

Aleksandra Mazurek*

Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa

Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w diagnostyce technicznej obiektów budowlanych metodami nieniszczącymi

The use of unmanned aerial vehicles in the technical diagnostics of buildings using non-destructive methods

ABSTRACT

The development of technology has caused the emergence of new methods of building objects diagnostics using digital images obtained using unmanned aerial vehicles (BSP). They are mainly used for observation. However, it is easy to equip the drone with additional modules or software that will increase its capabilities. Due to the non-destructive and non-invasive nature, tests can be completed very quickly, with minimal access requirements. The scale of possibilities associated with the use of a drone makes it an extremely helpful tool in the construction industry.

The article discusses the possibilities of using BSP in non-destructive diagnostics of building objects, formal and legal conditions for the use of drones in the Polish airspace, and a review of devices available on the market.

Keywords: validation; reliability of inspection result; digital radiography; digital ultrasonic; automated inspection systems.

STRESZCZENIE

Rozwój technologii spowodował pojawienie się nowych metod diagnostyki obiektów budowlanych z wykorzystaniem obrazów cyfrowych uzyskanych za pomocą bezzałogowych statków powietrznych (BSP). Stosuje się je głównie do obserwacji. Łatwo jest jednak wyposażyć drona w dodatkowe moduły lub oprogramowanie, które zwiększą jego możliwości. Ze względu na nieniszczący i nieinwazyjny charakter, badania mogą być zakończona bardzo szybko, przy minimalnych wymaganiach dotyczących dostępu. Skala możliwości związanych z użyciem drona sprawia, że może on stanowić niezwykle pomocne narzędzie w branży budowlanej.

W artykule omówiono możliwości wykorzystania BSP w diagnostyce nieniszczącej obiektów budowlanych, uwarunkowania formalno-prawne użycia dronów w polskiej przestrzeni powietrznej oraz dokonano przeglądu dostępnych na rynku urządzeń.

Słowa kluczowe: bezzałogowe statki powietrzne, badania nieniszczące, diagnostyka obiektów budowlanych, badania termowizyjne

1. Wstęp

Według badań przedsiębiorstwa analityczno-doradczego Gartner przewiduje się, że rynek fotografii i zdjęć z dronów będzie w 30% wykorzystywany przez branżę budowlaną do 2020 roku [1]. Zdjęcia z drona pozwalają na przygotowanie dokumentacji powstających budynków czy obiektów inżynieryjnych. Znajdują zastosowanie w czasie audytu inwestycji, rozliczeń między podwykonawcami, czy inwentaryzacji fotograficzno-filmowej terenu budowy. Umożliwiają przeprowadzanie inspekcji i ekspertyz z powietrza. Dron może wyręczać inspektorów budowlanych dokonujących ekspertyz w miejscach niebezpiecznych lub w obiektach, które wymagają dźwigów czy innego specjalistycznego sprzętu do pracy na wysokości. Wpływa to na wzrost bezpieczeństwa i obniżenie kosztów.

Technologie takie jak drony są dojrzałe i gotowe do szybkiego wdrożenia. Wkrótce mogą stać się narzędziem codziennej pracy każdego architekta, projektanta, wykonawcy czy developera.

