

## Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych do tworzenia awaryjnych bezprzewodowych sieci łączności

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono problematykę związaną z zapotrzebowaniem na mobilne węzły komunikacyjne w łączności awaryjnej oparte na platformach bezzałogowych statków powietrznych. Omówiono rolę dronów w zarządzaniu kryzysowym i wskazano potencjalne korzyści wynikające z użycia dronów w roli węzła w awaryjnej bezprzewodowej sieci łączności. Dokonano krótkiego przeglądu istniejących rozwiązań komercyjnych oraz przedstawiono prace nad autorskim prototypem BSP.

**Abstract.** The paper presents issues related to the demand for mobile emergency communications nodes based on unmanned aircraft vehicles (UAV). The roles of drones in emergency management and the potential benefits of using unmanned systems in the role of a node in an emergency wireless communications network are indicated. A brief review of existing commercial solutions is given, and work on the author's BSP prototype is presented. (*The use of unmanned aerial vehicles to create emergency wireless communication networks*)

**Słowa kluczowe:** zarządzanie kryzysowe, awaryjne sieci telekomunikacyjne, bezzałogowe statki powietrzne - BSP, drony na uwięzi  
**Keywords:** emergency management, emergency telecommunications networks, unmanned aerial vehicles – UAV, tethered drones

### Wstęp

Współczesne działania kryzysowe wymagają szybkiego i zdecydowanego działania służb w oparciu o systemy zarządzania kryzysowego EMIS (Emergency Management Information Systems). Ich zadaniem jest zbieranie, przetwarzanie, analizowanie oraz udostępnianie danych sytuacyjnych w czasie rzeczywistym, stanowiąc system wsparcia decyzyjności, ostrzegania i koordynowania czynności. Do prawidłowego działania EMIS wymagane jest zapewnienie nieprzerwanego dostępu do infrastruktury telekomunikacyjnej, jednakże katastrofy naturalne takie jak trzęsienia ziemi, powodzie, silne wiatry czy też zagrożenia terrorystyczne oraz militarne doprowadzają do częściowego lub całkowitego wyłączenia komunikacji w strefach objętych kryzysem [1]. Stanowi to wyzwanie w prawidłowym zarządzaniu lub dowodzeniu, stąd też priorytetem służb jest odtworzenie sieci komunikacyjnej. Na uwagę zasługują przenośne systemy zapewniające zespołom terenowym foniczną łączność radiową oraz transmisję danych. Specyfika wykonywanych zadań przez oddalone od centrów zarządzania kryzysowego zespoły poszukiwawczo-ratunkowe, wymusza zapewnienie stałej komunikacji mobilnej przy dużej przepustowości danych, obejmujących transmisję video w czasie rzeczywistym, łączność z dowódcami zespołów, dostęp do systemów GIS (j. ang. Geographic Information Systems) zapewniających wizualizację oraz interpretację danych geograficznych [2].

### BSP w zarządzaniu kryzysowym i obronności

W ostatnich latach bezzałogowe statki powietrzne (BSP, j. ang. UAV Unmanned Aerial Vehicle) stają się coraz popularniejsze ze względu na ich szeroki wachlarz zastosowań. Bezzałogowce są zdolne do wykonywania lotów transportowych przewożąc ładunki małogabarytowe takie jak leki, organy, krew, sprzęt ratunkowy, wykonują rozpoznanie terenu za pomocą kamer wysokiej rozdzielczości, dziennych i pracujących w podczerwieni, skanują rzeźbę terenu za pomocą urządzeń LIDAR. Loty na wysokości powodują, że są one w stanie objąć monitoringiem obszary wykraczające poza zasięg działania zespołów poszukiwawczo-ratowniczych, co przyczynia się do poszerzenia świadomości sytuacyjnej dowódców. Przykład wykorzystania BSP w działaniach kryzysowych przedstawiono na rysunku 1. BSP realizują również zadania ochrony infrastruktury krytycznej dla funkcjonowania

państwa [3].  
W sytuacjach kryzysowych za pomocą BSP jesteśmy w stanie ocenić stan techniczny kluczowych obiektów, zlokalizować potencjalne uszkodzenia. BSP stał się ważnym elementem w procesie zarządzania kryzysowego jak i również obronności kraju.



Rys. 1. Nadzór optyczny skutków katastrof naturalnych

W działaniach obronnych na poziomie taktycznym wykorzystuje się BSP wielu klas pełniących m. in. funkcję amunicji krążącej (drony samobójcze), systemów rozpoznania obrazowego w dzień i w nocy, bliskiego i dalekiego zasięgu oraz rozpoznania elektronicznego [4].

