

JĘDRZEJ ŁUKASIEWICZ

Bezzałogowe statki powietrzne jako źródło zagrożeń infrastruktury zaopatrzenia państw w energię elektryczną oraz proponowane metody ochrony tej infrastruktury

Abstrakt

Bezzałogowe statki powietrzne stanowią zagrożenie dla obiektów ważnych dla bezpieczeństwa państwa. Ich uniwersalność wynikająca z cech poszczególnych typów statków powietrznych powoduje, że skala sposobów ich użycia w atakach jest praktycznie nieograniczona. Dla bezpieczeństwa państwa niezwykle istotny jest system zaopatrzenia w energię elektryczną. Ze względu na rozległość sieci przesyłowych oraz znaczną liczbę punktów węzłowych tych sieci należy postawić pytanie, jak dalece system ten jest odporny na ataki terrorystyczne, zwłaszcza te przeprowadzone z zastosowaniem bezzałogowego statku powietrznego. W pracy autor dokonuje analizy ataku polegającego na spowodowaniu zwarcia instalacji elektrycznej z użyciem przewodu miedzianego podwieszono pod bezzałogową platformę latającą. Implementacja opisanych w pracy zalecanych sposobów ochrony powinna doprowadzić do podniesienia poziomu bezpieczeństwa sieci przesyłowych.

Słowa kluczowe:

bezzałogowe statki powietrzne, sieć elektroenergetyczna, ochrona obiektów ważnych dla bezpieczeństwa państwa, profilaktyka antydronowa

Bezzałogowe statki powietrzne są źródłem zagrożeń dla obiektów ważnych dla bezpieczeństwa państwa. Bezzałogowe statki powietrzne (np. samolot, multirotor lub śmigłowiec) to urządzenia, które wykonują swoje misje bez obecności pilota na pokładzie. Mogą one atakować cele, także ludzi, wykorzystując algorytmy sztucznej inteligencji¹. Informacje prasowe pokazują kolejne przykłady wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych w działaniach wojennych, ale także w atakach terrorystycznych², w tym na system zaopatrzenia w energię elektryczną. Celem analizy przedstawionej w pracy jest określenie podatności sieci energetycznej na ataki prowadzone za pomocą bezzałogowych statków powietrznych oraz wskazanie metod zapobiegania atakom realizowanym za pomocą tego typu urządzeń na obiekty elektroenergetyczne w Polsce. Przeprowadzenie takiej analizy wydaje się uzasadnione, ponieważ doniesienia medialne uprawniają do sformułowania hipotezy, że sukces jednego tego typu ataku może wywołać trend do atakowania dronami obiektów sieci elektroenergetycznej w Europie, w tym w Polsce.

Struktura sieci elektroenergetycznej w Polsce

Energię elektryczną w Polsce produkują elektrownie: ciepłone, wodne, wiatrowe, fotowoltaiczne oraz wykorzystujące biogaz lub biomasę. Część energii elektrycznej jest importowana z zagranicy³. Energia elektryczna od producenta do końcowego użytkownika jest przesyłana przez sieć elektroenergetyczną, złożoną z linii oraz stacji elektroenergetycznych. Każdy przesył energii generuje straty. Aby były one jak najniższe, do przesyłu energii na duże odległości wykorzystuje się sieci przesyłające energię o napięciach od 220 kV do 400 kV, zwanych najwyższymi napięciami. Do przesyłu energii elektrycznej na odległość do

¹ <https://www.newscientist.com/article/2278852-drones-may-have-attacked-humans-fully-autonomously-for-the-first-time/> [dostęp: 30 XI 2021].

² <https://edition.cnn.com/2019/03/14/americas/venezuela-drone-maduro-intl/index.html> [dostęp: 30 XI 2021]; <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-59195399> [dostęp: 30 XI 2021]; <https://www.reuters.com/world/middle-east/iran-backed-militia-behind-attack-iraqi-pm-sources-2021-11-08/> [dostęp: 30 XI 2021].

³ *Energetyka, dystrybucja, przesył*, PTPiREE, http://ptpiree.pl/raporty/2021/raport_ptpiree_2021.pdf [dostęp: 30 XI 2021].

kilkudziesięciu kilometrów służą linie, w których napięcie wynosi 110 kV. Jest to wysokie napięcie. W lokalnych liniach rozdzielczych napięcie wynosi od 10 kV do 30 kV i jest to tzw. średnie napięcie. Średnie napięcie transformowane jest do niskiego napięcia wynoszącego 220/230 V lub 380/400 V. Niskie napięcie wykorzystywane jest przez końcowego odbiorcę⁴. Plan sieci elektroenergetycznej w Polsce uwzględniający planowane inwestycje przedstawiony jest na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat sieci elektroenergetycznej w Polsce.

Źródło: <https://www.pse.pl/obszary-dzialalnosci/krajowy-system-elektroenergetyczny/plan-sieci-elektroenergetycznej-najwyzszych-napiec/planowana> [dostęp: 30 XI 2021].

System elektroenergetyczny w Polsce składa się z systemowych stacji elektroenergetycznych dla najwyższych napięć, stacji rozdzielczych napięć wysokich oraz stacji transformatorowych. Zgodnie z informacją

⁴ <https://www.pse.pl/obszary-dzialalnosci/krajowy-system-elektroenergetyczny/informacje-o-systemie> [dostęp: 30 XI 2021].

udostępnioną przez Polskie Sieci Energetyczne SA obecnie na obszarze Polski wykorzystuje się 281 linii najwyższego napięcia o łącznej długości 15 316 km oraz 109 stacji najwyższych napięć. Liniami wysokiego, średniego i niskiego napięcia zarządzają: Enea Operator, Energa-Operator, Polska Grupa Energetyczna Dystrybucja, Innogy Stoen Operator oraz Tauron Dystrybucja. Całkowita długość przyłączy zarządzanych przez ww. operatorów wynosi 169 076 km. Obsługa wyżej opisanych linii wymagała zbudowania 111 stacji najwyższego, 1537 wysokiego oraz 262 989 średniego napięcia⁵. Linie najwyższego napięcia oraz linie wysokiego napięcia wykonane są z kabli, które nie są izolowane. Linie średniego napięcia zazwyczaj nie są izolowane. Na liniach średniego napięcia stosuje się izolację, gdy przebiegają one przez las. Linie niskiego napięcia są izolowane⁶. Linie napowietrzne są wyposażone w zdalnie sterowane rozłączniki i sygnalizatory zwarcia, które pozwalają na szybką lokalizację usterki.

Uszkodzenie instalacji elektrycznej za pomocą bezzałogowego statku powietrznego

Zagrożenia dla sieci elektroenergetycznych zostały zauważone już dawno⁷, a doniesienia o atakach na elementy sieci ukazywały się w środkach masowego przekazu⁸.

W dniu 4 listopada 2021 r. zostały opublikowane informacje zawarte w raporcie Joint Intelligence Bulletin (JIB). Department of Homeland Security (DHS), Federal Bureau of Investigation (FBI) oraz National Counterterrorism Center (NCTC) odniosły się w nim do zdarzenia, do którego doszło w Stanach Zjednoczonych Ameryki, w Pensylwanii, a które

⁵ *Energetyka, dystrybucja, przesył...*, s. 33–49.

⁶ Tamże, s. 51–67.

⁷ P.W. Parfomak, *Physical Security of the U.S. Power Grid. High-Voltage Transformer Substations*, Congressional Research Service, 17 VI 2014; R. Baldick, B. Chowdhury, I. Dobson, *Initial review of methods for cascading failure analysis in electric power transmission systems IEEE PES CAMS task force on understanding, prediction, mitigation and restoration of cascading failures*, w: *IEEE Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008.

⁸ <https://www.wsj.com/articles/SB10001424052702304851104579359141941621778> [dostęp: 30 XI 2021].

polegało na próbie ataku na elementy sieci elektroenergetycznej przy użyciu drona z podwieszonym do jego obudowy przewodem elektrycznym. Do ataku najprawdopodobniej użyto bezzałogowego statku powietrznego produkcji firmy DJI Mavic 2⁹. Jest to model powszechnie dostępny w sklepach.

W związku z ujawnieniem informacji o możliwości atakowania sieci elektroenergetycznej za pomocą bezzałogowego statku powietrznego należy zadać pytanie, jak bardzo sieć elektroenergetyczna w Polsce jest podatna na przeprowadzony w ten sposób atak.

Do analizy możliwości uszkodzenia sieci z użyciem bezzałogowego statku powietrznego wybrano urządzenia, których parametry lotu są zbliżone do modeli powszechnie dostępnych na rynku. Należy przyjąć, że niektóre modele przeznaczone są do wykonywania tylko i wyłącznie konkretnych typów misji, np. dla modeli przenoszących kamerę misją taką jest filmowanie obiektu, z kolei inne typy statków powietrznych to platformy uniwersalne, przystosowane przez producenta do podniesienia dowolnego ładunku użytecznego, którego jedynym ograniczeniem jest rozmiar i masa. Takim ładunkiem użytecznym może być np. urządzenie służące do badania jakości powietrza, system lidarowy, ale także ładunek wybuchowy. Statki powietrzne przeznaczone do wykonania konkretnej misji są konstrukcjami zwartymi, zamkniętymi, a podwieszenie pod nie dodatkowego ładunku jest nieco utrudnione. Statki, które są platformami uniwersalnymi, to konstrukcje otwarte, mające pokłady specjalnie przygotowane do podwieszenia ładunku. Analizując parametry ogólnie dostępnych na rynku platform, można w pewnym przybliżeniu założyć, że najczęściej statek powietrzny może podnieść ładunek dodatkowy o masie stanowiącej ok. 30 proc. masy platformy bez wyposażenia. Do analizy wybrano platformy, które mogą podnieść następujące masy ładunku: 0,25 kg, 0,5 kg, 2,5 kg oraz 4 kg. Wraz ze wzrostem masy ładunku zwiększa się także wielkość statku powietrznego, a więc pojawia się trudność w jego transporcie i ukryciu.