2. Regulacje prawne

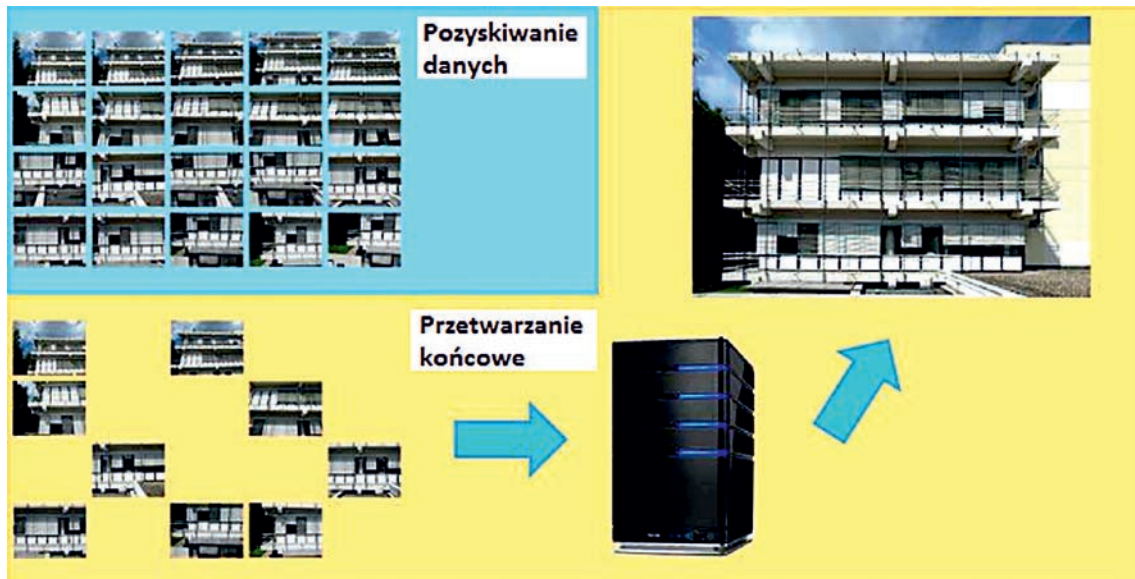
Podstawy prawne wykonywania bezzałogowych lotów powierzanych zawarte są w ustawie z dnia 3 lipca 2002 r.

Prawo lotnicze oraz w przepisach wykonawczych do ustawy. W Polsce szczegółowe zasady zostały opisane w trzech rozporządzeniach Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej:

- z 26 marca 2013 r. w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków, które częściowo określa zasady wykonywania lotów (nowelizacja przepisów - 7 września 2016 r.);
- z 3 czerwca 2013 r. w sprawie świadectw kwalifikacji, które określa zasady licencjonowania osób wykonujących loty bezzałogowe;
- z 26 kwietnia 2013 r. w sprawie przepisów technicznych i eksploatacyjnych dotyczących statków powietrznych kategorii specjalnej, nieobjętych nadzorem Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego.

Obecnie trwają prace nad projektem rozporządzenia w sprawie szczegółowego sposobu i warunków wykonywania lotów dronami w polskiej przestrzeni powietrznej oraz procedur współpracy operatorów tych statków z instytucjami zapewniającymi służby ruchu lotniczego. Rozporządzenie określi zasady wykonywania lotów poza zasięgiem wzroku osoby sterującej

*Autor korespondencyjny. E-mail: a.mazurek@itb.pl



Rys. 1. Dwuetapowy proces inspekcji elewacji [2].
Fig. 1. A two-stage process of elevation inspection [2].

dronem (aktualnie loty poza zasięgiem wzroku, ze względów bezpieczeństwa, są możliwe jedynie w wydzielonej do tego celu przestrzeni powietrznej) [8].

Wszystkie loty cywilne inne niż rekreacyjne lub sportowe kwalifikowane są jako komercyjne (pomiar, inspekcje techniczne, monitoring z powietrza), dlatego zgodnie z art. 95 ust. 2 pkt 5a [9], osoba pilotująca BSP musi posiadać świadectwa kwalifikacji operatora bezzałogowego statku powietrznego UAVO. Do realizacji lotów w zasięgu wzroku operatora niezbędne są uprawnienia VLOS (Visual Line of Sight operation). Zasady licencjonowania personelu lotniczego, dotyczące operatorów bezzałogowych statków powietrznych, określono w Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 7 czerwca 2013 r. w sprawie świadectw kwalifikacji (Dz. U. 2013, nr 664). Dokument precyzuje zasady i eksploatacyjnych dotyczących statków powietrznych kategorii specjalnej, nieobjętych nadzorem Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego (Dz.U. 2013, nr 524). Zgodnie z tym rozporządzeniem, na wykonywanie lotów w kategorii specjalnej dla bezzałogowych statków powietrznych o masie przekraczającej 25 kg konieczne jest uzyskanie specjalnej zgody.

Zagadnienie lotów bezzałogowych jest przedmiotem prac w wielu państwach członkowskich UE. Również Komisja Europejska dostrzegła konieczność harmonizacji przepisów w tej sprawie. W marcu 2015 r. w Rydze przyjęto deklarację dotyczącą dalszego rozwoju systemów bezzałogowych. Trwają prace nad propozycją zmiany przepisów UE, umożliwiających ich rozwój [8].

