



**ANALIZA PRZENOŚNYCH SYSTEMÓW DO PRZECHWYTYWANIA
MINIATUROWYCH BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH**
**ANALYSIS OF MAN-PORTABLE SYSTEMS INTERCEPTING
MINIATURE UNMANNED AERIAL VEHICLES**

Grzegorz LEŚNIK, Paweł PŁATEK, Łukasz SZMIT, Marta CZYŻEWSKA, Michał GRAŻKA,
Jakub MICHAŁSKI

Wydział Mechatroniki i Lotnictwa, Wojskowa Akademia Techniczna
Faculty of Mechatronics and Aviation at the Military University of Technology

DOI 10.5604/01.3001.0010.5154

Streszczenie: Ostatnio obserwuje się wielki postęp technologiczny w dziedzinie bezzałogowych statków powietrznych (BSP), zazwyczaj nazywanych dronami oraz powszechne ich wykorzystanie w zastosowaniach militarnych i cywilnych. To powoduje potrzebę poszukiwania nowych sposobów reagowania m.in. na: naruszanie przestrzeni powietrznej w bezpośredniej bliskości lotnisk, naruszanie stref obiektów o strategicznym znaczeniu dla bezpieczeństwa państwa oraz zakłócania imprez masowych. Zagrożenie stanowią drony wykorzystywane do przemytu różnorodnych substancji m.in. w rejonach nadgranicznych i w zakładach karnych. W artykule przedstawiono wyniki analizy rozwiązań konstrukcyjnych systemów do przechwytywania miniaturowych bezzałogowych statków powietrznych, oceniono dotychczas wykorzystywane metody i wskazano najbardziej perspektywiczne kierunki rozwoju systemów neutralizacji dronów.

Słowa kluczowe: bezzałogowe statki powietrzne, drony, przechwytywanie bezzałogowych statków powietrznych

1. Wstęp

Ogromny postęp technologiczny w dziedzinie bezzałogowych statków powietrznych oraz ich powszechne, wręcz masowe wykorzystanie zarówno w zastosowaniach cywilnych, jak i militarnych, spowodował potrzebę reagowania w sytuacjach zagrożenia bezpieczeństwa lub naruszenia obowiązujących przepisów. Do takich sytuacji zaliczyć można m.in. naruszenie prze-

Abstract: A huge improvement in technology of unmanned aerial vehicles (UAVs), usually called drones, and their wide both civilian and military use has been observed recently. For it new countermeasures are undertaken to prevent air space violation in the vicinity of airports, critical infrastructure and mass events. Drones used to smuggle substances through the borders and to the penitentiaries are another threat. This paper presents the state of art in the systems dedicated to capture the miniature UAVs, and evaluates the methods used up to now, and points out the most perspective directions for drones' neutralization systems.

Keywords: unmanned aerial vehicles, drones, capturing the unmanned aerial vehicles

1. Introduction

Huge technological progress in unmanned aerial vehicles and their wide or even common use in both civilian and military applications have caused a need for reactions at situations when the safety is threatened or binding regulations are violated. Such situations may include the violation of the air space at direct vicinity

strzeni powietrznej w bezpośredniej bliskości lotnisk, naruszenie stref przylegających do terenów i budynków o strategicznym znaczeniu dla bezpieczeństwa państwa oraz nieautoryzowana obecność BSP podczas imprez masowych. Ponadto drony coraz częściej są wykorzystywane w działalności przestępczej m.in. do przemytu różnorodnych substancji zarówno w rejonach nadgranicznych, jak również np. w zakładach karnych. W wymiarze militarnym istotne zagrożenie stanowią BSP przeciwnika, które są używane w celach zwiadowczych do penetracji stref i obszarów kontrolowanych przez Siły Zbrojne RP oraz w sytuacjach, w których obiekt nieprzyjaciela jest używany np. jako latająca mina do przeprowadzenia ataku terrorystycznego.

Wszystkie te i inne zagrożenia spowodowały potrzebę opracowania mechanizmu obronnego, zabezpieczającego wybrany rejon i osoby w nim przebywające przed potencjalnym zagrożeniem, jakie mogą stanowić obiekty typu BSP. Takim mechanizmem są m.in. systemy do przechwytywania i obezwładniania BSP. Obecnie na świecie pojawia się coraz więcej rozwiązań tego typu. Ze względu na skalę zjawiska oraz szeroki zakres problematyki związanej z zapewnieniem bezpieczeństwa w przestrzeni powietrznej, w artykule przedstawiono jedynie systemy, które mogą być przeznaczone do przechwytywania i obezwładniania miniaturowych bezzałogowych statków powietrznych (MBSP) – czyli dronów o rozpiętości płatów nośnych lub średnicy wirnika wynoszącej od 150 do 250 mm [1], [2].