Uszkodzenia instalacji elektrycznej, a tym samym zatrzymania jej pracy, można dokonać na różne sposoby: może to być uszkodzenie mechaniczne na skutek detonacji ładunku wybuchowego, uszkodzenie poprzez spowodowanie zwarcia przewodów z napięciem do ziemi,

⁹ <https://www.thedrive.com/the-war-zone/43015/likely-drone-attack-on-u-s-power-grid-revealed-in-new-intelligence-report> [dostęp: 30 XI 2021].

tw. doziemienie, a także uszkodzenie poprzez spowodowanie zwarcia przewodów z napięciem, przy czym zwarcie to zachodzi między różnymi przewodami fazowymi. W informacji prasowej z listopada 2021 r. opisano próbę ataku polegającego na zwarciu wywołanym w instalacji elektrycznej. Do analizy wybrano dwa scenariusze:

1. Bezzałogowy statek powietrzny z podwieszonym długim, nieizolowanym przewodem elektrycznym podlatuje do nieizolowanego przewodu fazowego i zwiera go do ziemi;
2. Bezzałogowy statek powietrzny z podwieszonym długim nieizolowanym przewodem elektrycznym podlatuje do słupa z nieizolowanymi przewodami elektrycznymi i powoduje zwarcie między przewodami.

Wyznaczenie długości nieizolowanego miedzianego przewodu elektrycznego, który posłuży do powstania zwarcia instalacji elektrycznej

Zwarcie nastąpi pomiędzy jednym z przewodów fazowych a ziemią lub pomiędzy przewodami fazowymi. Długość przewodu elektrycznego, który posłuży do powstania zwarcia instalacji elektrycznej, można wyznaczyć ze wzoru:

$$l = \frac{m}{\sigma \times S} [\text{m}],$$

gdzie:

l – długość przewodu wyrażona w m,

m – masa przewodu wyrażona w kg, którą bezzałogowy statek powietrzny podniesie do góry,

σ – gęstość materiału wyrażona w kg/m^3 ; gęstość miedzi wynosi 8920 kg/m^3 ,

S – pole przekroju materiału wyrażone w m^2 .

Pola przekroju przewodów elektrycznych są wielkościami znormalizowanymi. Wyliczone długości przewodów stanowiących ładunek dodatkowy o masach: 0,25 kg, 0,5 kg, 2,5 kg, 4 kg, zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie długości przewodów elektrycznych podwieszonych pod bezzałogowy statek powietrzny, o zadanych przekrojach oraz o założonych masach.

Pole przekroju przewodu S [mm ²]	Długość przewodu stanowiącego dodatkowy ładunek statku powietrznego [m] w zależności od masy przewodu podwieszono pod bezzałogowy statek powietrzny			
	0,25 [kg]	0,50 [kg]	2,50 [kg]	4,00 [kg]
0,50	55,7	111,5	446,3	892,60
0,75	37,1	74,3	297,5	594,80
1,00	28,5	56,9	227,7	455,40
1,50	18,2	36,4	145,7	291,50
2,50	11,0	22,0	88,2	176,30
4,00	7,1	14,2	56,9	113,80
6,00	4,5	9,1	36,4	72,90
10,00	2,7	5,5	22,0	44,02
16,00	1,7	3,5	14,1	28,20
25,00	1,1	2,2	8,9	17,90
35,00	0,8	1,6	6,4	12,90
50,00	0,5	1,1	4,5	8,90

Jak można wyczytać z tabeli 1, dla pól przekroju poprzecznego do 4 mm² długość przewodu, który może zostać podwieszony pod bezzałogowy statek powietrzny, jest wystarczająca do spowodowania zwarcia przewodów fazowych na słupie. Dla mniejszych przekrojów przewodu jego długość będzie wystarczająca, by dokonać zwarcia – doziemienia – pomiędzy przewodem fazowym a ziemią. Gdy przewód podwieszony pod bezzałogowy statek powietrzny zostanie zawieszony na przewodzie fazowym instalacji elektrycznej, nastąpi zwarcie, a przez przewód zwierający popłynie prąd zwarcia. Przewód taki może ulec stopieniu, a przybliżony czas jego topienia będzie zależał od jego pola powierzchni przekroju poprzecznego oraz od natężenia prądu zwarcia¹⁰. Przybliżone wartości natężenia prądów, które spowodują stopienie przewodu w deklarowanym czasie, zostały zestawione w tabeli 2. Przybliżenie to wynika z innych pól przekroju S przewodów stosowanych w Stanach Zjednoczonych.

¹⁰ W.H. Preece, *On the Heating Effects of Electric Currents. No. II*, „Proceedings of the Royal Society of London” 1887–1888, t. 43; W.H. Preece, *On the Heating Effects of Electric Currents. No. II*, „Proceedings of the Royal Society of London” 1887–1888, t. 44; E.R. Stauffacher, *Short-time Current Carrying Capacity of Copper Wire*, „General Electric Review” 1928, t. 31, nr 6.

Tab. 2. Zestawienie przybliżonych natężeń prądu elektrycznego, które dla zadanych przekrojów wywołają stopienie przewodu po deklarowanym czasie.

Pole przekroju przewodu S [mm ²]	Orientacyjna wartość natężenia prądu elektrycznego płynącego w deklarowanym czasie do momentu stopienia przewodu [A] w zależności od czasu przepływu prądu elektrycznego		
	10 s	1 s	32 ms
0,50	58,5	158	882
0,75	83,0	250	1 400
1,00	99,0	316	1 800
1,50	140,0	502	2 800
2,50	198,0	798	4 500
4,00	280,0	1 300	7 100
6,00	396,0	2 000	11 000
10,00	561,0	3 200	18 000
16,00	795,0	5 100	28 000
25,00	1 100,0	8 100	45 000
35,00	1 300,0	10 200	57 000
50,00	1 900,0	16 000	91 000

Czasy wyłączenia zwarć zostały opisane w dokumentacji technicznej¹¹ i wynoszą odpowiednio 120 ms dla sieci 400 kV i 220 kV oraz 150 ms dla sieci 110 kV. Natężenia prądów przepływających przez linie są bardzo różne i zależą między innymi od typu linii. Maksymalne wartości zmierzonych prądów mogą sięgać nawet 1152 A¹². Oznacza to, że praktycznie każdy ze wskazanych w tabeli przewodów powinien ulec stopieniu przed wyłączeniem zabezpieczeń linii. W przypadku ataku na stacje rozdzielcze napięć wysokich oraz stacje transformatorowe, które są instalacjami skomplikowanymi, niechronionymi od góry, skutki ataku mogą być poważniejsze. Ze względu na skomplikowanie budowy instalacji przedstawionej na rysunku 2 trudno jednak oszacować stopień, w jakim zostaną uszkodzone elementy instalacji.

¹¹ PSE Operator SA, *Standardowe Specyfikacje Funkcjonalne. Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa, pomiary i układy obwodów wtórnych*, Warszawa 2010 (aktualizacja 2012 r.).

¹² M. Jaworski, M. Szuba, *Analiza obciążeń napowietrznych linii najwyższych napięć w aspekcie wytwarzania pola magnetycznego*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2015, nr 5.



Rys. 2. Stacja rozdzielcza wysokich napięć 400/110 kV.

Źródło: https://elbud.katowice.pl/pl,30,3,projekty-rozbudowa-stacji-400_110-kv-dobrzen.html [dostęp: 30 XI 2021].

Konsekwencje uszkodzenia linii przesyłowych lub stacji obsługi mogą być zbliżone do tych, które zaobserwowano w czasie awarii w stacji Rogowiec (przez nią elektrownia w Bełchatowie jest podłączona do krajowego systemu sieci przesyłowych). Jak wskazano w raporcie¹³, przyczyną awarii był błąd ludzki, który doprowadził do zwarcia w instalacji elektrycznej. Na skutek awarii wyłączona została większość bloków Elektrowni Bełchatów.

Warto nadmienić, że nie ma zakazu wykonywania lotów ponad liniami przesyłowymi. Przepisy prawa¹⁴ stanowią jedynie, że operacje przeprowadzane z użyciem bezzałogowych statków powietrznych kategorii otwartej oraz kategorii szczególnej nad liniami energetycznymi oraz innymi urządzeniami znajdującymi się w otwartym terenie,

¹³ <https://businessinsider.com.pl/wiadomosci/awaria-elektrowni-belchatow-pse-podaje-przyczyny/qpp086b> [dostęp: 30 XI 2021]; <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/elektrownia-belchatow-awaria-stacja-rozdzielcza-PSE-10340.html> [dostęp: 30 XI 2021]; <https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/184908-poniedzialkowa-awaria-odlaczyła-od-sieci-niemal-cała-elektrownie-belchatow> [dostęp: 30 XI 2021]

¹⁴ *Wytyczne nr 7 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 9 czerwca 2021 r. w sprawie sposobów wykonywania operacji przy użyciu systemów bezzałogowych statków powietrznych w związku z wejściem w życie przepisów rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) nr 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych.*

których zniszczenie lub uszkodzenie może stanowić zagrożenie dla życia lub zdrowia ludzkiego oraz środowiska albo spowodować poważne straty materialne, wykonuje się z zachowaniem szczególnej ostrożności.