3. Inspekcja obiektów budowlanych

Kontrola stanu technicznego obiektów są oparte na wizualnych metodach badawczych. Budynki wielopiętrowe, mosty, tamy, wieże chłodnicze to obiekty o utrudnionym dostępie. Użycie bezzałogowych statków powietrznych jako systemu czujników powietrznych jest wygodnym sposobem przechwytywania wymaganych danych. Zastosowania dronów

w badaniach nieniszczących koncentruje się na wykrywaniu i analizie uszkodzeń oraz monitorowaniu stanu obiektu.

Inspekcję budynku z wykorzystaniem wysokorozdzielczych obrazów cyfrowych można podzielić na dwa etapy [2]: pozyskiwanie danych (podczas lotu) i cyfrowe przetwarzanie (po zakończeniu lotu) (Rys.1.).

Prędkość lotu w czasie inspekcji musi być dość ograniczona, ponieważ szybkie zmiany kąta pochylenia powodują, że obrazy są zmniejszone i nie są wyrównane przez automatyczną stabilizację kamery. W trybie nagrywania danych zintegrowana kamera cyfrowa jest sterowana przez automatyczną sekwencję fotografowania, która może być ustawiona na częstotliwość do 3 obrazów na sekundę. Można również ręcznie sterować aparatem, aby w razie potrzeby ustawić zoom, ostrość i migawkę.

Dane zapisane w kamerze są odczytywane po wylądowaniu. Automatyczne uruchomienie kamery powoduje, że każdy lot generuje dużą ilość danych, np. w 15 minutowym locie uzyskujemy ponad 1200 zdjęć. Jest to ilość o wiele większa niż wymagana, ale spora część fotografii jest bezużyteczna, co wynika z niezupełnie odfiltrowanych wibracji z platformy lub zewnętrznych wpływów takie jak podmuchy wiatru.

Kolejnym etapem jest cyfrowe przetwarzanie końcowe wybranych obrazów przy zastosowaniu dostępnych na rynku oprogramowania. Metody łączenia lub mozaikowania są oparte na technikach rozpoznawania wzorców, które analizują podobne struktury zawartości obrazu, zwane punktami dopasowania, w dwóch lub więcej obrazach i łączą je ze sobą w oparciu o te punkty.

W zakresie kontroli uszkodzeń opracowano oprogramowanie do przetwarzania obrazu, które pozwala na wykrywanie pęknięć i rys oraz ich dalszą analizę. Uzyskane obrazy w wysokiej rozdzielczości pozwalają scharakteryzować rozmiary uszkodzenia z dokładnością do milimetrów [2]. Istnieje możliwość zaprogramowania algorytmów filtrowania w celu automatycznego wyszukiwania defektów.

4. Badania termowizyjne z wykorzystaniem dronów

Termografia to proces obrazowania w paśmie średniej podczerwieni. Pozwala na rejestrację promieniowania ciepłego emitowanego przez ciała fizyczne, które jest wykorzystywane przez kamerę termowizyjną w zakresie pomiędzy promieniowaniem widzialnym i radiowym. Stosując kamerę termowizyjną, możemy ocenić stan izolacji termicznej, szczelność stolarki budowlanej czy ocenić jakość wykonanych prac termomodernizacyjnych budynku. Widoczne na obrazach w podczerwieni ewentualne różnice temperatur mogą zobrazować miejscową nieszczelność lub zawilgocenie. Kamery termowizyjne są w stanie uchwycić nawet bardzo małe różnice temperatury na poziomie $0,1^{\circ}\text{C}$. Obraz przedstawiony za pomocą kamery termowizyjnej jest wielokolorowy, gdzie każdy kolor przedstawia inną temperaturę.

Przeszkodą w wykonaniu pomiaru kamerą termowizyjną jest utrudniony dostęp do poszczególnych elementów obiektu budowlanego ze względu na duże wysokości. Rozwiązaniem jest połączenie kamery termowizyjnej z bezzałogowym statkiem powietrznym. Drony z kamerą termowizyjną umożliwiają dokładną diagnostykę elewacji i dachów. Do tego rodzaju pomiarów zalecane jest użycie kamer radiometrycznych, które pozwalają na odczyt wartości temperatury w dowolnym punkcie zapisanego obrazu w podczerwieni [3].