2. Podstawowe pojęcia i klasyfikacja systemów do przechwytywania MBSP

Budowa i zasada działania systemów przeznaczonych do zwalczania różnej klasy obiektów latających różni się w zależności od zdefiniowania parametrów taktyczno-technicznych celów, do zwalczania których dany system jest przeznaczony. O ile parametry te mają mniejsze znaczenie w przypadku kinetycznego oddziaływania systemu na cel, zmierzającego do jego bezpośredniego uszkodzenia lub zniszczenia, o tyle w przypadku przechwytywania czy też obezwładniania obiektu mają one już znaczenie decydujące. Jest to związane przede wszystkim z faktem, że do ostrzeliwania obiektów latających typu BSP można wykorzystywać systemy wyposażone np. w broń palną,

of airfields, the violation of the zones adjacent to areas and buildings of strategic importance for the state security, and unauthorised presence of UAVs at mass events. Moreover the drones are more often used at criminal activities including above all the smuggling of different substances both near the borders and in penitentiaries. In the military aspects a significant threat may be created by the enemy UAVs used for intelligence purposes to penetrate the zones and areas controlled by the Polish Armed Forces or in situations where the enemy's object is used as a flying mine attempting a terroristic attack.

All these and other threats have caused that a defence mechanism was developed to protect a selected region and persons present in it against a potential threat of UAV type objects. The systems for interception and incapacitation of UAVs belong above all to such mechanisms. Currently more and more solutions of this type appear in the world. Because of the wide extension of the events and problems connected with providing the safety of the airspace the paper deals only with systems for interception and incapacitation of miniaturised unmanned aerial vehicles (MUAV) for which the span of the wings or diameter of the rotor are up to 150 - 250 mm [1], [2].

2. Main Notions & Classification of MUAV Capturing Systems

The design and principle of operation of systems earmarked to fight the flying objects of different classes depends on the definition of tactical-technical parameters of targets which have to be engaged by a system. These parameters may be less important at kinetic action of the system aimed to cause a direct damage or destruction of a target but they are deciding at object's interception or incapacitation. It is connected with a fact that the systems deploying the firearms, missiles or directed energy (Photo 1) may be

rakietową lub broń energii skierowanej (fot. 1), powodujące zniszczenie lub co najmniej poważne uszkodzenie celu. W takim przypadku należy tylko dobrać parametry tzw. efektora do rozmiarów i parametrów ruchu celu. Ze względów bezpieczeństwa, takie podejście nie zawsze jest możliwe. Bardzo często zdarzają się sytuacje, w których niedopuszczalne jest destrukcyjne oddziaływanie na cel, ze względu na występowanie w teatrze działań infrastruktury cywilnej i osób postronnych.

used to destroy or seriously damage the UAVs. In such case suitable parameters of an effector have to be matched to the sizes and flying characteristics of a target. But such approach may not be useful in every case for the safety reasons. Often it is unacceptable to take any destructive action against a target because of the presence of a civilian infrastructure and third persons.



Fot. 1. System HEL (High-Energy Laser) [3]

Photo 1. System HEL (High-Energy Laser) [3]

Przykładem może być impreza masowa w centrum miasta. W takim przypadku, użycie broni palnej mogłoby stanowić istotne zagrożenie dla otaczającej infrastruktury oraz osób postronnych, znajdujących się w jej sąsiedztwie, pochodzące z oddziaływania pocisków użytych do obezwładnienia BSP, jak i spadających fragmentów trafionego celu.

W takich sytuacjach konieczne jest użycie systemów do zneutralizowania zagrożenia poprzez obezwładnienie czy nawet przechwycenie niepożądanego obiektu latającego oraz sprowadzenie go w bezpieczny sposób na ziemię.

Analizując dostępne rozwiązania pozwalające na skuteczne zwalczanie dronów można stwierdzić, że są one opracowywane jako systemy mobilne (przenośne lub przewoźne) oraz stacjonarne. Biorąc pod uwagę uniwersalność systemów mobilnych, wynikającą z możliwości ich stosowania w różnych działaniach obronnych, w artykule opisano systemy

A mass event in the downtown may be an example. In such case any use of firearms would threaten a surrounding infrastructure and third persons both by projectiles used to neutralise a UAV and falling fragments of a hit target.

Then the systems have to be used that neutralise the existing threat by incapacitating or even intercepting an unwanted flying object and down it in a safe way to the ground.

Available solutions for effective engagement of drones exist in mobile (portable or vehicle) and stationary options. Considering the wide capacities and universality of mobile systems the paper deals with the portable systems. A low weight and high ma-

przenośne. Ich podstawową zaletą jest niska masa i wysoka zwrotność ogniowa. Niestety, w porównaniu z systemami stacjonarnymi, mają one mniejszy zasięg i ograniczone efektywne neutralizowanie MBSP na większych odległościach.

