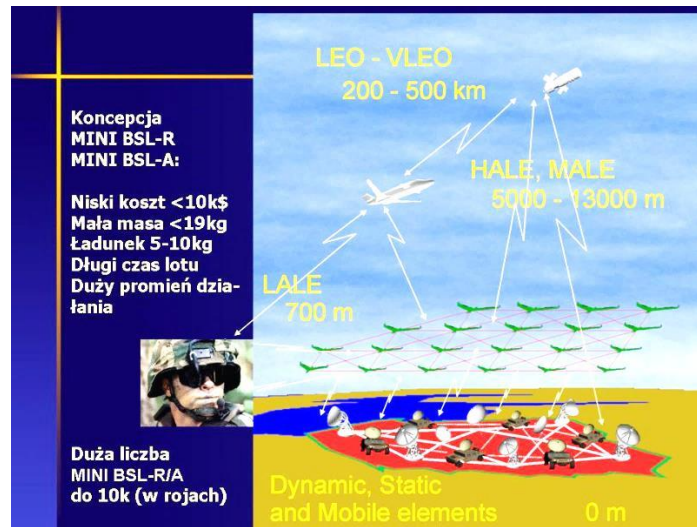
¹³ obecnie już mówi się o mniejszej masie, nawet do 5 kg w przypadku rozpoznawczych BSL.

¹⁵ NCW – *Networked Centric Warfare*.

¹⁶ Now the smaller weight is even mentioned of 5 kg in case of reconnaissance UAS.

Global Hawk oraz z bezzałogowymi platformami lądowymi i morskimi, jak również z pododdziałami wojsk lądowych i lotnictwem Sił Powietrznych [15].

and operational-strategic type like *Global Hawk* and with the unmanned land and sea platforms as well as with the units of land forces and the Air Force aviation [15].



Rys. 2. Idea sieciocentrycznej koncepcji użycia bezzałogowych statków latających

Źródło: Prezentacja wystąpienia M. Mroczkowskiego i L. Surażyńskiego podczas IX Festiwalu Nauki w dniu 16.09.2005 w WAT w Warszawie na temat: *Powołanie polskiej platformy technologicznej systemów bezpieczeństwa szansą rozwoju technologii bezzałogowych, Czego można by uniknąć w Nowym Orleanie, gdyby były dostępne sieciocentryczne miniaturowe bezzałogowe systemy latające?*

Figure 2. Idea of networked concept of using the unmanned aircraft systems

Origin: Presentation by M. Mroczkowski and L. Surażyński at IX Scientific Festival held on 16.09.2005 in Military University of Technology in Warsaw on: *Calling for the Polish Technological Platform of Security Systems as the Chance for Developing Unmanned Technologies, What Could Be Avoided in New Orleans if the Networked Mini-drones were available?*

Zasadniczym warunkiem, który musi być spełniony, jest posiadanie routera (a nawet bycie routerem) przez każdy z pozostałych elementów sieciocentrycznego systemu. Ilość unoszonych w powietrze BSL byłaby uzależniona od zadań, jakie miały by wykonywać. W przypadku prowadzenia rozpoznania i monitorowania, według autorów koncepcji, wystarczyłoby od kilkuset do tysiąca sztuk. Jednak już do działań bojowych wznosiłyby się mini bezzałogowe systemy latające ataku (miniBSL-A) w liczbie nawet do 10 000¹⁷, uzbrojone w głowice bojowe z ładunkami, którymi raziłyby określone obiekty przeciwnika [14].

W koncepcjach rojów BSL przewiduje się zarówno użycie zaczepne, jak i obronne, w tym odpieranie ataków rojów bezzałogowych samolotów przeciwnika. Nad sposobem odparcia takiego zagrożenia rozważano mię-

The main condition that has to be met is the possession of the router (or rather to be a router) by each of remaining components of the networked system. The number of UAS launched to the air would depend on tasks to be performed. In the cases when the reconnaissance and monitoring are carried out it would be reasonable to use a few hundred to one thousand items according to the authors of the conception. But for the combat operations the unmanned attacking aircraft systems (mini-UAS-A) would be picked up in the amount reaching 10 000¹⁹ and armed with war heads and charges for hitting the specific enemy objects [14].