Metody detekcji bezzałogowych statków powietrznych

Do najczęściej stosowanych metod wykrywania bezzałogowych statków powietrznych należą:

- metody radarowe,
- metody wykrywające komunikację między lecącą platformą bezzałogową a stacją naziemną,
- metody wykrycia sygnału akustycznego emitowanego przez wirujące części lecącej platformy bezzałogowej,
- metody oparte na analizie obrazu zarówno widzialnego, jak i podczerwonego.

Żadna z tych metod użyta oddzielnie nie daje pewności wykrycia lecącego obiektu. Dlatego systemy wykrywające bezzałogowe statki powietrzne zbudowane są z różnych urządzeń detekcyjnych, działających na różnych zasadach. Obecnie wiele firm rozwija systemy antydronowe, należy się więc spodziewać, że ich sprzedaż w związku z rosnącą liczbą statków bezzałogowych również będzie rosła. Wraz ze zwiększeniem się funkcjonalności bezzałogowych statków powietrznych zmienia się też funkcjonalność systemów antydronowych.

Wykrycie statku za pomocą radarów jest metodą znaną z lotnictwa załogowego. Radary służące do wykrywania dronów są jednak inne niż te, które służą do wykrywania załogowych statków powietrznych. Te ostatnie wykrywają obiekty o większej powierzchni odbicia wiązki oraz o większej prędkości postępowej niż statki bezzałogowe¹⁵. Zaletą tej metody jest możliwość wykrycia ataku, gdy jest on realizowany na dużych wysokościach. Radar skutecznie wykryje statek powietrzny, jeśli między anteną radaru a lecącym statkiem powietrznym nie będzie przeszkód. Wykryje również przelot bezzałogowego statku powietrznego, jeśli będzie on daleko od anteny radarowej. Niestety wadą tego sposobu detekcji jest to, że bezzałogowy statek powietrzny korzystający z lidarowego

¹⁵ <https://www.defence24.pl/dlaczego-konflikt-w-gorskim-karabachu-powinien-zmienic-wojsko-polskie> [dostęp: 30 XI 2021].

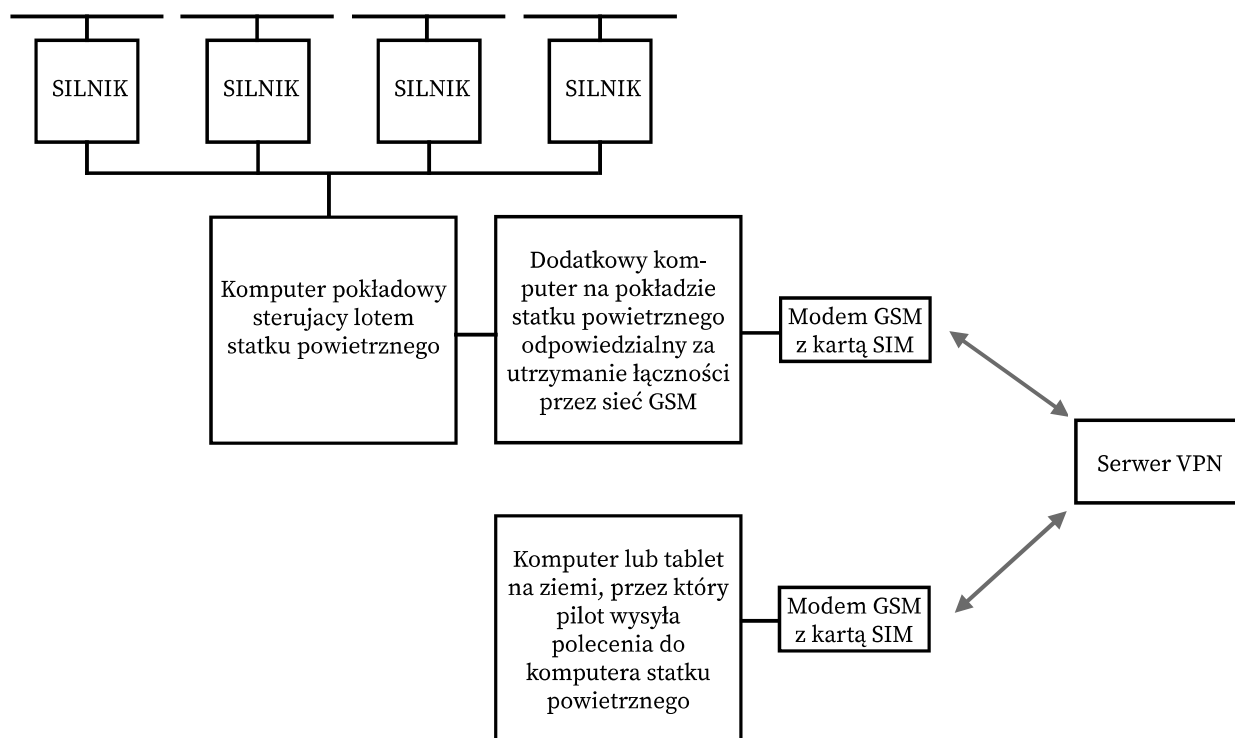
systemu pomiaru odległości, w tym odległości od ziemi, może przemieszczać się tuż nad powierzchnią ziemi. W takiej sytuacji system radarowy nie wykryje lecącego bezzałogowca. Ten sam system lidarowy pozwoli dronowi wykryć i ominąć przeszkody terenowe. Rynek jest obecnie dość mocno nasycony antydronowymi systemami radarowymi¹⁶. Wydaje się jednak, że próby wykrycia drona lecącego w terenie gęsto zabudowanym będą w większości przypadków nieskuteczne.

Bezzałogowy statek powietrzny może być także wykryty dzięki monitoringowi komunikacji – sterowania pomiędzy lecącą platformą bezzałogową a stacją naziemną. Do najbardziej popularnych metod sterowania bezzałogowym statkiem powietrznym należy sterowanie z wykorzystaniem aparatury nadawczej, tzw. nadajnika, który znajduje się na ziemi, w ręku pilota. Aparatura taka wyposażona jest w dwa dźwigi umożliwiające sterowanie platformą w każdym kierunku oraz zestaw przełączników i pokręteł pozwalających na obsługę dodatkowych urządzeń pokładowych. Za pomocą pokręteł można na przykład sterować pracą gimbala z kamerą pokładową, a za pomocą zestawu przełączników innymi urządzeniami, takimi jak np. podnoszone podwozie lub klucz zwalniający podwieszony ładunek, co pozwala na zrzut tego ładunku w wybranym miejscu. Łączność pomiędzy nadajnikiem a komputerem bezzałogowego statku powietrznego może odbywać się na dwóch częstotliwościach: sterowanie platformą na częstotliwości 2,4 GHz, a przesył obrazu z kamery na 5,8 GHz. W typowych rozwiązaniach ten sposób sterowania pozwala na kontrolę nad bezzałogowym statkiem powietrznym na dystansie do 3 lub 4 kilometrów.

Druga metoda sterowania platformą to wysyłanie rozkazów z ziemi do komputera sterującego bezzałogowym statkiem powietrznym za pomocą komputera naziemnego i tableta wykorzystującego tzw. kanał telemetrii. Telemetria to dwukierunkowy kanał łączności odpowiedzialny za przesyłanie z platformy na ziemię parametrów statku powietrznego, w tym takich jak: położenie, wysokość, prędkość postępowania w poziomie, prędkość wznoszenia lub opadania, stan naładowania baterii, a także pochylenie do przodu lub do tyłu i przechylenie w lewo lub w prawo. Telemetria pozwala też na przesłanie do statku powietrznego rozkazu od pilota. Taki rozkaz może zostać zdefiniowany na ziemi przez wyrysowanie w programie obsługującym telemetrię zadanego

¹⁶ <https://www.hertzsystems.com/en/antidrone-systems/> [dostęp: 30 XI 2021].

położenia geograficznego platformy, jej wysokości w danym położeniu, prędkości postępowej, którą platforma powinna osiągnąć w drodze do kolejnego położenia, oraz tzw. POI's (ang. *Point of Interest*), czyli punktów, w których stronę w czasie lotu bezzałogowy statek powietrzny powinien skierować obiektyw kamery. Komunikacja pomiędzy statkiem powietrznym a pilotem odbywa się tym kanałem na różnych częstotliwościach, np. 433 MHz lub 868 MHz. Odległość komunikowania się za pomocą telemetrii jest większa niż odległość komunikowania się za pomocą częstotliwości 2,4 GHz lub 5,8 GHz i może wynosić nawet powyżej 20 kilometrów. Bezzałogową platformą latającą można też sterować dzięki wykorzystaniu sieci GSM. Schemat takiego systemu sterującego został pokazany na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat komunikacji pomiędzy bezzałogowym statkiem powietrznym a pilotem za pomocą sieci GSM.

Źródło: Opracowanie własne.

Łączność realizowana przez sieć GSM pozwala na sterowanie bezzałogowym statkiem powietrznym bez ograniczeń związanych z odległością. Pilot statku powietrznego może nim sterować, znajdując się w dowolnym miejscu na ziemi. Jedyнным warunkiem, jaki musi być spełniony, by realizować takie połączenie, jest dostęp do sieci GSM

zarówno pilota, jak i statku powietrznego. Łączność realizowana jest przez serwer VPN, jest to zatem łączność szyfrowana.