3. Przenośne systemy do przechwytywania MBSP zakłócające sygnały sterujące

Pierwszą grupę systemów do przechwytywania miniaturowych bezzałogowych statków powietrznych stanowią rozwiązania oparte o zakłócanie sygnałów sterujących przechwytywanym dronem. Systemy te składają się zazwyczaj z dwóch komponentów: detekcji i emisji. Komponent detekcji wykrywa zagrożenia – może nim być np. radar trójwspółrzędny lub głowica optoelektroniczna. Zasięg detekcji wynosi zazwyczaj kilka kilometrów, co dla małych MBSP jest odległością aż nadto wystarczającą. Spotyka się również rozwiązania bazujące na detekcji akustycznej. W nich zasięg wykrywania maleje zazwyczaj do kilkuset lub nawet kilkudziesięciu metrów.

Drugi komponent wysyła w kierunku przechwytywanego obiektu sygnał zakłócający kanał łączności pomiędzy operatorem, a dronem oraz często sygnał przerywający pracę odbiornika GPS odpowiadającego za pozycjonowanie drona. Efektem takiego działania jest zazwyczaj początkowe unieruchomienie MBSP, a następnie sprowadzenie go na ziemię w trybie automatycznego lądowania.

Ograniczeniem stosowania tych rozwiązań może być zmiana kanału łączności pomiędzy operatorem, a przechwytywanym obiektem latającym. Wraz z rozwojem technologii wykorzystywanej w procesie sterowania dronami może okazać się, że anteny nadawcze systemu do przechwytywania MBSP nie będą zakłócały nowo opracowanych dronów, a w konsekwencji nie będą skutecznie uniemożliwiały ich operatorom sterowanie nimi. Należy pamiętać, że tego typu systemy zakłócają nie tylko systemy pokładowe drona. Stosowane w nich anteny są antenami kierunkowymi, jednakże istnieje ryzyko, że będą one również wpływały na pracę innych urządzeń. Ponadto generowany przez anteny sygnał zakłócający może również wpływać negatywnie na stan zdrowia operatora i osób postronnych będących w jego zasięgu. Producenci tych systemów zapewniają, że moc generowanego sygnału zakłócającego jest na tyle mała, że operator może bezpiecznie obsługiwać takie urządzenie na-

noeuvrability of fire are their advantages. But comparing with stationary systems they have a lower range what reduces the effective neutralisation of MUAVs at greater distances.

3. Portable Jamming Systems for Intercepting MUAVs

The first group of systems for intercepting miniaturised unmanned aerial vehicles deploys the jamming of their controlling signals. The systems usually consist of detection and emission components. The detection component detects a threat – it may be 3D radar or optoelectronic head. The range of detection is a few kilometres what is a sufficient distance for small MUAVs. Some solutions are also based on acoustic detection. In such case detection range is a few hundreds or even dozens of metres.

Second component sends a signal jamming the radio channel between operator and drone and often a signal breaking operation of GPS providing the positioning of drone. In effect a MUAV operation is interrupted and later it is downed in automatic landing mode.

Change of radio channel used by operator and flying object to be intercepted may limit the efficiency of this solution. Transmitting antennas of systems intercepting MUAVs may prove inefficient in preventing operators of newly developed drones to control them as a great progress in technologies used to control the drones is observed. It has to be noted that such systems jam not only instruments on board of drones. Even if they use directional antennas they may also disturb the operation of other equipment. Moreover the generated signal may affect negatively the operator's or third persons' health. Providers of the systems claim that the operator may use the equipment even within half an hour of continuous work

wet podczas półgodzinnej ciągłej pracy anteny.

as the jamming signal power is low.



Fot. 2. System do przechwytywania MBSP Drone Guard izraelskiej firmy Israel Aerospace Industries (IAI) [4]

Photo 2. Drone Guard system intercepting MUAVs made by Israeli company Israel Aerospace Industries (IAI) [4]

Przykładem systemu do neutralizowania obiektów klasy MBSP za pomocą sygnału zakłócającego jest izraelski system Drone Guard (fot. 2) oferowany przez Israel Aerospace Industries (IAI).

System ten bazuje na skanowaniu przestrzeni powietrznej z wykorzystaniem radaru 3D oraz czujników optoelektronicznych. System Drone Guard składa się z dwóch przenośnych modułów (detekcji i emisji), rozstawianych na podstawach trójnożnych oraz komputera z oprogramowaniem.