In the conception of UAS swarms the concept of their aggressive and defending use is predicted including the fighting off

¹⁷ Liczba ta wystarczyć ma na pokrycie obszaru Polski [14].

¹⁹ This number is sufficient to cover the area of Poland [14].

dzy innymi w *Advanced Robotic Systems Engineering Laboratory* (ARSENL) powstałym przy *Naval Postgraduate School* w Monterey, Kalifornia. Przy tej okazji stwierdzono, że rój złożony niekoniecznie z zaawansowanych technologicznie bezzałogowców, ale posiadający ich znaczną ilość może pokonać obronę przeciwlotniczą Stanów Zjednoczonych [20]. W maju 2013 roku w Camp Roberts (Kalifornia) naukowcy z ARSENL dokonali udanego wypuszczenia w powietrze jednocześnie dziesięciu bezzałogowych aparatów latających sterowanych przez jedną stację kontroli lotu, co było traktowane wtedy jako rekord. Aby tego dokonać, musieli wykonywać sprawnie i szybko czynności związane ze startem poszczególnych statków ze względu na ich długotrwałość lotu ograniczoną pojemnością akumulatorów. Dziesiąty BSL był wypuszczony w 45. minucie od chwili startu pierwszego, który w tym momencie miał już znacznie wyczerpane akumulatory. Ta próba jednocześnie pokazała, jak trudno jest sterować jednocześnie większą ilością statków powietrznych. Ponieważ już przy pięciu statkach w powietrzu łączność ze wszystkimi ulegała dezorganizacji i stacja zaczynała wysyłać sygnały do statków: „UWAGA, brak komunikacji”. W sytuacji, gdy statek nie mógł uzyskać przez kilka sekund danych niezbędnych do lotu, wysyłał podobny komunikat do stacji. Dlatego też zaplanowano w kolejnych próbach użycie środków łączności o większej przepustowości, a także uporządkowanie kolejności otrzymywania informacji ze statków zgodnie z określonym algorytmem [20].

27. sierpnia 2015 roku w Camp Roberts prawdopodobnie ten sam zespół naukowców i studentów (fot. 4) z tego samego ośrodka naukowego (ARSENL przy *Naval Postgraduate School* w Monterey) dokonał przełomowego osiągnięcia, jakim było wypuszczenie w powietrze 50-ciu BSL-ów kierowanych również przez jedną stację kontroli lotu¹⁸. W czasie próby użyto bezzałogowych aparatów *Zephyr 2* napędzanych silnikiem elektrycznym, o konstrukcji w układzie latającego skrzydła.

the attacks of enemy unmanned aircraft system swarms. The ways of fighting off such threats were considered above all at *Advanced Robotic Systems Engineering Laboratory* (ARSENL) founded at *Naval Postgraduate School* in Monterey, California. It was stated then that the swarm of not necessarily technologically advanced drones but composed from a huge number of them may break the anti-aircraft defence system of the US [20]. In May 2013 in Camp Roberts (California) the scientists from ARSENL carried out the successful start of ten unmanned aircraft systems controlled by one flight control station what was the world achievement of that time. In order to do so they were forced to perform quickly and efficiently all activities connected with the take off of particular drones as the time of flight was limited by battery capacities. The tenth UAS was launched 45 minutes after the first one that at this moment had the batteries significantly spent. This trial has showed how difficult it is to control simultaneously a greater number of aerial vehicles. It has already happened at five drones in the air that the communication with all of them has started to stall and the station started to send the communicate „Attention, communication breaks” to the drones. In the situation when a drone was not able to get data needed for the flight it sent the same signal to the station. For this reason the next trials were planned by using both communication systems with greater transmission rates and the specific transmission protocol regulating the order of data received from particular planes [20].

The next significant step was made on 27 August, 2015 in Camp Roberts supposedly by the same team of scientists and students (photograph 4) from the same research centre (ARSENL at the *Naval Postgraduate School* in Monterey) that launched 50 UAS controlled by one control station²⁰. The unmanned planes *Zephyr 2* in the design of a flying wing

¹⁸ Ta sama ekipa w maju 2015 r. wypuściła w powietrze dwadzieścia, a w lipcu 2015 r. – trzydzieści bezzałogowych aparatów latających.