### Bezzałogowe systemy wsparcia łączności

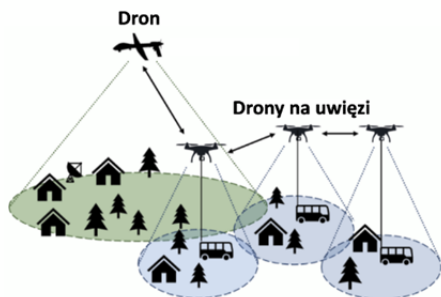
Aby zabezpieczyć funkcjonowanie centrów zarządzania kryzysowego w przypadku utraty infrastruktury telekomunikacyjnej w wyniku katastrof naturalnych, działań terrorystycznych i wojennych, utrzymuje się w gotowości zespoły operatorów telekomunikacyjnych do przywrócenia sprawności uszkodzonych sieci. Wielkość zniszczeń może powodować, że szybkie naprawy są niemożliwe do wykonania. W takim przypadku zasadne jest posiadanie sprzętu, który umożliwiłby szybką budowę lokalnej sieci telekomunikacyjnej z przeznaczeniem dla grup/zespołów ratunkowych. W odpowiedzi na zapotrzebowanie przemysł dostarcza mobilne urządzenia telekomunikacyjne o niewielkich rozmiarach i masie, które mogą stanowić element awaryjnej infrastruktury telekomunikacyjnej w czasie kryzysu, pełniąc rolę węzła komunikacyjnego wynoszącego aparaturę radiową. Wykorzystanie platformy BSP zapewnia pełną mobilność oraz zdolność do wyniesienia urządzeń na wysokości nieosiągalne dla konwencjonalnych masztów transportowych (ponad korony drzew, zabudowę miejską), rejonów trudnodostępne (grząska gleba, teren górzasty, ruiny).

Topografia terenu oraz zakłócenia generowane przez sąsiadujące obiekty wpływa na propagację oraz zasięg fal radiowych. Zwiększając wysokość BSP z urządzeniami poprawiamy zdolności komunikacyjne w strefie zagrożenia [5]. Przykładowy schemat tymczasowej sieci przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowy schemat działania systemu komunikacyjnego w strukturze wielozespołowych grup terenowych

Czas działania oraz zasięgi stanowią główne ograniczenia przy wykorzystaniu BSP jako punktu dostępowego. Czas ten powinien być odpowiednio długi, aby zabezpieczyć działanie grup ratunkowych. Czas lotu jest ściśle zależny od całkowitej masy BSP, pojemności akumulatorów, temperatury otoczenia i warunków meteorologicznych. Zawiera się w granicach od kilku do kilkudziesięciu minut. Stosunkowo krótki czas lotu BSP wymusza częstą fizyczną wymianę źródeł zasilania co może wiązać się z przerwami łączności [6]. Rozwiązaniem może być posiadanie większej liczby BSP z urządzeniami komunikacyjnymi, zastępujących węzły podlegające ładowaniu. Latające platformy działające w systemie zmianowym zapewniają ciągłość łączności, wymagając większej liczebności personelu. Potencjalne rozwiązanie stanowią naziemne platformy ładowania zapewniające autonomiczną wymianę źródeł zasilania ograniczającą wymaganą fizyczną obecność operatorów. Długotrwały lot BSP mogą zapewnić płatowce, które wykorzystując siłę nośną skrzydeł, są w stanie utrzymywać się przez kilka godzin w powietrzu, zapewniając ciągłość pracy systemów komunikacyjnych na danym obszarze. Kolejnym, przykładem jest system typu Tethered (ang. uwiązany) będący rozwiązaniem, które poświęca mobilność BSP celem zapewnienia przewodowego zasilania. Uzyskana za pomocą tej konfiguracji platforma zyskuje wydłużony czas pracy (24-72h) oraz niezagłuszaną komunikację z naziemną stacją kontrolną (GSC), której zasięg lotu jest ograniczony długością przewodu. Na rysunku 3 przedstawiono system BSP na uwięzi [7].



Rys. 3. Przykład systemu BSP dronów na uwięzi (tethered) oraz dynamicznego drona UAS (unmanned aerial ship)

Systemy Tethered o ciągłym przewodowym transferze mocy są niezawodnym rozwiązaniem dla centrów zarządzania kryzysowego.

## Przykłady rozwiązań systemów telekomunikacyjnych z wykorzystaniem BSP

Przykładem wykorzystania BSP w roli węzła telekomunikacyjnego jest system Telelift firmy Spookyaction. Jest to platforma zdolna do wyniesienia 10 kg aparatury 4G, 5G lub WiFi. System brał udział w działaniach minimalizujących szkody huraganu Laura w Luisianie, wynosząc przekąźnik LTE na wysokość 60 m zapewniając komunikację na obszarze 32km<sup>2</sup> [8].