Zasięg skuteczny systemu Drone Guard wynosi do 4 km. Może on wykorzystywać radary ELM-2026D, ELM-2026B oraz ELM-2026BF o zasięgu odpowiednio: 10, 15 i 20 km oraz dodatkowo czujniki optoelektroniczne odpowiedzialne za wizualizację i identyfikację celu. Opracowane algorytmy wstępnie weryfikują wykryte obiekty pod kątem rozpoznania tzw. obiektów typu LSS (Low, Slow and Small). Następnie moduł emisji generuje i wysyła w kierunku namierzonego celu sygnał zakłócający (jamming signal) powodując odcięcie drona od sygnałów sterujących wysyłanych przez operatora oraz uniemożliwiając poprawną pracę jego odbiornika GPS. Tak obezwładniony dron przystępuje do automatycznego lądowania lub wraca do miejsca startu, w przypadku bardziej wyrafinowa-

Israeli system Drone Guard (Photo 2) of Israel Aerospace Industries (IAI) is an example of a system neutralising the MUAVs by jamming.

The system scans the space by optoelectronic sensors and 3D radar. Drone Guard system consists of two portable modules (detection and emission) on tripods and computer with software.

The effective range of Drone Guard is up to 4 km. It may use radars ELM-2026D, ELM-2026B and ELM-2026BF with the ranges: 10, 15 and 20 km and additionally the optical-electronic sensors for target visualisation and identification. Used algorithms provisionally classify detected objects into LSS (Low, Slow and Small). Next the emission module generates and sends towards the spotted object a jamming signal cutting the drone out of operator's control signals and disturbing the GPS. A hit drone begins automatic landing or returns to place of take off in finer solutions [5], [6], [7].

System AUDS (Anti-UAV Defence

nych rozwiązań. [5], [6], [7]

Podobną konfiguracją ma system AUDES (Anti-UAV Defence System) brytyjskiej firmy Blighter Surveillance Systems Ltd. (fot. 3). Również w nim wykorzystano radar o zasięgu wykrywania do 10 km i minimalnej powierzchni celu wynoszącej $0,01 \text{ m}^2$, detektory optoelektroniczne do śledzenia i identyfikacji wykrytych obiektów (m.in. kolorową kamerę dalekiego zasięgu, kamerę termowizyjną, video tracker) oraz kierunkowe anteny zakłócające. Działanie jego jest zbliżone do działania systemu Drone Guard i ma na celu wykrycie, śledzenie i identyfikację MBSP oraz zakłócenie sygnałów nim sterujących, powodując przerwanie jego misji, z jednoczesną minimalizacją skutków ubocznych.

System) of British firm Blighter Surveillance Systems Ltd. (Photo 3) has similar structure. The system's radar has detection range of 10 km and target minimal cross-section 0.01 m^2 , and optoelectronic detectors to track and identify detected objects (colour long range and thermo-vision cameras and video tracker), and directional jamming antennas. The system is similar to Drone Guard and is aimed to detect, track and identify a MUAV and jam its controlling signals to interrupt its mission at minimal side effects.



Fot. 3. System do przechwytywania MBSP AUDES (Anti-UAV Defence System) brytyjskiej firmy Blighter Surveillance Systems Ltd [8]

Photo 3. System MBSP AUDES (Anti-UAV Defence System) of the British firm Blighter Surveillance Systems Ltd [8]

Kolejnym rozwiązaniem jest oferowany przez polską firmę Hertz Systems Ltd Sp. z o.o. system Jastrząb (fot. 4). Moduł detekcji składa się z radaru (o zasięgu do 9 km) i elementów optoelektronicznych. Jest modułem stacjonarnym lub mobilnym (na pojeździe). Moduł zakłócający jest w pełni przenośnym urządzeniem, obsługiwanym przez jednego operatora o zasięgu zakłócania do około 1 km. Na podstawie danych, uzyskanych ze śledzenia przestrzeni powietrznej, wizualizowane są na mapie terenu informacje przedstawiające trajektorie obiektów znajdujących się w ochranianej strefie.

The Jastrząb (Hawk) system of the Polish firm Hertz Systems Ltd Sp. z o.o. (Photo 4). Detection module consisting of the radar (9 km range) and optoelectronic components is a stationary or mobile module (on vehicle). The jamming module with the range of ca. 1 km is a portable unit handled by an operator. On the map of a terrain the trajectories of objects flying within a protected zone are shown by scanning the space.



Fot. 4. System do przechwytywania MBSP Jastrząb polskiej firmy Hertz Systems Ltd Sp. z o.o. [10]
Photo 4. "Jastrząb" system for interception of MUAV made by Polish firm Hertz Systems Ltd Sp. z o.o. [10]

Wykorzystując specjalnie opracowane algorytmy możliwa jest identyfikacja potencjalnie niebezpiecznych obiektów latających.