²⁰ The same team in May 2015 launched twenty and in July 2015 – thirty unmanned aircraft systems.

Każdy z nich był wyposażony w system komunikacji radiowej bazującej na standardzie WI-FI (802.11n) [7]. Standard ten, w odróżnieniu od powszechnie stosowanych systemów kontroli lotu BSL, umożliwia transmisję danych w sieci pomiędzy wszystkimi BSL znajdującymi się w powietrzu. Jednakże, aby uniknąć zakłóceń łączności podczas lotu, postanowiono podzielić dostępne pasmo radiowe 902-928 MHz na trzy podzakresy i przydzielić każdy podzakres równej grupie platform, zakładając, że będzie łatwiej utrzymać w górze grupy złożone z 22-23 BSL (przygotowanych do lotu było 68 aparatów) używając węższych pasm radiowych niż wszystkie platformy z użyciem jednego szerokiego pasma. Podczas samej próby podzielono całość na dwie grupy po 25 BSL [7].

Biorąc pod uwagę liczbę bezzałogowych statków jednocześnie kierowanych przez jedną stację kontroli lotu, tj. pięćdziesiąt, uznano to wydarzenie za aktualny rekord. W stacji kontroli lotu było dwóch operatorów. Jeden z nich był odpowiedzialny za kierowanie całością „roju”, a drugi za monitorowanie parametrów poszczególnych platform podczas lotu.

Wyzwaniem było wystartowanie aparatów w ciągu 30 min., ponieważ ich baterie przeciętnie wystarczają na 45-50 min. Na potrzeby tego przedsięwzięcia dwóch studentów z tego samego zespołu zbudowało automatyczną wyrzutnię łańcuchową, którą po pewnych modyfikacjach „skopiowano” z użyciem drukarki 3D. Konstrukcja tej wyrzutni składała się z szyn, na których umieszczany był BSL oraz łańcucha znajdującego się między szynami owiniętego na zębatkach, z których jedna napędzana była elektrycznym silnikiem o mocy pozwalającej przyspieszyć BSL do prędkości 16 m/s (w chwili schodzenia z wyrzutni). Ostatecznie zostało wypuszczonych 51 aparatów w czasie poniżej 28 min (jeden z aparatów po starcie wykazywał niestabilność lotu i został natychmiast sprowadzony na ziemię) [7].

Całość „roju” bezzałogowych statków złożona była z dwóch grup, w których każdy ze statków został zaprogramowany na lot na innym pułapie, różnica wysokości pomiędzy sąsiednimi platformami w grupie wynosiła 15 m. Obie grupy były od siebie odseparo-

and propelled by an electric motor have been used in the trial. Each of them was equipped with the radio communication system based on WI-FI (802.11n) standard [7]. This standard, in opposite to commonly used by UAS control systems, provides the transmission of data within the net between all UAS in the air. Nevertheless to avoid communication interference at flight the available radio band 902-928 MHz has been divided on three sub-bands and each of them was shared by the same number of UAS assuming that it would be better to control the groups composed of 22-23 UAS (68 drones were prepared to fly) when the narrower bands are used than to control all drones using one wider band. During the real test there were two equal groups each of 25 UAS [7].

Taking into account the number of 50 unmanned planes controlled simultaneously by one flight control station the event was assumed to be a present record. Flight control station was operated by two operators. One of them was responsible for governing the complete “swarm” and the second one monitored the characteristics of particular drones at the flight.

The challenge was to take off all drones within 30 min. as their batteries withstand usually 45-50 min. Two students from the same team designed an automatic chain launcher for the needs of this trial and it was “copied” by three D printer after some modifications. The design of this launcher consisted of the rails where the UAS was placed and the chain between the rails that run on two sprockets, where one of them was propelled by an electric motor having the power which provided the acceleration of UAS to velocity of 16m/s (in the moment of leaving the launcher). Finally 51 drones were launched within 28 min (one of the drones flew unstable and was grounded right away) [7].