Rys. 4 Telelift firmy Spookyaction [9]

System COW (Cell on Wings) stworzony przez firmę AT&T stanowi komplet składający się z naziemnego terminala satelitarnego oraz bezzałogowego statku powietrznego. Dane uzyskane przez terminal przesyłane są przewodowo do routera znajdującego się na pokładzie statku, a następnie transmitowane za pomocą LTE. BSP jest zdolny do osiągnięcia pułapu 120 metrów oraz zapewnienia komunikacji na obszarze 64 km<sup>2</sup>. Firma dostosowała projekt do pracy w zmiennych warunkach klimatycznych – deszcz, śnieg, wysokie zadymienie, zmienne temperatury oraz wiatr sięgający do 80 km/h. Prototyp aparatury został wykorzystany w trakcie działań minimalizujących skutki huraganu „Maria” w Puerto Rico [10].



Rys. 5 Helikopter bezzałogowy firmy AT&T [11]



Rys. 6. BSP Spectre w trakcie lotu [11]

Firma Hoverfly Technologies zaprojektowała system Spectre, którego zadaniem jest wynieść w powietrze antenę VHA (Variable Height antenna), wykorzystywaną w wojskowych radiostacjach taktycznych Silvus, L3 Harris, Voasat i goTenna. System charakteryzuje się niewielkimi wymiarami – maksymalna masa startowa wynosi 3.2 kg a długość przewodu zasilającego wynosi 60 metrów. BSP zasilany jest z naziemnej stacji o mocy 2 KW oraz zdolny jest do 1500 h ciągłej pracy [11].

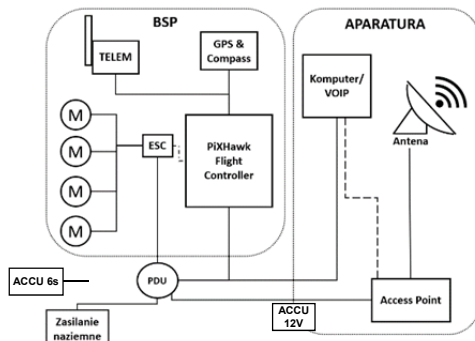
Tabela 1. Podstawowe parametry [9,10,11]

BSP	Udźwig [kg]	Przewód [m]	Rodzaj transmisji	Obszar transmisji [km <sup>2</sup> ]
Spectre	2,26	60	Radio	*
TeleLift	10	60	4G,5G,WiFi	32
COW	BD	120	SAT, LTE	64

\*Zasięg ograniczony parametrami radiostacji taktycznej

### Koncepcja i budowa latającego węzła komunikacyjnego

Autorska koncepcja węzła komunikacyjnego przewiduje zaprojektowanie i wykonanie systemu na uwięzi z wykorzystaniem przewodowego zasilania BSP oraz aparatury pokładowej. System przeznaczony jest do pełnienia funkcji stacji bazowej, przekaźnika telekomunikacyjnego, lokalnej centrali telefonicznej VoIP oraz punktu obserwacyjnego. Na rysunku 7 przedstawiono schemat blokowy węzła komunikacyjnego. Do budowy prototypu została wykorzystana przedstawiona na rysunku 8 sześciosiowa rama EFTX6100 o masie 2.75 kg i wymiarach 1000 x 1000 mm. Na każdym z ramion zamontowany został silnik typu E5 335KV z 18 całowym śmigłem. Silnik sterowany jest przez ESC (electronic speed controller) o maksymalnym natężeniu prądu wynoszącym 40A.



Rys. 7. Schemat blokowy węzła komunikacyjnego.



Rys. 8. Sześciosiowa rama EFTX6100

W kontrolerze lotu (FC) typu PiXhawk 5X zaimplementowane zostało Open Source'owe

oprogramowanie ArduPilot. Do sterowania BSP wykorzystano niestandardowe polecenia protokołu MavLink, korzystając z telemetrycznej stacji naziemnej obsługiwanej przez interfejs programistyczny DroneKit i MavSDK [12].



Rys. 9. Urządzenia zamontowane na pokładzie BSP

Aparatura komunikacyjna umieszczona na pokładzie BSP składa się z zewnętrznej kierunkowej anteny 2x2 MIMO zasilanej przez POE 24V od routera WIFI który propaguje sieć WLAN 802.11ax, w promieniu 100 – 200 metrów od systemu BSP. Wykorzystana antena pracuje w pasmie 2,4 GHz w trybach PtP (Point to Point) i PtMP (Point to MultiPoint) o zysku 23 dBi [13]. Do testów zamontowana została dodatkowa kamera sieciowa, a komputer pokładowy Raspberry PI-4 zaadaptowany został na centralę VoIP. Urządzenie zapewnia użytkownikom w sieci lokalnej dostęp w czasie rzeczywistym do kamery umieszczonej na BSP oraz komunikacji głosowej. Centrala VoIP umożliwia jednocześnie obsłużenie do 30 połączeń telefonicznych. BSP węzeł komunikacyjny podczas testów wznosił się na wysokość do 25 metrów, (wysokość ograniczona była długością kablowej linii zasilającej aparaturę telekomunikacyjną) oraz do wysokości 75 metrów z wykorzystania zasilania pokładowego. Zestawiono połączenie radiowe z naziemną anteną kierunkową, łącząc dwie sieci lokalne na dystansie około 1 km. Prototyp w obecnej konfiguracji jest zdolny do około 20 minutowego lotu na zasilaniu pokładowym. Opracowanie prototypu całkowicie zasilanego przewodowo wymaga doboru odpowiednich przewodów zasilających z uwzględnieniem masy przewodów, aparatury telekomunikacyjnej oraz spadków napięć na przewodach zasilających [14].