Drony sprzęgnięte z kamerami termowizyjnymi mogą być wykorzystane również do kontroli obiektów przemysłowych, takich jak kominy, wieże chłodnicze, wieże wodne,

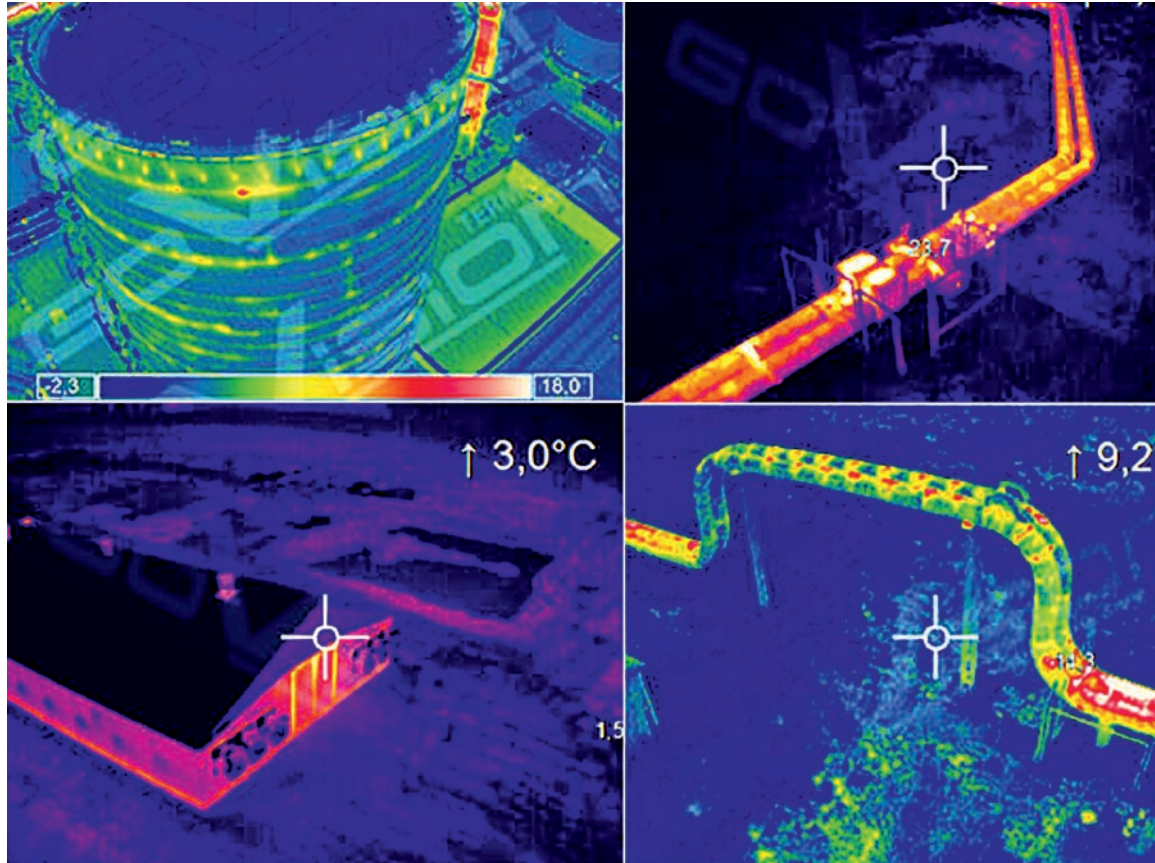
zbiorniki i rurociągi (Rys. 2.). Efekty zastosowania bezzałogowych platform wyposażonych w kamerę termowizyjną przedstawiono w artykule: Krawczyk, Mazur, Sasin, Stokłosa, 2015 [4] dotyczącym badania energochłonności budynków mieszkalnych, Zhang, Jung, Sohn, Cohen, 2015 [5] o kontroli izolacji dachu oraz López-Fernández, Lagüela, Picón, González-Aguilera, 2015 [6] analiza dachu do instalacji paneli słonecznych.