The entire “swarm” of unmanned planes was composed of two groups programmed to fly at different ceilings and the difference of heights between adjacent platforms in the group was 15 m.

wane w taki sposób, aby ich trajektoria lotu nie pokrywała się lub nie kolidowała z trajektoriami lotu aparatów z drugiej grupy.

Two groups were separated to avoid the collisions of trajectories of drones belonging to other group.



Fot. 4. Zespół studentów i naukowców ARSENL przy Naval Postgraduate School w Monterey, Kalifornia

Źródło: <https://www.newscientist.com/article/dn28173-watch-50-drones-controlled-at-once-in-a-record-breaking-swarm/> [online]. [dostęp: 20.11.2015]

Photograph 4. The team of students and scientists of ARSENL at the Naval Postgraduate School in Monterey, California

Origin: <https://www.newscientist.com/article/dn28173-watch-50-drones-controlled-at-once-in-a-record-breaking-swarm/> [online]. [taken: 20.11.2015]

Ponadto określone zostały tzw. „punkty wejścia” i „punkty wyjścia”, w których poszczególne platformy mogły się wznosić lub opuszczać bez wchodzenia w przestrzeń powietrzną innych statków powietrznych. W czasie próby zastosowano algorytm *leader-follower* (ang. podążający za przywódcą), w którym jeden ze statków jest określony, jako prowadzący (jest tzw. liderem), a pozostałe jako podążające za nim, ale przy zachowaniu zaprogramowanej dla danego aparatu wysokości lotu. Podczas opisywanej próby, w każdej grupie na „lidera” został desygnowany BSL poruszający się na najwyższym pułapie lotu. „Lider” poruszał się po „nakazanej” (zaprogramowanej przez operatora) trasie lotu, a pozostałe BSL w grupie na podstawie danych przesyłanych o położeniu sąsiadujących statków przekalkulowały dane niezbędne do określania kolejnych pozycji, aby podążać za „liderem” [7].

Z uwagi na długą sekwencję czynności przygotowawczych do lotu oraz czas startu (prawie 28 min.) akumulatory platform szybko zaczęły się wyczerpywać, co zmusiło zespół badaczy, aby po 9 min. i 45 sek. próby z użyciem wszyst-

Moreover the zones of “entering” and “exit” were established where particular drones could go up or down without colliding with the air space of other drones. During the trial the leader-follower algorithm was used where one of the planes is defined as the leader and the rest of them follow it but the programmed ceiling for a particular plane has to be maintained. At this trial as the “leader” of each group was designated the UAS flying at the highest ceiling. „The leader” has moved along “enforced” route programmed by the operator and the remaining UAS in the group followed the leader basing on data concerning positions of surrounding drones sent to them to recalculate next positions [7].

Because of a long time sequence for preparing activities before the flight and the take off (almost 28 min.) the batteries of platforms started to run out rapidly what forced the team to start the procedure of landing for the drones after

kich aparatów w powietrzu przystąpić do procedury sprowadzania bezzałogowych platform na ziemię. Każdej grupie została wydana komenda wykonania tzw. lądowania sekwencyjnego, którego algorytm przewidywał lądowanie platform w kolejności zależnej od ich wysokości – jako pierwsze lądowały platformy o najniższym zadanim pułapie. Każdy statek obniżał swój lot do wysokości 40 m na pasem startowym lotniska, na którym odbywała się próba, po czym opadał lotem ślizgowym na pas startowy aż do całkowitego zatrzymania. Platformy były wyposażone w płozy wykonane z użyciem drukarki 3D, które można wymieniać w przypadku ich zużycia. Podczas lądowania doszło do pewnych zakłóceń związanych z tym, że niektóre platformy w związku z niskim poziomem energii w akumulatorach pokładowych uruchomiły wcześniej związaną z tym stanem procedurę bezpiecznego lądowania, co spowodowało, że lądowały równocześnie wraz z platformami wykonującymi lądowanie sekwencyjne w ramach grupy „nie czekając” na swoją kolej. W niektórych statkach podobną procedurę, też związaną z niskim napięciem akumulatorów, polegającą na odcięciu zasilania silnika i przejściu natychmiastowo do lotu ślizgowego, uruchomił pokładowy elektroniczny kontroler prędkości (ESC), co skutkowało tym, że kilka aparatów wylądowało w terenie przyległym do pasa startowego. Co więcej, wszystkie platformy lądujące na pasie startowym miały wprowadzone te same współrzędne lądowania, co spowodowało, że w wyniku lądowania tak dużej liczby platform na płycie lotniska w tym samym miejscu, doszło do wielu kolizji [7].