Jeżeli znajdują się one w zasięgu efektywnego oddziaływania modułu zakłócającego możliwe jest podjęcie działania do ich neutralizacji. Kierunkowa antena zabudowana w układzie przypominającym kształtem karabinek generuje sygnały powodujące odcięcie drona od macierzystych sygnałów sterujących i w konsekwencji jego lądowanie w trybie autopilota. Antena naprowadzana jest na cel przez operatora z wykorzystaniem mechanicznych przyrządów celowniczych, więc uzyskanie zasięgu 1 km do małego celu może być problematyczne.

Potentially dangerous objects are identified by using special algorithms.

They may be neutralised if they fall into effective range of jamming module. Directional antenna resembling a gun generates signals cutting the drone out of control signals and makes it land in auto-pilot mode. The operator directs the antenna on a target by a mechanical sight so the range of 1 km at small size of target seems a bit problematic.



Fot. 5. System do przechwytywania MBSP Drone Defender amerykańskiej firmy Battelle [11]
Photo 5. "Drone Defender" system for interception of MUAV made by the US firm Battelle [11]

Niemalże identyczną propozycję, pod względem modułu zakłócającego, przedstawiła firma Battelle ze swoim systemem o nazwie Drone Defender (fot. 5). Podstawowe różnice to inny kształt jednej z anten oraz wykorzystanie celownika kolimatorowego firmy EOTech. Zasięg systemu wynosi do 400 m, czas pracy do 5 godzin, a jego masa nie przekracza 5 kg.

Kolejnym systemem do neutralizowania MBSP za pomocą sygnału zakłócającego jest DroneShield przedstawiony na fot. 6. W porównaniu do wcześniej omówionych rozwiązań, w procesie detekcji wrogich dronów stosowane są sensory dźwięku, wychytujące i separujące z otoczenia dźwięki, które następnie porównywane są z bazą charakterystyk akustycznych emitowanych przez drony. W przypadku zidentyfikowania zagrożenia uruchamiany jest alarm (może on być również wysłany jako telefoniczna wiadomość tekstowa), który inicjuje działania zmierzających do neutralizacji zagrożenia.

Jedną z możliwych odpowiedzi jest wykorzystanie urządzenia o nazwie DroneGun, którego zasięg wynosi do 2 km, a masa około 5 kg. Jest ono zbudowane w układzie z kolbą teleskopową, przystosowane do obsługi przez jednego operatora, którego wyposażenie stanowi również plecak zawierający m.in. źródło zasilania.

Similar jamming module has Drone Defender (Photo 5) of Battelle firm. Main difference is a collimator sight of EOTech firm and another shape of one antenna. The range is 400 m, working time to 5 hours and the mass to 5 kg.

DroneShield shown in photo 6 is a next system using jamming signal to neutralise MUAV. Contrary to former solutions it uses sensors receiving acoustic signals to compare them with data base of drone sounds. When a threat is identified then alert signal is generated (it may be also a phone text message) to initiate its neutralisation.

DroneGun is another offer and it has the range to 2 km and mass of ca. 5 kg. It is handled by one operator and has a telescopic butt and a knapsack including also a powering battery.



Fot. 6. System do wykrywania i przechwytywania MBSP DroneGun i DroneShield [12]

Photo 6. "DroneGun" and "DroneShield" Systems for detecting and intercepting MUAV [12]

4. Przenośne systemy do kinetycznego przechwytywania MBSP

Do drugiej grupy systemów do przechwytywania miniaturowych bezzałogowych statków powietrznych zaliczyć można rozwiązania bazujące na kinetycznym przechwytywaniu potencjalnie niebezpiecznych dronów. Systemy te mogą składać się z komponentu detekcji, identycznego jak w przypadku systemów zakłócających oraz z komponentu przechwytyjącego. Ten z kolei może być wystrzeliwany ze specjalnie zaprojektowanej wyrzutni lub z broni palnej wykorzystywanej również do innych celów poprzez zastosowanie specjalnej amunicji.

Ze względu na konieczność dostarczenia elementu przechwytyjącego w okolice przechwytywanego obiektu zasięg takich systemów jest zazwyczaj zdecydowanie mniejszy niż w przypadku systemów zakłócających. Aby ten zasięg zwiększyć stosuje się różnego rodzaju nośniki elementów przechwytyjących. Takimi nośnikami, oprócz innych dronów, może być amunicja wystrzeliwana w kierunku celu i rozczalana w pewnej odległości od

4. Portable Systems for MUAV Kinetic Capture

The second group of systems intercepting MUAVs includes solutions for kinetic capturing of dangerous drones. They are built from a detection part that is the same as for jamming systems and a capturing component. It may be shot from a special launcher or from a regular firearm by using special ammunition.