Obecne systemy detekcji lecącego bezzałogowego statku powietrznego kontrolują widmo częstotliwościowe promieniowania elektromagnetycznego w rejonie lokalizacji detektora. Ponieważ standardowe bezzałogowce wykorzystują do komunikacji z pilotem promieniowanie elektromagnetyczne o znanych częstotliwościach, detektor potrafi wykryć pojawienie się źródła emisji takiego promieniowania. Możliwe jest przy tym wykorzystanie technologii sztucznej inteligencji oraz uczenia maszynowego do wskazania detektorowi, które źródła to statki bezzałogowe, a które nimi nie są¹⁷. Warto zwrócić uwagę, że te systemy mogą wykryć bezzałogowe statki powietrzne, które podczas lotu utrzymują łączność ze stacją naziemną. Zazwyczaj wykrywają one typowe statki powietrzne, powszechnie dostępne na półkach sklepowych. Stają się natomiast nieskuteczne, gdy statek powietrzny został zaprogramowany przed startem i leci, nie komunikując się ze stacją bazową, lub łączność ze stacją bazową utrzymuje na nietypowych częstotliwościach. Dodatkowo elementy elektroniczne, z których zbudowany jest dron, mogą być odseparowane od otoczenia tzw. klatką Faradaya, gdyż uniemożliwia ona przenikanie promieniowania elektromagnetycznego do wnętrza statku powietrznego i z jego wnętrza na zewnątrz. Nie da się wówczas go wykryć, ponieważ klatka Faradaya izoluje go od detektorów promieniowania elektromagnetycznego. Do wykrycia typowych statków powietrznych można stosować monitory kontrolujące pracę wybranych modeli statków powietrznych. Do takich monitorów należy urządzenie AeroScope, które pozwala na wykrycie komunikacji oraz stanu statku powietrznego w czasie rzeczywistym. Urządzenie takie wykrywa jednak tylko drony firmy DJI¹⁸.

Kolejna metoda detekcji bezzałogowych statków powietrznych polega na wykrywaniu hałasu, którego źródłem są ich rotujące elementy. W bezzałogowych statkach powietrznych źródłem hałasu są śmigła i w mniejszym stopniu silniki. Każdy lecący bezzałogowiec emituje dźwięk, przy czym częstotliwość i natężenie fali dźwiękowej zależą od kształtu śmigła i prędkości kątowej, z jaką się to śmigło obraca.

¹⁷ <https://www.droneshield.com/> [dostęp: 30 XI 2021]; <https://www.dedrone.com/> [dostęp: 30 XI 2021]; <https://www.echodyne.com/security/counter-drone-radar/> [dostęp: 30 XI 2021].

¹⁸ <https://www.dji.com/pl/aeroscope> [dostęp: 30 XI 2021].

Istnieją metody redukcji hałasu emitowanego przez bezzałogowe statki powietrzne¹⁹. Polegają one m.in. na stosowaniu napędów o niższej prędkości rotacji śmigieł, śmigieł o różnej liczbie łopat, czy też śmigieł o różnym profilu aerodynamicznym. Bezzałogowy statek powietrzny może zatem nie zostać wykryty, jeśli będzie emitował hałas o niskim natężeniu oraz będzie leciał w miejscu, w którym występują inne źródła hałasu, takie jak pojazdy komunikacji miejskiej, samoloty załogowe w czasie startu i lądowania, inne hałasy, których źródłem jest działalność człowieka. Nie należy też zapominać o tym, że statek powietrzny typu samolot może zbliżyć się do chronionego obiektu lotem szybowcowym, zatem nie będzie źródłem hałasu pochodzącego od śmigieł.

Ostatnią istotną metodą identyfikacji bezzałogowych statków powietrznych jest analiza przestrzeni za pomocą kamer pracujących zarówno w obszarze widzialnym, jak i w podczerwieni. Analiza obrazu odbywa się z użyciem systemu komputerowego, który na podstawie obrazu rejestrowanego przez kamerę rozpoznaje, czy lecący obiekt jest dronem czy np. ptakiem. Systemy detekcji wizualnej bazują na nauczaniu maszynowym oraz technologii sztucznej inteligencji. Nauczanie komputera rozpoznawania obiektu jest procesem żmudnym, czasochłonnym, wymagającym dużej mocy obliczeniowej oraz dużej bazy zdjęć źródłowych przedstawiających obiekt, który ma zostać wykryty. Systemy takie wykrywają statki typowe. Gdy statek powietrzny będzie miał kształt nietypowy, jego wykrycie będzie niemożliwe. Bezzałogowe statki powietrzne można budować tak, by kształty były bardzo nietypowe. Głośne było np. zbudowanie przez członków Greenpeace drona w kształcie Supermana i rozbicie go o betonową osłonę reaktora w elektrowni jądrowej Bugey we Francji²⁰. Moment ataku przedstawiono na rysunku 4. Samo uderzenie bezzałogowcem o ścianę osłony reaktora nie zagroziło bezpieczeństwu reaktora.

¹⁹ F.B. Metzger, *An Assessment of Propeller Aircraft Noise Reduction Technology*, NASA Contractor Report 198237, 1995; W. Yuliang i in., *Noise Reduction of UAV Using Biomimetic Propellers with Varied Morphologies Leading-edge Serration*, „Journal of Bionic Engineering” 2020, t. 17, s. 767–779.

²⁰ <https://www.reuters.com/article/uk-france-nuclear-greenpeace-idUKKBN1JT17G> [dostęp: 30 XI 2021].



Rys. 4. Moment ataku na reaktor jądrowy za pomocą drona w kształcie Supermana.

Źródło: <https://www.reuters.com/article/uk-france-nuclear-greenpeace-idUKKBN1JT17G> [dostęp: 30 XI 2021].

Ściany takie buduje się tak, aby wytrzymały uderzenie samolotu załogowego, który lecąc z dużą prędkością i mając dużą masę, uderzałby w cel z dużą energią kinetyczną. Przypadek ten jednak pokazał, jak nieodporne na działania z użyciem dronów są chronione obiekty, zwłaszcza zbudowane w czasach, gdy drony nie były jeszcze tak powszechnie dostępne. Kamery działające w paśmie widzialnym promieniowania elektromagnetycznego nie są w stanie wykryć lecącego statku powietrznego w warunkach słabej widoczności. Analiza przestrzeni za pomocą kamer pracujących w zakresie podczerwieni fal elektromagnetycznych pozwala na wykrycie źródeł ciepła innych niż te, które w przestrzeni znajdują się naturalnie. Kamera podczerwona potrafi wykryć i wyróżnić bezzałogowy statek powietrzny, ponieważ na jego pokładzie wykorzystywane są elementy, które w czasie pracy emitują ciepło. Do takich elementów można zaliczyć silniki elektryczne i spalinowe oraz baterie litowo-polimerowe, które w czasie pracy samoczynnie się podgrzewają. Kamera działająca na podczerwień może wykryć lecący statek powietrzny w nocy. Przy czym również taki sposób detekcji bezzałogowców nie zawsze jest skuteczny. Wiedza na temat

lotnictwa załogowego wskazuje, że można zbudować statek w taki sposób, by energia cieplna była w znacznym stopniu rozpraszana, a tym samym by statek powietrzny nie był wykrywalny.

Wybrane metody neutralizacji bezzałogowych statków powietrznych

Sam proces detekcji bezzałogowego statku powietrznego to tylko pierwszy etap obrony przed jego atakiem. Do neutralizacji wrogich bezzałogowych statków powietrznych stosuje się następujące metody:

- trafienie i splątanie elementów ruchomych bezzałogowego statku powietrznego siatką,
- zakłócenie pozycjonowania systemu satelitarnego, z którego korzysta statek powietrzny,
- zakłócenie komunikacji statek powietrzny–stacja naziemna,
- użycie światła laserowego o dużej mocy,
- uszkodzenie układów elektronicznych za pomocą impulsu elektromagnetycznego o dużej mocy.

Trafienie i splątanie bezzałogowego statku powietrznego jest procesem trudnym. Atakujący statek powietrzny może być statkiem typu multirotor, samolot lub śmigłowiec. Może też łączyć cechy wszystkich wyżej wymienionych typów i wtedy powstaje ich hybryda. Do takich hybryd należą samoloty mające możliwość pionowego startu, tzw. V-tol (od ang. *Vertical Take Off and Landing*). Każde z tych urządzeń ma różne cechy fizyczne, wobec których metoda neutralizacji za pomocą siatki będzie nieskuteczna. Do takich cech należy na pewno prędkość postępowania statku w locie. Samolot porusza się z dużą prędkością, multirotor zaś ze stosunkowo niewielką. Urządzenie miotające może znajdować się w ręku członka personelu ochrony obiektu lub zostać podwieszony pod inny statek powietrzny pilotowany przez członka personelu ochrony obiektu. Systemy siatkowe stosowane do neutralizacji statków powietrznych są skuteczne, gdy atakujący statek porusza się z niewielką prędkością lub pozostaje w tzw. zawisie. Podstawowym problemem podczas stosowania tej metody jest niewielka odległość urządzenia miotającego siatkę od celu. Po skutecznym trafieniu bezzałogowy statek powietrzny splątany siatką opada na ziemię z pomocą systemu spadochronowego. Dzięki niewielkiej prędkości opadania nie rozbija się o ziemię, nie uszkodzi elementów infrastruktury ani nie spowoduje

utruty zdrowia lub życia, gdy upadnie na człowieka. Nieuszkodzony statek powietrzny wraz z komputerem na jego pokładzie może stanowić dowód dla sądu w razie wykrycia sprawcy ataku.