Głównym celem tego typu projektów jest rozwój bezzałogowych platform w aspekcie „zachowań stadnych” lub właściwych dla roju owadów, co ma dać korzyść w postaci mniejszej liczby operatorów potrzebnych do obsługi większej ilości statków powietrznych. Kolejnym z istotnych celów koncepcji „rojów” jest obniżenie kosztów produkcji tych systemów, poprzez wykorzystywanie w ich konstrukcjach rozwiązań komercyjnie dostępnych (COTS – *Common off the shelf*). Z powyższym celem ściśle wiąże się modułowość konstrukcji pozwalająca na tworzenie platform wielozadaniowych, których charakter wykonywanych zadań będzie uzależniony od urządzeń, w które będzie wyposażony dany statek na czas danej misji. Modułowa konstrukcja platformy pozwala na wyposażanie danego stat-

9 min. and 45 sec. of the trial when all of them were in the air. Each group has received a command for so called sequence landing where the algorithm predicted the landing of drones in order depending on their height – as the first ones have landed the platforms with the lowest ceiling. Each plane has lowered its flight to the height of 40 m over the runway where the trial was performed and then went by the side-slip flight to the ground until stopping. The platforms were equipped with the runners prepared by 3D printers which could be replaced after wearing. At the landing some disturbances have happened as some platforms with spent batteries started earlier the own emergency landing procedure and were landing at the same time with other drones which were following the normal sequence of landing. In some planes the similar procedure was launched by onboard electronic speed controller (ESC) that cut out the supply of the motor and started immediately the side-slip flight procedure what made some drones land beyond the runway. Moreover all platforms landing on the runway had the same coordinates of landing place what caused that there were many collisions as a lot of platforms were trying to land in the same place [7].

The main aim of these projects is the development of unmanned platforms in the aspect of “flock like behaviour” or specific for the swarm of insects what may provide the benefits of a smaller amount of operators needed to serve the greater number of aerial vehicles. The next goal of the “swarm” concept is to lower the costs of manufacture for these systems by using in their designs commercially available solutions (COTS – *Common Off The Shelf*). The above goal is directly linked with the modularity of the design that secures creation of multi-task platforms for which the character of performed assignments depends on devices the specific plane is equipped with at a mission. The modular design of the platform makes possible to equip the specific plane with different types of in-

ku w różne rodzaje urządzeń w zależności od charakteru misji.

6. Podsumowanie

Reasumując, spektrum zadań, jakie mogą realizować bezzałogowe systemy latające w zakresie rozpoznania i identyfikacji zagrożeń zarówno militarnych, jak i niemilitarnych oraz działań w ramach reagowania na rozpoznane zagrożenia jest bardzo szeroki i większość z nich została ujęta w niniejszym opracowaniu. Należy dodać, że platformy bezzałogowe są odzwierciedleniem trendów zgodnych z założeniami teorii „sieciodcentrycznych działań bojowych”, w której sieć stanowią wzajemnie powiązane elementy: środki dowodzenia, rozpoznania, urządzenia analizy i transmisji danych oraz inteligentne systemy rażenia. W działaniach sieciodcentrycznych mają być wykorzystywane dane rozpoznawcze z satelitów, samolotów, bezzałogowych systemów latających i lądowych oraz innych dostępnych źródeł, na podstawie, których dowódca uzyskuje w czasie rzeczywistym całkowity obraz pola walki, niezbędny do zidentyfikowania właściwych celów i zniszczenia ich środkami precyzyjnego rażenia - posiada tzw. świadomość sytuacyjną²¹.