### Wnioski

Dostęp do infrastruktury telekomunikacyjnej stanowi istotny element zarządzania kryzysowego. Wpływ katastrof naturalnych, działań terrorystycznych i wojennych może doprowadzić do chwilowej lub trwałej utraty łączności na obszarach objętych kryzysem, dlatego wymagana jest zdolność do naprawy uszkodzonej infrastruktury lub szybkie rozwinięcie awaryjnej sieci telekomunikacyjnej. Bezzałogowe statki powietrzne stanowią innowacyjną metodę zapewnienia doraźnych węzłów telekomunikacyjnych spełniających zapotrzebowanie służb na stałą łączność bezprzewodową.

Przewagę systemu nad konwencjonalnymi masztami stanowi zdolność wyniesienia aparatury telekomunikacyjnej na wyższy pułap, co ogranicza wpływ topografii terenu i przeszkód urbanistycznych. Dzięki mobilności, modułowości i kompaktowości systemów czas wymagany na rozwinięcie węzła telekomunikacyjnego zostaje skrócony, co może mieć istotny wpływ na czas reakcji i zdolność operacyjną służb w sytuacjach nadzwyczajnych.

**Autorzy:** dr inż. Krzysztof Górski, Akademia Wojsk Lądowych, Katedra Zarządzania Innowacyjnymi Projektami, ul. Czajkowskiego 109, 51-147 Wrocław, E-mail: krzysztof.gorski@awl.edu.pl., Igor Mielczarek, Sebastian Szymański, Akademia Wojsk Lądowych, Koło Naukowe Łączności i Elektroniki, E-mail: s9145@edukacja.awl.edu.pl, s9229@edukacja.awl.edu.pl



## LITERATURA

- [1] Zagorecki J. R. A., Information systems for crisis management—current applications and future directions. *Nanomaterials: pros and contras*, (2011), 59
- [2] Ładysz J., Use of geographic information systems in crisis management. *Zeszyty Naukowe/Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki*, 3 (2017), 32-43
- [3] Restat A., Drone Applications for Supporting Disaster Management. *World Journal of Engineering and Technology*, (2015), nr. 3, 316-322.
- [4] Kunertova D., *The war in Ukraine shows the game-changing effect of drones depends on the game*. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 79 (2023) nr. 2, 95-102
- [5] Hayajneh A. M., Zaidi, S. A. R., McLernon, D. C., Ghogho M. Drone empowered small cellular disaster recovery networks for resilient smart cities. *IEEE international conference on sensing, communication and networking* (2016) 1-6
- [6] Deaton J. D., High altitude platforms for disaster recovery: capabilities, strategies, and techniques for emergency telecommunications. *EURASIP Journal on wireless communications and networking*, (2008), 1-8
- [7] Galkin B., Kibilda J., DaSilva L. A., UAVs as mobile infrastructure: Addressing battery lifetime. *IEEE Communications Magazine*, 57 (2019) nr. 6, 132-137
- [8] Pai V. U., Sainath B. UAV selection and link switching policy for hybrid tethered UAV-assisted communication. *IEEE Communications Letters*, 25 (2021) nr. 7, 2410-2414
- [9] Strona producenta <https://spookyaction.com/> (z dn. 21.04.2023).
- [10] Strona producenta [https://about.att.com/innovationblog/cows\\_fly](https://about.att.com/innovationblog/cows_fly) (z dn. 21.04.2023).
- [11] Strona producenta <https://hoverflytech.com/tethered-drones-uav-uas/livesky-sentry/> (z dn. 21.04.2023)
- [12] Koubâa A., Allouch A., Alajlan M., Javed Y., Belghith A., Khalgui M., Micro air vehicle link (mavlink) in a nutshell: A survey. *IEEE Access*, 7 (2019), 87658-87680
- [13] Katalog producenta [https://dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm\\_ds\\_web.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm_ds_web.pdf) (z dn. 19.04.2023)
- [14] Walendziuk W., Oldziej D., Slowik M., Power supply system analysis for tethered drones application. *2020 International Conference Mechatronic Systems and Materials (MSM)* (2020), 1-6