As the seizing element has to be transported in the vicinity of an intercepted object then the range of such systems is much lower than for the jamming ones. Different carriers of capturing elements are used to increase the range. Apart of drones the ammunition which falls apart near a target is used for shooting. After self-separating the capturing element like a net or connected tapes or strings interact with an intercepted object and

niego. Po rozcaleniu, element przechwytyjący, np. w postaci siatki lub połączonych taśm lub linek, oplata przechwytywany obiekt i sprowadza go na ziemię poprzez zaburzenie jego sterowności, wynikające np. ze zwiększenia masy obiektu lub uszkodzenia elementów wytwarzających siłę nośną.

Pierwszym przykładem systemu, który może być wykorzystany do przechwytywania MBSP w omawiany sposób mogą być różnego rodzaju ręczne miotacze siatek wykorzystywane do obezwładniania ludzi lub zwierząt. Takim systemem jest np. CODA Netgun (fot. 7) zbudowany w układzie kolbowym z chwytem pistoletowym i chwytem przednim. Cechą charakterystyczną urządzenia jest układ ustawionych pod kątem czterech prowadnic, służących do miotania ciężarków zamocowanych do siatki obezwładniającej. Ciężarki po wystrzeleniu ich z wyrzutni powodują nadanie prędkości postępowej siatce oraz jej rozłożenie w celu zwiększenia prawdopodobieństwa skutecznego trafienia celu. Zasięg takiego zestawu zazwyczaj nie przekracza kilkunastu metrów.

Podobne rozwiązanie w zakresie kinetycznego oddziaływania na MBSP możliwe jest dzięki wykorzystaniu naboju specjalnego przeznaczenia, np. oznaczonych symbolem ALS12SKY-Mi5 (fot. 8) wyrzeliwanych ze strzelby kal. 12.

Nabój ten, o masie 52,5 g, składa się z pocisku zawierającego pięć segmentów umieszczonych w łusce, które po wystrzale, na skutek działania siły odśrodkowej (przy zastosowaniu odpowiedniego czoka), rozlatują się promieniowo. Do tylnych części segmentów przywiązano nylonowe linki połączone ze sobą drugimi końcami.

make it down by disturbing its flight.

A first example of such systems may be a hand thrower of nets used for incapacitating persons or animals. CODA Netgun (Photo 7) is an example and it is built in the butt configuration with the pistol and front grips. The solution has four tilted launchers throwing the weights fixed to incapacitating net. The weights after launching make the net move and spread to increase a chance of hitting a target effectively. The range of the system is a dozen metres.

Similar solution of kinetic action against MUAVs uses special cartridges e.g. marked by ALS12SKY-Mi5 (Photo 8) shot by gun of calibre 12.

The cartridge of 52.5 g mass has a projectile consisting of 5 segments placed in the case and separating after firing in radial directions under the centrifugal force (by using a choke).

Nylon strings are fixed to rear parts of segments on one side and their other sides are joined.



Fot. 7. Miotacz siatki CODA Netgun [13]

Photo 7. Net thrower CODA Netgun [13]



Fot. 8. Nabój ALS12SKY-Mi5 wystrzeliwany ze strzelby kal. 12 i przeznaczony do niszczenia dronów [14]

Photo 8. Cartridge ALS12SKY-Mi5 shot with calibre 12 gun earmarked for destruction of drones [14]

To powoduje, że po strzale w kierunku celu przemieszcza się pięcioramienna sieć o średnicy około 1,5 m, co zwiększa prawdopodobieństwo trafienia celu na odległości do około 90 m.

Inny przykład systemu realizującego proces neutralizacji obiektu MBSP metodą oddziaływania kinetycznego stanowi propozycja brytyjskiej firmy OpenWorks Engineering o nazwie Skywall 100 (fot. 9).

Jest to w pełni przenośny system do przechwytywania obiektów latających typu MBSP, składający się z wyrzutni naramiennej obsługiwanej przez jednego operatora oraz pocisku siatkowego, który po wystrzeleniu w kierunku celu rozciąga się w pewnej odległości od niego i wyrzuca siatkę przechwytyjącą, która oplata cel i powoduje jego opadanie.

After firing a five arm net with ca. 1.5 m diameter can hit a target efficiently up to ca. 90 m.

Skywall 100 (Photo 9) of the OpenWorks Engineering from the UK is a next example of neutralisation by kinetic reaction.

This entirely portable system handled by one operator uses an arm held launcher to fire a net projectile that separates before a target and entangles it into the net and makes it down.



Fot. 9. System do przechwytywania MBSP SkyWall 100 brytyjskiej firmy Open Works Engineering [15]

Photo 9. System SkyWall 100 for interception of MUAVs of British company Open Works Engineering [15]

W trakcie procesu rozcalania pocisku z jego korpusu uwalniany jest spadochron, który po rozłożeniu się znacząco spowalnia prędkość opadania drona i elementów pocisku (do około 3,3 m/s). Całość uzupełnia celownik wyposażony w dalmierz laserowy, wypracowujący nastawy celownicze oraz sygnał sterujący czasem zadziałania pocisku siatkowego.