Dane uzyskane w czasie rzeczywistym przez dowódców pododdziałów szczebla taktycznego bezpośrednio ze źródeł rozpoznania umożliwią im znacznie szybciej niż dotychczas dysponowanie wiedzą o sytuacji w ich bezpośrednim otoczeniu (bez narażania życia żołnierzy), a tym samym reagowanie na określone posunięcia przeciwnika, jak również uprzedzanie go w określonych działaniach. Posiadana przewaga informacyjna może być kluczem do uzyskania przewagi sytuacyjnej, która wpłynie na uzyskanie korzystnego wyniku walki. Zestawy BSL oprócz zbierania danych rozpoznawczych mogą potwierdzać dane uzyskane z innych źródeł, jak również mogą stanowić środek zastępujący źródło wyeliminowane w toku walki, czyli w systemie działań sieciodcentrycznych mogą być zarówno elementem wykrywania i rozpoznania

struments depending on the character of specific mission.

6. Conclusions

Summing up the above the range of tasks which may be performed by the unmanned aircraft systems for the reconnaissance and identification of threats both military and non-military ones and operations launched as the reactions against the recognised threat is really wide and most of it was presented in the paper. It has to be mentioned that the unmanned platforms reflect the trends following the assumptions of “networked combat operations” theory where the network is created by the mutually dependent components of command, reconnaissance, analysis, communication and smart striking systems. The networked operation will be using the reconnaissance data from satellites, planes, unmanned aircraft and land systems and other available sources providing to the commander in real time the complete picture of combat field, needed for identification of proper targets and engaging them by precise striking assets, what is called as situational awareness²².

Acquisition of data in the real time by the troops commanders of tactical level directly from the reconnaissance sources may help them to use quicker than now the knowledge about their nearest environment (without threatening the lives of soldiers) and to react to and forestall specific actions of the enemy. The existing informational supremacy may prove to be essential in achieving the situational domination what can lead to the successful result of the battle. Groups of UAS may not only collect the reconnaissance data but also confirm data received from other sources or replace a source that was eliminated in the fight what means that in the networked system of operations they may become both the

²¹ ang. *situational awareness* - wiedza o obszarze działania oraz o położeniu, działaniu i zamiarach sił własnych i przeciwnika.

²² *situational awareness* – knowledge of the operational area and positions, operations and intentions of own and enemy forces.

zagrożeń, jak również elementem transmisji danych, a po wyposażeniu ich w jakikolwiek system uzbrojenia, mogą stanowić kolejny element, jakim jest inteligentny system rażenia.

Rozpatrując użycie BSL w działaniach niemilitarnych można stwierdzić, że ich rola będzie bardzo podobna, z tą różnicą, że czynnikiem podlegającym rozpoznaniu nie będą siły zbrojne jakiegoś przeciwnika, ale inne czynniki związane np., z występowaniem gwałtownych zjawisk atmosferycznych, katastrofami naturalnymi i przemysłowymi, jak również inni ludzie, np. powodujący zamieszki związane z protestami politycznymi lub tylko rozgrywkami pomiędzy fanami różnych drużyn piłkarskich. Niezależnie jednak od charakteru czynnika powodującego zagrożenia, bezzałogowe systemy latające stanowią wartościowy środek, który ze względu na szeroki zakres wykonywanych zadań oraz ich uniwersalność pozwalającą na szybkie dostosowanie do zmieniającej się sytuacji, może w istotny sposób podnieść sprawność i efektywność systemu rozpoznania zagrożeń organizowanego w różnych działaniach.

Ostatnia konkluzja wiąże się z dążeniem do użycia na dużą skalę małych systemów bezzałogowych, czyli tzw. „rojów”. Celem takich operacji początkowo prawdopodobnie będzie prowadzenie rozpoznania, jak również w dalszej perspektywie wykonywanie zmasowanych uderzeń na określone obiekty przez uzbrojone systemy bezzałogowe.

components of threat detection and recognition systems and data transmission systems and finally after equipping them with a weapon system they may also act as a smart striking system.

Considering the use of UAS in non-military operations it may be stated that their role seems to be similar but the difference is that the subjects of reconnaissance are not the enemy's armed forces but the occurrence of violent atmospheric events, natural and industrial disasters including human activities like political riots and rivalry of fans of football teams. But leaving apart the character of the factor that causes the threats the unmanned aircraft systems belong to valuable assets which can quickly adapt to changing situation because of a wide scope and universality of performed assignments and finally increase in significant degree the effectiveness and efficiency of the threat recognition system that may be created at different operations.