Inną metodą neutralizacji lecącego statku powietrznego jest zakłócenie sygnału systemu pozycjonowania satelitarnego lub podszytie się pod ten system. O zakłóceniach lub podszytciu się pod sygnał satelitarny informują doniesienia prasowe²¹. Zakłócenie polega na tym, że z urządzenia zakłócającego emituje się sygnał o częstotliwościach, na jakich pracuje system pozycjonowania. Sygnał zakłócający ma większą moc niż sygnał satelitarny. W takiej sytuacji służący do nawigacji odbiornik satelitarny, który znajduje się na pokładzie bezzałogowego statku powietrznego, za właściwy uznaje sygnał z urządzenia zakłócającego i korzystając z niego, nie jest w stanie właściwie określić swojego położenia. Podszytie się polega na tym, że urządzenie podszywające się emituje sygnał zawierający zafałszowane położenie. Tym sposobem statek powietrzny zamiast do celu poleci w miejsce wskazane przez urządzenie neutralizujące i atak będzie nieskuteczny. Odpowiedzią na ten sposób obrony może być nawigacja, która pozwala na określenie położenia statku powietrznego przy braku dostępu do sygnału systemu pozycjonowania. Taka nawigacja pozwala także na przelot bezzałogowego statku powietrznego w budynkach lub w kopalniach²². Systemy do nawigacji w warunkach braku dostępu do sygnału satelitarnego identyfikują położenie statku powietrznego na podstawie odczytu z lidaru, urządzeń mierzących odległość z użyciem ultradźwięków, systemów kamer działających w obszarze widzialnym lub w podczerwieni²³. Systemy do nawigacji w warunkach braku dostępu do sygnału satelitarnego będą się rozwijały w sposób gwałtowny ze względu na możliwości uszkodzenia satelitów w razie wojny²⁴. Metodą nawigacji bez użycia satelitarnego

²¹ <https://www.techtarget.com/searchsecurity/definition/GPS-jamming> [dostęp: 30 XI 2021]; <https://www.militaryaerospace.com/rf-analog/article/14207023/gps-signals-jamming> [dostęp: 30 XI 2021]; <https://www.c4isrnet.com/newsletters/military-space-report/2020/04/15/natos-new-tool-shows-the-impact-of-gps-jammers/> [dostęp: 30 XI 2021].

²² <https://polskiprzemysl.com.pl/przemysl-energetyczny/gornictwo-urządzenia-maszyny/drony-w-kopalniach/> [dostęp: 30 XI 2021].

²³ F. He i in., *Automated Aerial Triangulation for UAV-Based Mapping*, „Remote Sensing” 2018, nr 10 (12), 1952.

²⁴ <https://spidersweb.pl/2021/11/rosja-satelita-smieci-kosmiczne.html> [dostęp: 30 XI 2021].

systemu pozycjonowania jest również rozstawienie naziemnych stacji emitujących sygnał położenia i nawigacja na podstawie triangulacji²⁵.

Urządzenia zakłócające sygnał komunikacji między statkiem powietrznym a stacją naziemną emitują promieniowanie elektromagnetyczne o dużej mocy, o różnych częstotliwościach, w których zawarte są częstotliwości używane przez bezzałogowy statek powietrzny. Zakłócenie komunikacji odbywa się poprzez emisję fali elektromagnetycznej o widmie całkowicie płaskim i intensywności szumu równomiernej w całym zagłuszonym paśmie. Jest to tzw. biały szum²⁶. Równomierność ta oznacza, że dla każdej częstotliwości szumu elektromagnetycznego moc emitowanej fali jest taka sama. Taki szum zagłusza komunikację pomiędzy statkiem powietrznym a pilotem, uniemożliwiając sterowanie. Systemy zakłócające można ominąć w sposób dość prosty, tzn. przez stosowanie do komunikacji statek–pilot nietypowych częstotliwości nieużywanych w powszechnie dostępnych statkach powietrznych lub przez ukrywanie urządzeń elektronicznych statku powietrznego w klatce Faradaya. Inną metodą uniemożliwiającą neutralizację statku powietrznego jest programowanie misji przed lotem i wykonanie lotu w sposób autonomiczny, tzn. bez udziału pilota, na podstawie poleceń wydanych przed startem.

Użycie impulsu laserowego o dużej mocy jest metodą skuteczną w odpowiednich warunkach. Światło laserowe oświetla lecący statek powietrzny i powoduje jego zapalenie. Metoda ta jest rozwijana obecnie w wielu krajach²⁷. Zaletą tego sposobu niszczenia drona jest możliwość jego strącenia ze stosunkowo dużej odległości. Wady systemu zaś to: wymóg zasilania lasera ze źródła dużej mocy, wrażliwość na warunki pogodowe, w tym mgłę lub deszcz. System ten może niszczyć bezzałogowe statki powietrzne pojedynczo. Gdy atak przeprowadzany jest za

²⁵ R. Kapoor i in., *UAV Navigation Using Signals of Opportunity in Urban Environments. An Overview of Existing Methods*, 1st International Conference on Energy and Power, ICEP 2016, 14–16 grudnia 2016, Melbourne, Australia.

²⁶ B. Carter, R. Mancini, *Op Amps for Everyone*, Burlington 2009, s. 174–175.

²⁷ <https://www.rafael.co.il/worlds/air-missile-defense/c-uas-counter-unmanned-aircraft-systems/> [dostęp: 30 XI 2021]; <https://www.thedefensepost.com/2021/07/09/france-anti-drone-laser/> [dostęp: 30 XI 2021]; <https://www.aerospacetestinginternational.com/news/defense/us-air-force-progresses-testing-of-anti-drone-laser-weapons.html> [dostęp: 30 XI 2021].

pomocą wielu dronów lub wręcz z użyciem roju, system ten ma ograniczoną skuteczność.

Uszkodzenie układów elektronicznych za pomocą impulsu elektromagnetycznego o dużej mocy jest techniką znaną z zastosowań militarnych. Bezzałogowy statek powietrzny to obiekt techniczny, w którym wykorzystuje się systemy zaawansowanej elektroniki. Do urządzeń elektronicznych stosowanych w dronach należą: komputer sterujący, dodatkowy komputer mogący służyć do wykonywania obliczeń, np. analizy obrazu, elektroniczne sterowniki obrotów silników statku powietrznego, odbiorniki służące do otrzymywania rozkazów od pilota, urządzenia telemetrii służące do wymiany pomiędzy statkiem a stacją naziemną informacji np. o stanie statku powietrznego, urządzenia nawigacji satelitarnej itd. Statki powietrzne mogą być zabezpieczone przed impulsem elektromagnetycznym przez stosowanie wielowarstwowych zasobników ekranujących urządzenia elektroniczne od impulsu.

Wszystkie wyżej wymienione metody charakteryzują się ograniczoną skutecznością, należy zatem poszukiwać innych sposobów ochrony obiektu. Dla bezpieczeństwa lub obronności państwa ważna jest prewencja, zapobieganie rozpoczęciu ataku. Do metod wykorzystywanych w ramach takich działań należą:

- zabezpieczenie chronionego obiektu strefą DRA-P,
- stosowanie urządzeń odcinających możliwość wykonania lotu w chronionej przestrzeni,
- szkolenie funkcjonariuszy Policji z przepisów prawa lotniczego, procedur obowiązujących w lotnictwie bezzałogowym oraz przepisów pozwalających na ukaranie pilotów wykonujących loty niezgodnie z prawem,
- szkolenie pracowników ochrony obiektu z pilotażu statków typu multirotor oraz samolot,
- maskowanie elementów infrastruktury chronionego obiektu,
- osłona elementów infrastruktury przed uderzeniem lub przed skutkami ładunku wybuchowego przenoszonego przez statek powietrzny,
- działania na rzecz lokalnej społeczności.

Zabezpieczenie chronionego obiektu strefą DRA-P

Zgodnie z obecnie obowiązującymi wytycznymi Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego²⁸ Polska Agencja Żeglugi Powietrznej (PAŻP) może wyznaczyć następujące dronowe strefy geograficzne:

- a) DRA-T – strefę, w której lot bezzałogowego statku powietrznego jest możliwy po spełnieniu przez ten statek wymogów technicznych wskazanych przez PAŻP. W strefie tej dopuszcza się spełnienie dodatkowych warunków wykonania lotu, w tym na przykład warunku uzyskania zgody na wykonanie lotu;
- b) DRA-U – strefę, w której lot bezzałogowego statku powietrznego może się odbyć wyłącznie przy wsparciu wymaganych dla tej strefy usług i na warunkach wykonania lotu wskazanych przez PAŻP;
- c) DRA-I – strefę informacyjną, w której zgoda na wykonanie lotu nie jest wymagana, ale dla zapewnienia bezpieczeństwa lotu wymagane jest zapoznanie się z informacjami;
- d) DRA-P – strefę zakazaną, w której operacje przy użyciu systemów bezzałogowych statków powietrznych nie mogą być wykonywane;
- e) DRA-R – strefę ograniczoną dla systemów bezzałogowych statków powietrznych, w której operacje przy użyciu tych systemów mogą być wykonywane za zgodą i na warunkach określonych przez PAŻP lub podmiot uprawniony, na którego wniosek strefa geograficzna została wyznaczona.

Strefa DRA-R może się składać z dodatkowych podstref oznaczonych jako:

1. DRA-RH – w której prawdopodobieństwo uzyskania zgody na lot przy użyciu bezzałogowego statku powietrznego jest wysokie (ang. *high*);
2. DRA-RM – w której prawdopodobieństwo uzyskania zgody na lot przy użyciu bezzałogowego statku powietrznego jest średnie (ang. *middle*),
3. DRA-RL – w której prawdopodobieństwo uzyskania zgody na lot przy użyciu bezzałogowego statku powietrznego jest niskie (ang. *low*).

²⁸ Zob. Wytyczne nr 7 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 9 czerwca 2021 r. w sprawie zasobów...