Według producenta system jest zdolny do przechwytywania dronów znajdujących się w odległości od 10 do 100 m od strzelca i przemieszczających się z prędkością: do 15 m/s w przypadku celów nadlatujących oraz do 12,5 m/s w przypadku celów poruszających się prostopadle do płaszczyzny strzelania.

W zestawie o masie 12 kg zastosowano pneumatyczny układ miotający z wymiennym zbiornikiem sprężonego gazu. System może być używany w temperaturze od -5°C do $+50^{\circ}\text{C}$, wymiary wyrzutni wynoszą 0,31x0,28x1,30m (wysokość x szerokość x długość).

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy stanu techniki w dziedzinie przenośnych systemów do przechwytywania miniaturowych bezzałogowych statków powietrznych należy stwierdzić, że w przypadku systemów zakłócających sygnały sterujące przechwytywanego drona, zazwy-

A parachute is released during the projectile's self-separation to slow the dropping velocity of the drone and parts of projectile (to ca. 3.3 m/s). The system is completed by a sight with laser range finder to produce aiming settings and signal controlling the time for activation of the net projectile.

The manufacturer maintains that the system engages the drones from 10 to 100 m moving with up to 15 m/s in approaching direction and up to 12.5 m/s for traverse direction.

The set with the mass of 12 kg deploys pneumatic projecting system with an exchangeable gas bottle. It operates in temperatures -5°C to $+50^{\circ}\text{C}$ and the launcher has the size of 0.31x0.28x1.30m (height x width x length).

5. Summary

State of the art technology in portable systems intercepting MUAVs indicates that solutions jamming the signals controlling the intercepted drone usually deploy two components: for detection and emis-

czasem stosowane są systemy składające się z dwóch komponentów: detekcji i emisji.

Ze względu na funkcjonalność całego systemu, często są one integrowane ze sobą z wykorzystaniem odpowiedniego oprogramowania. Ideowo można je traktować jednak, jako dwa niezależne podsystemy. Jest to o tyle bardziej uzasadnione, że komponent emisji jest w zasadzie odpowiednikiem systemu do kinetycznego przechwytywania MBSP. Z kolei, w celu rozbudowy systemów bezpośrednio oddziaływujących na MBSP, można wykorzystać jeden z dostępnych podsystemów detekcji systemów zakłócających. Biorąc powyższe pod uwagę, można zauważyć, że pod względem zasięgu systemy zakłócające przewyższają systemy do kinetycznego przechwytywania MBSP. Również pod względem skuteczności, opierając się na danych producentów oraz doniesieniach medialnych, systemy zakłócające przeważają nad przechwytywanymi. Należy jednak pamiętać, że stały postęp w dziedzinie przekazywania sygnałów i sterowania obiektami latającymi stawia pod znakiem zapytania skuteczność tego typu rozwiązań w przyszłości i skazuje konstruktorów na nieustanny wyścig w poszukiwaniu skuteczniejszych metod zarówno sterowania jak i jego zakłócania. Ponadto, odpowiedź układu autopilota zabudowanego na pokładzie drona po zakłóceniu jego sensorów nie jest do końca przewidywalna. Może on np. przystąpić do realizacji procedury automatycznego lądowania, pozostać w bezruchu do czasu wyczerpania się jego źródła zasilania lub powrócić do punktu startu. Wszystkie te i inne scenariusze stwarzają nadal potencjalne zagrożenie dla otoczenia.

Ze względu na dążenie do zwiększenia zasięgu lotu oraz czasu funkcjonowania na pokładowym źródle zasilania, przechwytywane obiekty klasy MBSP najczęściej charakteryzują się niewielką masą. Optymalizacja masy układu wymaga niejednokrotnie zastosowania do budowy tego typu urządzeń lekkich materiałów kompozytowych i polimerowych, które są stosunkowo podatne na uszkodzenia mechaniczne. To z kolei umożliwia obezwładnienie ich przy nawet niewielkim kontakcie z elementem przechwytywanym. Ponadto, MBSP dysponują zazwyczaj niewielkim zapasem siły nośnej i każde pozornie niewielkie zwiększenie masy przechwytywanego obiektu, np. poprzez oplatanie go przez siatkę,

sion.

They are often mutually integrated by adequate software for the system functionality. But conceptually they may be treated as two independent subsystems. It is justified by the fact that emission component corresponds to kinetic interceptor of MUAV. On the other hand a detection component from jamming system may be used for a direct action system. The jamming systems have greater effectiveness and range than kinetic interceptors. But it is worth to note that a permanent progress in controlling flying objects and transmitting the signals puts a question mark on such solutions and gets the designers cope with everlasting race of searching for efficient methods of controlling and jamming. Moreover the reaction of drone's autopilot is still unknown after jamming. It may start the automatic landing, stay in the site until the batteries are spent, or return to a takeoff site. All these and other scenarios still create a threat for environment.