The last conclusion is connected with a tendency for using small unmanned systems i.e. so called "swarms" on the large scale. The aim of such operations is not only the reconnaissance but also in the further perspective the delivery of massed attacks against specific targets by armed unmanned systems.

Literatura / Literature

- [1] AAI Introduces Aerosonde 4.7 for U.S. Navy/Marines STUAS / TIER II Program, <<http://defense-update.com>> [dostęp: 11.12.2015].
- [2] AQM-34L COMPASS BIN [FIREBEE II], <<http://www.fas.org>> [dostęp: 11.04.2008].
- [3] Becmer D., Romanek A., *Bezzałogowe platformy latające*, WSOWL, Wrocław 2011, s. 134.
- [4] *Bezpilotowe aparaty latające. Systemy sterowania i nawigacji*, (red.) J. Gruszecki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2002.
- [5] Brzezina J. M., Dańko Z., *Wykorzystanie bezzałogowych środków powietrznych w konfliktach zbrojnych*, „Przegląd Wojsk Lądowych” 2005, nr 2, s. 34-38.
- [6] Button K., *The MAC attack*, „C4ISRJournal” 2009, vol. 8, nr 9, s. 30-32.
- [7] Clement M., *From Zero to Fifty Planes in Twenty-Seven Minutes*, <<http://diydrone.com>> [dostęp: 03.12.2015].
- [8] Croft J., *NOAA sacrifices Aerosonde UAV inside hurricane – updated*, <<http://www.flightglobal.com>> [dostęp: 05.11.2007].
- [9] Clark R. M., *Uninhabited Combat Aerial Vehicles: Airpower by the People, For the People, But Not with the People*, “Cadre Paper” 2000, nr 8, Air University Press, Air Force

- Base, Alabama.
- [10] Cwojdziański L., *Przyszłość dla systemów bezzałogowych?*, „Przegląd Sił Powietrznych” 2013, nr 1 (061), s. 11-18.
 - [11] Grant R., *The Bekaa Valley War*, <<http://www.afa.org>> [dostęp: 02.08.2006].
 - [12] Hurley M. M., *The BEKAA Valley Air Battle, June 1982, Lessons Mislearned*, <<http://www.airpower.maxwell.af.mil>> [dostęp: 02.08.2006].
 - [13] *Leksykon naukowo-techniczny*, WNT, Warszawa 1984, s. 664.
 - [14] Mroczkowski M., Surazyński L., *Koncepcja wykorzystania Mini Bezpilotowych Środków Latających (miniBSL) w Siłach Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej*, Warszawa 2003.
 - [15] Mroczkowski M., Surazyński L. - Prezentacja wystąpienia podczas IX Festiwalu Nauki w dniu 16.09.2005 w WAT w Warszawie na temat: *Powołanie polskiej platformy technologicznej systemów bezpieczeństwa szansą rozwoju technologii bezzałogowych, Czego można by uniknąć w Nowym Orleanie, gdyby były dostępne sieciocentryczne miniaturowe bezzałogowe systemy latające?*
 - [16] Piątek B, Zarzycki B., *Bezzałogowe środki lotnicze i ich zastosowanie*, „Problemy Techniki Uzbrojenia” 2012, nr 122, s. 65-74.
 - [17] *Unmanned Aircraft Systems Roadmap, 2005–2030*, Department of Defense USA, 2005, s. 213.
 - [18] Valley H., Md., *AAI's Aerosonde UAV Flies the Antarctic Skies*, <<http://www.asdnews.com/news>> [dostęp: 21.10.2009].
 - [19] Watch 50 drones controlled at once in a record-breaking swarm, <<https://www.newscientist.com>> [dostęp: 20.11.2015]
 - [20] Werner D., *Drone Swarm: Networks of Small UAVs Offer Big Capabilities*, <<http://www.defensenews.com>> [dostęp: 12.06.2013].
 - [21] <<http://www.aerosonde.com>> [dostęp: 16.07.2006].