Ze względu na potrzeby działań albo czynności o szczególnym znaczeniu operacyjnym lub rozpoznawczym dla zapewnienia bezpieczeństwa państwa lub porządku publicznego, prowadzonych w celu realizacji ustawowych działań, strefy geograficzne mogą być wyznaczone na wniosek Dowódcy Operacyjnego Rodzajów Sił Zbrojnych, Komendanta Głównego Żandarmerii Wojskowej, Szefa Szefostwa Służb Ruchu Lotniczego Sił Zbrojnych RP, Szefa Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego, Szefa Agencji Wywiadu, Komendanta Głównego Policji, Komendanta Głównego Straży Granicznej, Szefa Krajowej Administracji Skarbowej lub Komendanta Służby Ochrony Państwa. Ze względu na potrzeby ochrony obiektów infrastruktury krytycznej, zapobieganie skutkom klęsk żywiołowych lub ich usuwanie, ratowanie zdrowia lub życia ludzkiego strefy geograficzne mogą być wyznaczane na wniosek Komendanta Głównego Policji, Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej lub Dyrektora Rządowego Centrum Bezpieczeństwa.

Obecnie na obszarze Unii Europejskiej obowiązują jednolite zasady wykonywania lotów bezzałogowymi statkami powietrznymi²⁹. Zgodnie z tymi zasadami loty platform bezzałogowych wykonywane są w trzech różnych kategoriach. Każda kategoria odpowiada pewnemu poziomowi ryzyka związanego z wykonywaną misją. Wyróżnia się trzy poziomy ryzyka: niskie, dla kategorii OPEN (otwartej), średnie, dla kategorii SPECIFIC (szczególnej), oraz wysokie, dla kategorii CERTIFIED (certyfikowanej). Kategoria certyfikowana obejmuje loty, w czasie których przewozi się osoby lub materiały niebezpieczne. Kategoria szczególna to loty, które wymagają z zasady zgody na przeprowadzenie operacji. Zgodę taką, jako dorozumianą, mają piloci z uprawnieniami do lotów zgodnie z tzw. scenariuszami standardowymi. Scenariusze standardowe to zbiór zasad wykonywania lotów, których przestrzeganie gwarantuje, że misja wykonywana jest z ryzykiem akceptowalnym. Obecnie w Polsce obowiązuje osiem scenariuszy standardowych dotyczących lotów w zasięgu (VLOS) i poza zasięgiem wzroku (BVLOS) dla statków powietrznych takich jak samoloty, multirotory i śmigłowce o masie startowej do 4 kg

²⁹ Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych; Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2020/746 z dnia 4 czerwca 2020 r. zmieniające rozporządzenie wykonawcze (UE) 2019/947 w odniesieniu do odroczenia dat rozpoczęcia stosowania niektórych środków w związku z pandemią COVID-19 (Dz. Urz. UE L 176/13 z 5 VI 2020 r.).

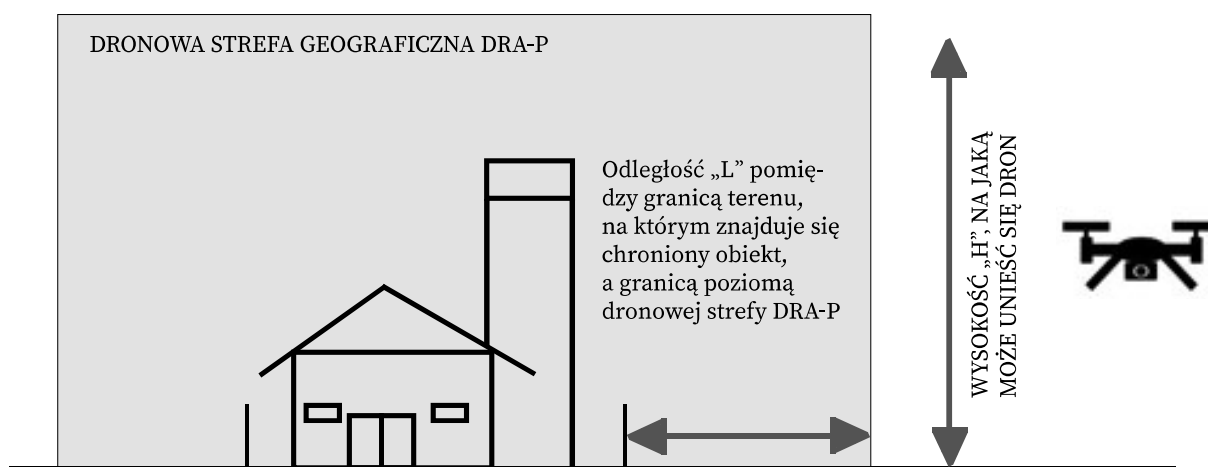
oraz dla statków powietrznych takich jak samoloty, multirotory i śmigłowce o masie startowej nieprzekraczającej 25 kg. Kategoria otwarta to loty obciążone niskim ryzykiem, w związku z czym nie jest wymagana zgoda na lot. Zgodnie z *Wytycznymi nr 7* loty w kategorii otwartej oraz w kategorii szczególnej w dronowej strefie geograficznej DRA-P odbywają się za zgodą zarządzającego daną strefą i na warunkach określonych dla tej strefy. *Wytyczne nr 7* nie obejmują zasad wykonywania lotów w kategorii certyfikowanej. Analiza dokumentacji lotniczej zawartej w komunikatach aplikacji DroneRadar (DroneRadar jest aplikacją na systemy Android oraz iOS, darmową i powszechnie dostępną w sklepach operatorów sieci komórkowych) wskazuje, że w strefach DRA-P wyznaczonych nad chronionymi obiektami dopuszcza się loty bezzałogowymi statkami powietrznymi, ale tylko do wysokości 30 m nad ziemią statkiem powietrznym o masie nie większej niż 0,9 kg oraz w odległości nie mniejszej niż 500 m od granicy chronionego obiektu. Zapisy te wskazują, że można stosować strefy DRA-P do ochrony obiektów, pod warunkiem że są one właściwie zaprojektowane.

Rozważmy dwa przypadki stref DRA-P wyznaczonej jak na rysunku 5.

1. Granice strefy DRA-P znajdują się w odległości „L” mniejszej niż 500 m od granic chronionego obiektu. Poza strefami, zgodnie z ogólnymi zasadami wykonywania lotów, bezzałogowy statek powietrzny może lecieć do wysokości „H” nie większej niż 120 m nad powierzchnią ziemi. Korzystając z twierdzenia Pitagorasa, można obliczyć kąt, pod jakim kamera z platformy bezzałogowej może obserwować chroniony obiekt, gdy lot odbywa się na maksymalnej dopuszczalnej wysokości. Minimalny kąt, pod jakim może obserwować obiekt, to 15 stopni, przy czym im odległość od granicy chronionego obiektu do granicy strefy DRA-P będzie mniejsza, tym kąt obserwacji będzie większy. Na przykład jeśli granice strefy DRA-P zostaną wyznaczone w odległości „L” wynoszącej ok. 120 m, to kąt obserwacji obiektu z platformy będzie równy 45 stopni.
2. Granice strefy DRA-P znajdują się w odległości „L” większej niż 500 m od granic chronionego obiektu. Zgodnie z zasadami platformy bezzałogowa może wykonać lot w przestrzeni pomiędzy 500. metrem liczonym od granic obiektu a granicą strefy DRA-P. Lot może się odbyć do wysokości 30 m ponad powierzchnią ziemi. Korzystając z twierdzenia Pitagorasa, można obliczyć

kąt, pod jakim kamera z platformy bezzałogowej może obserwować chroniony obiekt, gdy lot odbywa się na maksymalnej dopuszczalnej wysokości. Maksymalny kąt, pod jakim może obserwować obiekt, to 15 stopni, przy czym im pozioma odległość lecącej platformy od granicy chronionego obiektu będzie większa, tym kąt obserwacji będzie mniejszy. Jeśli pomiędzy chronionym obiektem a okiem kamery będą jakieś naturalne przeszkody terenowe, np. drzewa, to obserwacja obiektu będzie praktycznie niemożliwa.

Decyzja o wyznaczeniu strefy DRA-P nad obiektem powinna zostać podjęta po gruntownej analizie rzeczywistych zagrożeń i ocenie podatności obiektu na atak z użyciem bezzałogowego statku powietrznego. Dopiero jeśli ocena zagrożeń i podatności na atak wskaże, że ryzyko związane z potencjalnym atakiem na obiekt jest nieakceptowalne, należy wyznaczyć strefę. Wyznaczenie takiej strefy jest jasnym wskaźnikiem, że w danym obiekcie dzieje się coś ważnego z punktu widzenia obronności lub bezpieczeństwa państwa.



Rys. 5. Schemat dronowej strefy geograficznej DRA-P.

Źródło: Opracowanie własne.

Stosowanie urządzeń uniemożliwiających wykonanie lotu w chronionej przestrzeni

Do urządzeń uniemożliwiających wykonanie lotu bezzałogowym statkiem powietrznym należy AeroScope³⁰. Oddziałuje ono jednak wyłącznie na statki powietrzne firmy DJI. Nie jest w stanie zabezpieczyć chronionego obiektu przed statkami produkcji innych firm lub zbudowanymi przez niezależnych konstruktorów. AeroScope może zidentyfikować numer seryjny statku powietrznego, jego lokalizację odczytaną z odbiornika sygnału satelitarnego, prędkość i kierunek lotu oraz wysokość, na jakiej jest wykonywany lot. Odczyt tych parametrów odbywa się w czasie rzeczywistym. Polskie przepisy prawa nie wymagają rejestracji statku powietrznego, dlatego identyfikacja takiego statku i przypisanie go do konkretnego pilota są niezwykle trudne. Jediną możliwością identyfikacji pilota jest deklaracja numeru seryjnego statku powietrznego, jaką każdy pilot musi złożyć, jeśli chce wykonać lot w lotniczej strefie CTR, i rejestracja drona, czyli podanie tego numeru w systemie Pansa_UTM³¹. Bez tej rejestracji nie jest możliwe uzyskanie warunków wykonania lotu w strefach CTR. Jeśli jednak statek powietrzny został wyprodukowany przez producenta innego niż DJI lub przez niezależnego konstruktora, urządzenie AeroScope go nie zidentyfikuje. AeroScope może także ograniczyć możliwość wykonania lotu przez wyznaczenie strefy, w której lot się nie odbędzie. Funkcja taka nazywa się GeoFencing. Operator AeroScope może wskazać granice poziome oraz pionowe strefy, w której lot się nie może odbyć. Statki powietrzne firmy DJI nie będą zatem mogły wykonać lotu w tej strefie. Wadą urządzenia jest brak możliwości detekcji każdego modelu DJI oraz modeli innych niż produkowanych przez DJI. Dodatkowy problem stwarza przechowywanie danych zebranych przez AeroScope na serwerach chińskiej firmy DJI. Dane te mogą być użyte w celach pozyskania informacji o lokalizacji chronionych obiektów³².