In order to save the battery and increase the range and time of operation the MUAVs are characterised by a low mass. The optimisation of mass leads to the use of light composite and polymeric materials susceptible to mechanical damages. It gets them incapacitate at even weak contact with an intercepting body. Moreover the drones typically have the limited lift and each increase of their mass may interrupt the flight. Considering the above it seems that kinetic interception of an object and its controlled grounding is a better solution. Of course the lower range of such systems is a problem but it may be increased together with the hitting probability by integrating a net head on a missile.

Summing up for an efficient and controlled grounding of MUAVs the future efforts have to be focused on

może spowodować, że dron nie będzie w stanie kontynuować lotu. Biorąc powyższe pod uwagę, lepszym rozwiązaniem wydaje się kinetyczne przechwytywanie obiektu i kontrolowane sprowadzanie go na powierzchnię ziemi. Oczywiście problemem może okazać się mniejszy zasięg takich systemów, jednakże przy zastosowaniu odpowiedniego nośnika siatki można go w sposób znaczący wydłużyć oraz zwiększyć prawdopodobieństwo przechwycenia celu, np. montując głowicę siatkową na pocisku raketowym.

Reasumując, aby zapewnić skuteczne przechwytywanie miniaturowych bezzałogowych statków powietrznych, kierunki dalszych prac w przedmiotowej dziedzinie powinny być skupione na rozwoju siatkowych lub siatkopodobnych układów przechwytyjących, z kontrolowanym sprowadzaniem przechwyconego obiektu na powierzchnię ziemi. Takie układy wydają się najbardziej niezawodne w dłuższej perspektywie czasowej, a przy odpowiednio rozwiniętej technice wypracowywania nastaw do strzelania oraz zastosowaniu odpowiedniego nośnika elementu przechwytyjącego mogą dorównywać zasięgiem zestawom zakłócającym. Dodatkowo, wykorzystanie w rejonie chronionym modułu detekcji niepożądanych dronów, np. takich jak w systemach zakłócających sygnały sterujące, zwiększy możliwości i funkcjonalność systemów do kinetycznego przechwytywania MBSP.

intercepting systems using the nets. They seem to be most reliable in the future and deployment of better systems of firing settings and the interceptor's carrier may reach the range of jamming systems. By deployment of detecting modules used in jamming systems in protected zones the capacities and functionality of systems for kinetic interception of MUAVs may be additionally increased.

Literatura / Literature

- [1] Becmer D., Bezzałogowe systemy latające klasy I – II w przyszłym systemie walki, *Zeszyty Naukowe WSO WL*, Nr 1(143) 2007, str. 33-44, Wrocław, 2007 r.
- [2] Becmer D., Skorupka D., Duchaczek A., Trendy rozwojowe bezzałogowych systemów latających, *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Wojskowy Instytut Techniki Uzbrojenia, Zielonka, 2015 r.
- [3] <http://aviationweek.com/blog/rheinmetall-gives-them-hel>, 20.04.2017 r.
- [4] http://defense-update.com/iai_drone_guard725, 20.04.2017 r.
- [5] <https://www.flightglobal.com/news/articles/iai-drone-guard-system-carries-out-flight-demos-428461/>, 20.04.2017 r.
- [6] <https://defence.pk/pdf/threads/iai-drone-guard-anti-drone-system.479818/>, 20.04.2017 r.
- [7] <http://www.cyberdefence24.pl/428432,izrael-buduje-tarcze-przeciwko-dronom-wyscig-orynek>, 20.04.2017 r.
- [8] <http://www.blighter.com/products/auds-anti-uav-defence-system.html>, 20.04.2017 r.
- [9] <http://www.hertzsystems.com/product/systemy-antydronowe/>, 28.04.2017 r.

- [10] <http://www.defence24.pl/586260,europoltech-2017-jastrzab-upoluje-drony>, 28.04.2017r .
- [11] <http://www.trendsderzukunft.de/dronedefender-handliche-drohnen-abwehr-kanone/2015/10/19/>, 20.04.2017 r.
- [12] <https://www.droneshield.com/products>, 20.04.2017 r.
- [13] <http://www.codaenterprises.com/products.html>, 20.04.2017 r.
- [14] <https://www.lesslethal.com/products/12-gauge/als12skymi-5-detail>, 20.04.2017 r.
- [15] <https://openworksengineering.com>, 20.04.2017 r.

*Praca naukowa DOB-1P/02/18/2016 finansowana przez
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju ze środków na naukę w latach 2016-2019*

*The scientific work DOB-1P/02/18/2016 was financed by the Polish National Centre
for Research and Development from 2016-2019 Scientific Fund*