³⁰ <https://www.dji.com/pl/aeroscope> [dostęp: 30 XI 2021].

³¹ <https://utm.pansa.pl> [dostęp: 30 XI 2021].

³² <https://www.911security.com/blog/dji-aeroscope-review-features-specs-and-how-its-used-in-layered-drone-detection> [dostęp: 30 XI 2021].

Szkolenie funkcjonariuszy Policji z przepisów prawa lotniczego, procedur obowiązujących w lotnictwie bezzałogowym oraz przepisów pozwalających na ukaranie pilotów wykonujących loty niezgodnie z prawem

Szkolenie takie powinno być standardowym działaniem w jednostkach Policji, w których rejonie działania znajdują się obiekty ważne dla bezpieczeństwa lub obronności państwa. Szkolenie powinno swoim zakresem obejmować przepisy europejskie:

- *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 z dnia 4 lipca 2018 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie lotnictwa cywilnego (Dz. Urz. UE L 212/1 z 22 VIII 2018 r.);*
- *Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r. w sprawie bezzałogowych systemów powietrznych oraz operatorów bezzałogowych systemów powietrznych z państw trzecich (Dz. Urz. UE L 152/1 z 11 VI 2019 r.);*
- *Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2020/1058 z dnia 27 kwietnia 2020 r. zmieniające rozporządzenie delegowane (UE) 2019/945 w odniesieniu do wprowadzenia dwóch nowych klas systemów bezzałogowych statków powietrznych (Dz. Urz. UE L 232/1 z 20 VII 2020 r.);*
- *Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych (Dz. Urz. UE L 152/45 z 11 VI 2019 r.);*
- *Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2020/639 z dnia 12 maja 2020 r. zmieniające rozporządzenie wykonawcze (UE) 2019/947 w odniesieniu do scenariuszy standardowych dla operacji wykonywanych w zasięgu widoczności wzrokowej lub poza zasięgiem widoczności wzrokowej (Dz. Urz. UE L 150/1 z 13 V 2020 r.).*

Szkolenie powinno także obejmować przepisy prawa krajowego, w tym *Ustawę z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze* (t.j.: DzU z 2020 r. poz. 1970, ze zm.) oraz wytyczne Prezesa ULC:

- *Wytyczne nr 7 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 9 czerwca 2021 r. w sprawie sposobów wykonywania operacji przy użyciu systemów bezzałogowych statków powietrznych w związku z wejściem w życie przepisów rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) nr 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych (Dz. Urz. Urzędu Lotnictwa Cywilnego z 2021 r. poz. 35);*

- *Wytyczne nr 24 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 30 grudnia 2020 r. w sprawie wyznaczania stref geograficznych dla systemów bezzałogowych statków powietrznych* (Dz. Urz. Urzędu Lotnictwa Cywilnego z 2020 r. poz. 78).

W przypadku obiektów zlokalizowanych w strefach wojskowych MCTR funkcjonariusze Policji powinni się także zapoznać z dokumentem:

- *Wytyczne Szefa Szefostwa Służby Ruchu Lotniczego Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej nr 6 z dnia 17 września 2018 r. w sprawie uszczegółowienia zasad wykonywania lotów modeli latających oraz bezzałogowych statków powietrznych o MTOW nie większej niż 25 kg w strefach ruchu lotniskowego lotnisk wojskowych (MATZ) oraz strefach kontrolowanych lotnisk wojskowych (MCTR)*, (https://ssrslszrp.wp.mil.pl/u/Wytyczne_w_sprawie_wykonywania_lotow_przez_RPAS.pdf).

Dodatkowo funkcjonariusze Policji powinni zapoznać się z zasadami obsługi aplikacji DroneRadar służącej do obrazowania struktury przestrzeni powietrznej, w tym do identyfikacji granic poziomych dronowych stref geograficznych. Aplikacja ta pozwala także na odczytanie zasad wykonywania lotów bezzałogowymi statkami powietrznymi w strefach. Znajomość prawa oraz znajomość zasad wykonywania lotów pozwoli funkcjonariuszom Policji identyfikować pilotów, którzy realizują loty niezgodnie z zasadami wykonywania lotów.

Przepisy umożliwiające ukaranie pilotów wykonujących loty niezgodnie z przepisami zawarte są w różnych aktach prawnych. Wybrane przepisy, które mówią o odpowiedzialności karnej, to:

1. W zakresie ustawy Prawo lotnicze:

- a) Art. 211.1. Kto:

- 5) wbrew art. 97 ustawy wykonuje lot lub inne czynności lotnicze, nie mając ważnej licencji lub świadectwa kwalifikacji lub niezgodnie z ich treścią i warunkami,
- 6) wbrew art. 105 ust. 2 ustawy wykonuje loty lub inne czynności lotnicze mimo utraty wymaganej sprawności psychicznej i fizycznej,
- 9a) wbrew art. 123 ust. 2 dokonuje w czasie lotu zrzutu ze statku powietrznego,

podlega karze grzywny, karze ograniczenia wolności lub pozbawienia wolności do roku.

b) Art. 212.1. Kto:

1) wykonując lot przy użyciu statku powietrznego:

- a) narusza przepisy dotyczące ruchu lotniczego obowiązujące w obszarze, w którym lot się odbywa,
- b) przekracza granicę państwową bez wymaganego zezwolenia lub z naruszeniem warunków zezwolenia,
- c) narusza, wydane na podstawie art. 119 ust. 2 ustawy, zakazy lub ograniczenia lotów w polskiej przestrzeni powietrznej wprowadzone ze względu na konieczność wojskową lub bezpieczeństwo publiczne,

podlega karze pozbawienia wolności do lat 5.

2. W zakresie Ustawy z dnia 6 czerwca 1997 r. – Kodeks karny (t.j.: DzU z 2021 r. poz. 2345, ze zm.):

a) Art. 267.1. Kto bez uprawnienia uzyskuje dostęp do informacji dla niego nieprzeznaczonej, otwierając zamknięte pismo, podłączając się do sieci telekomunikacyjnej lub przełamując albo omijając elektroniczne, magnetyczne, informatyczne lub inne szczególne jej zabezpieczenie,

podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do lat 2.

b) Art. 267.3. Tej samej karze podlega, kto w celu uzyskania informacji, do której nie jest uprawniony, zakłada lub posługuje się urządzeniem podsłuchowym, wizualnym albo innym urządzeniem lub oprogramowaniem.

W czasie szkolenia powinny być także wykładane inne przepisy mające wpływ na wykonywanie lotów, które zawarte są w aktach prawnych: Kodeks wykroczeń, Prawo atomowe, o ochronie osób i mienia, o ochronie przyrody, o prawie autorskim i prawach pokrewnych, o ochronie danych osobowych. Funkcjonariusz Policji znający ww. przepisy powinien mieć wiedzę, w jaki sposób utrudnić lub uniemożliwić lot bezzałogowym statkiem powietrznym w rejonie obiektu chronionego.

Szkolenie pracowników ochrony obiektu z pilotażu statków typu multirotor oraz samolot

Personel ochrony obiektu powinien mieć kompetencje do pilotażu statków powietrznych, umożliwiające im skuteczną ochronę chronionego obiektu. Statki powietrzne typu samolot zdolne są do długotrwałego lotu na duże odległości. Samoloty wyposażone w kamery działające w paśmie widzialnym oraz podczerwonym fali elektromagnetycznej pozwalają na obserwację przedpola chronionego obiektu zarówno w dzień, jak i w nocy. Wyposażenie tych statków w komputer z zainstalowanym oprogramowaniem wykorzystującym algorytmy AI wykrywające nietypową aktywność powinny umożliwić personelowi ochrony przygotowanie się na atak na ochraniający obiekt. Statek powietrzny typu multirotor pozwala na lot na niewielkim dystansie, ale może wykonać zawis w jednym miejscu. Taki zawis pozwala na długotrwałą obserwację miejsca, w którym zaobserwowana została podejrzana aktywność.

Maskowanie elementów infrastruktury chronionego obiektu

Jednym ze sposobów atakowania obiektów ważnych dla bezpieczeństwa i obronności państwa jest atak z użyciem kamer pracujących w paśmie widzialnym i w podczerwonym. Kamera może posłużyć do pozyskania informacji dotyczących wykorzystywanej w obiekcie technologii, urządzeń technicznych, z których wykonany jest system ochrony fizycznej, zwyczajów i procedur, zgodnie z którymi postępuje personel ochrony fizycznej lub inni pracownicy obiektu. Maskowanie elementów infrastruktury powinno zapobiec lub utrudnić pozyskanie z platformy bezzałogowej wrażliwych informacji.

Ośłona elementów infrastruktury przed uderzeniem lub przed skutkami ładunku wybuchowego przenoszonego przez statek powietrzny

Bezzałogowy statek powietrzny może być użyteczną platformą służącą do przeniesienia ładunku wybuchowego lub ładunku zawierającego środki chemiczne. Ładunkiem wybuchowym łatwo uszkodzić elementy infrastruktury i spowodować spowolnienie lub wstrzymanie działalności obiektu. Taki sam skutek może wywołać również kontaminacja

obszaru obiektu lub jego przedpola. Konsekwencją takiego ataku będą straty finansowe dla operatora obiektu, straty finansowe dla odbiorców towarów lub usług realizowanych na terenie obiektu. Niewykluczone są także utrata zdrowia lub życia pracowników zaatakowanego obiektu oraz straty związane z zanieczyszczeniem środowiska. Osłonięcie ważnych elementów infrastruktury obiektu przed skutkami eksplozji ładunku wybuchowego lub przed bezpośrednim uderzeniem bezzałogowego statku powietrznego może uchronić obiekt przed skutkami ataku.

Działania na rzecz lokalnej społeczności

Obiekty ważne dla bezpieczeństwa lub obronności państwa bywają zlokalizowane w okolicach zamieszkanymi. Właściwa współpraca pomiędzy operatorem obiektu a lokalną ludnością może wspomóc proces ochrony obiektu. Okoliczni mieszkańcy z łatwością rozpoznają osoby obce, zachowujące się w sposób nietypowy. Działania pozwalające na podniesienie stopnia kooperacji pomiędzy operatorem a lokalną ludnością to m.in.: ufundowanie stypendiów dla utalentowanej młodzieży, wsparcie dla lokalnych ośrodków zdrowia i szpitali, wspólne akcje typu „sprzątanie świata”, zaproszenie miejscowej ludności do zwiedzania chronionego obiektu w miejscach, w których nie ma urządzeń wrażliwych z punktu widzenia ochrony informacji o technologii ani urządzeń ochrony fizycznej obiektu.

Wnioski

1. Paraliż działania państwa, w tym zakłócenie lub wstrzymanie pracy systemów infrastruktury krytycznej, może nastąpić nie tylko przez zaatakowanie dobrze chronionych obiektów, w których wytwarza się energię elektryczną, lecz także przez atak na niechronioną infrastrukturę służącą do dostarczenia energii do odbiorcy,
2. Sieć elektroenergetyczna w Polsce jest z wyjątkiem linii izolowanych nieodporna na ataki polegające na spowodowaniu zwarcia za pomocą przewodu podwieszono pod bezzałogowym statkiem powietrznym.

3. Bezzałogowe statki powietrzne, nawet te najmniejsze, bez trudu podniosą niewielki ładunek w postaci przewodu miedzianego, który może zostać użyty do spowodowania zwarcia.
4. Długość linii napowietrznych oraz mnogość stacji obsługujących te linie praktycznie wyklucza szanse na zapobieganie atakom polegającym na zwarciu instalacji.
5. Skutecznie prowadzone ataki mogą spowodować duże straty finansowe zarówno dla wytwórcy energii elektrycznej i operatora sieci, jak i dla odbiorców energii.
6. Projekty budowy nowych linii napowietrznych muszą uwzględniać pojawienie się nowych źródeł zagrożeń, którymi są drony. Linie napowietrzne w miarę możliwości powinny być zatem budowane z użyciem przewodów izolowanych, w taki sposób, aby niemożliwe było ich zwarcie z wykorzystaniem drona. Impulsem do zmiany sposobu projektowania linii może być projekt zwiększenia skablowania sieci średniego napięcia do 2040 r. Skablowanie takie należy prowadzić dopóty, dopóki stopień skablowania sieci w Polsce nie zrówna się ze średnim stopniem skablowania w UE.
7. Właściwie wyznaczona strefa DRA-P umożliwia podniesienie poziomu bezpieczeństwa chronionego obiektu. Ze względu na łatwość ataku należy rozważyć wyznaczenie stref DRA-P dookoła punktów węzłowych, krytycznie ważnych dla przesyłu energii elektrycznej w państwie.
8. Lokalizacja stref DRA-P jest jawna, a informacja o niej dostępna dla każdego, zatem wybór obiektów, dla których wyznaczenie stref DRA-P mogłoby być krytycznie ważne, musi być przeprowadzony z najwyższą ostrożnością.
9. Wobec braku możliwości technicznych i przy ograniczeniach finansowych operatorów sieci warto zastanowić się nad działaniami profilaktycznymi pozwalającymi na zabezpieczenie obiektów, w których wytwarza się energię elektryczną, oraz obiektów i linii wykorzystywanych do przesyłu energii elektrycznej w sposób inny niż za pomocą urządzeń detekcyjnych i systemów neutralizacji bezzałogowych statków powietrznych.

Bibliografia

Baldick R., Chowdhury B., Dobson I., *Initial review of methods for cascading failure analysis in electric power transmission systems IEEE PES CAMS task force on understanding, prediction, mitigation and restoration of cascading failures*, w: *IEEE Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008.

Carter B., Mancini R. , *Op Amps for Everyone*, Burlington 2009.

Jaworski M., Szuba M., *Analiza obciążeń napowietrznych linii najwyższych napięć w aspekcie wytwarzania pola magnetycznego*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2015, nr 5, s. 149–154.

Kapoor R. i in., *UAV Navigation Using Signals of Opportunity in Urban Environments. An Overview of Existing Methods*, 1st International Conference on Energy and Power, ICEP2016, 14–16 XII 2016, Melbourne, Australia.

Metzger F.B., *An Assesment of Propeller Aircraft Noise Reduction Technology*, ASA Contractor Report 198237, 1995.

Parfomak P.W., *Physical Security of the U.S. Power Grid. High-Voltage Transformer Substations*, Congressional Research Service, 17 VI 2014.

Preece W.H., *On the Heating Effects of Electric Currents*. No. II, „Proceedings of the Royal Society of London” 1887–1888, t. 43, bez paginacji.

Preece W.H., *On the Heating Effects of Electric Currents*. No. II, „Proceedings of the Royal Society of London” 1887–1888, t. 44, bez paginacji.

Standardowe Specyfikacje Funkcjonalne. Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa, pomiary i układy obwodów wtórnych, Warszawa 2010 (aktualizacja 2012 r.).

Stauffacher E.R., *Short-time Current Carrying Capacity of Copper Wire*, „General Electric Review” 1928 r., t. 31, nr 6, s. 326–327.

Yuliang W. i in., *Noise Reduction of UAV Using Biomimetic Propellers with Varied Morphologies Leading-edge Serration*, „Journal of Bionic Engineering” 2020, t. 17, s. 767–779.

Źródła internetowe

Energetyka, dystrybucja, przesył, PTPiREE, http://ptpiree.pl/raporty/2021/raport_ptpiree_2021.pdf [dostęp: 30 XI 2021].

Akty prawne

Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2020/639 z dnia 12 maja 2020 r. zmieniające rozporządzenie wykonawcze (UE) 2019/947 w odniesieniu do scenariuszy standardowych dla operacji wykonywanych w zasięgu widoczności wzrokowej lub poza zasięgiem widoczności wzrokowej (Dz. Urz. UE L 150/1 z 13 V 2020 r.).

Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2020/1058 z dnia 27 kwietnia 2020 r. zmieniające rozporządzenie delegowane (UE) 2019/945 w odniesieniu do wprowadzenia dwóch nowych klas systemów bezzałogowych statków powietrznych (Dz. Urz. UE L 232/1 z 20 VII 2020 r.).

Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2020/746 z dnia 4 czerwca 2020 r. zmieniające rozporządzenie wykonawcze (UE) 2019/947 w odniesieniu do odroczenia dat rozpoczęcia stosowania niektórych środków w związku z pandemią COVID-19 (Dz. Urz. UE L 176/13 z 5 VI 2020 r.).

Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych (Dz. Urz. UE L 152/45 z 11 VI 2019 r.).

Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r. w sprawie bezzałogowych systemów powietrznych oraz operatorów bezzałogowych systemów powietrznych z państw trzecich (Dz. Urz. UE L 152/1 z 11 VI 2019 r.).

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 z dnia 4 lipca 2018 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie lotnictwa cywilnego i utworzenia Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego oraz zmieniające rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 2111/2005, (WE) nr 1008/2008, (UE) nr 996/2010, (UE) nr 376/2014 i dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/30/UE i 2014/53/UE, a także uchylające rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 552/2004 i (WE) nr 216/2008 i rozporządzenie Rady (EWG) nr 3922/91 (Dz. Urz. UE L 212/1 z 22 VIII 2018 r.).

Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (t.j.: DzU z 2020 r. poz. 1970, ze zm.).

Ustawa z dnia 6 czerwca 1997 r. – Kodeks karny (t.j.: DzU z 2021 r. poz. 2345, ze zm.).

Wytyczne nr 7 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 9 czerwca 2021 r. w sprawie sposobów wykonywania operacji przy użyciu systemów bezzałogowych statków powietrznych w związku z wejściem w życie przepisów rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) nr 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych (Dz. Urz. Urzędu Lotnictwa Cywilnego z 2021 r. poz. 35).

Wytyczne nr 24 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 30 grudnia 2020 r. w sprawie wyznaczania stref geograficznych dla systemów bezzałogowych statków powietrznych (Dz. Urz. Urzędu Lotnictwa Cywilnego z 2020 r. poz. 78).

Wytyczne Szefa Szefostwa Służby Ruchu Lotniczego Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej nr 6 z dnia 17 września 2018 r. w sprawie uszczegółowienia zasad wykonywania lotów modeli latających oraz bezzałogowych statków powietrznych o MTOW nie większej niż 25 kg w strefach ruchu lotniskowego lotnisk wojskowych (MATZ) oraz strefach kontrolowanych lotnisk wojskowych (MCTR), https://ssrlszrp.wp.mil.pl/u/Wytyczne_w_sprawie_wykonywania_lotow_przez_RPAS.pdf.