5. Sprzęt dostępny na rynku

Ogólna budowa i wygląd dronów jest podobny. Wyposażone są w śmigła w ilości od trzech do ośmiu (tab. 1), ramiona na których śmigła i silniki są umieszczone, oraz podstawę na której lądują. Różnią się wielkością, masą i siłą nośną, czyli masą ładunku jaki mogą udźwignąć. Najmniejsze drony mieszczą się na dłoni i uniosą najwyżej pojedyncze gramy. Największe przekraczają metr średnicy i mogą unieść kilkanaście kilogramów i więcej.

Zaletą bezzałogowych statków powietrznych jest prosta konstrukcja, co zmniejsza prawdopodobieństwo awarii. Parametry lotu regulowane są wyłącznie prędkością obrotową silników i śmigieł. Wyposażone są w skomplikowaną elektronikę i szereg czujników, takich jak akcelerometr, żyroskop, GPS, czujniki zbliżeniowe i optyczne.

Rozróżniane są dwie metody sterowania dronem. Pierwsza z nich to aplikacja, którą można zainstalować na smartfonie lub tablecie. Mamy wtedy do dyspozycji akcesoria dodatkowe, które polepszą wrażenia i ułatwią obsługę. Druga



Rys. 2. Badania wykonane za pomocą drona z kamerą termowizyjną [7].

Fig. 2. Research carried out using a drone with a thermal imaging camera [7].

Tab. 1. Rodzaje dronów ze względu na ilość śmigieł [11].
Tab. 1. Types of drones due to the number of propellers [11].

Cechy	Tricopter	Quadcoptery	Hexacoptery	Octocoptery
Ilość śmigieł	3 śmigła	4 śmigła	6 śmigieł	8 śmigieł
Rozmiar	Mały	Średni	Duży	Największy
Udźwig	Bardzo mały	Średni	Duży	Największy
Szybkość	Mała	Średnia	Duża	Największa
Ciężar	Niski	Umiarkowany	Wysoki	Najwyższy
Trudność sterowania	Wysoka	Umiarkowana	Niska	Najniższa
Odporność na złe warunki pogodowe	Niska	Średnia	Wysoka	Najwyższa
Dla kogo?	Dla początkujących/zaawansowanych	Dla początkujących/zaawansowanych	Dla zaawansowanych	Dla profesjonalistów
Cena	Niska	Umiarkowana	Wysoka	Najwyższa

metoda sterowania to osobny nadajnik radiowy dołączony na zestawu, który zaopatrzony jest we wskaźniki m.in. wychylenia, stan baterii, czy prędkości. Większość profesjonalnych dronów może być sterowana przez dwóch operatorów. Jeden z nich steruje dronem, a drugi kamerą. Wpływa to na bezpieczeństwo lotu i lepszą jakość wykonywanych ujęć.

Drony do zastosowań profesjonalnych charakteryzują się doskonałą zwrotnością, co pozwala na szybką zmianę pozycji i wykonywanie płynnych ujęć. Posiadają systemy zmniejszające ryzyko zderzenia z przeszkodą oraz ponadprzeciętną wytrzymałością. Przydatna jest również blokada wysokości (dron unosi się w stałym punkcie nad ziemią), opcja automatycznego lądowania oraz elementy wyposażenia takie jak nadajnik GPS i kamera HD. Sprzęt z czujnikami podcierwieni zapewnia zdolność do obserwacji w nocy, a dzięki radarom z syntetyczną aperturą drony mogą wykonywać zdjęcia o wysokiej rozdzielczości bez względu na aktualne warunki pogodowe [10]. W ofercie rynkowej dostępne są również drony na indywidualne zamówienie. Firmy są w stanie skonfigurować i zbudować prawie każdy sprzęt.

6. Podsumowanie

Dynamiczny rozwój bezzałogowych statków powietrznych pokazuje, że w najbliższym czasie nastąpi wzrost zastosowań dronów w badaniach konstrukcji mostowych, budynków wielokondygnacyjnych, kominów i innych obiektów budowlanych. Stosowanie technologii bezzałogowych wymaga wprowadzenia odpowiednich standardów bezpieczeństwa przy wykonywaniu inspekcji, przeglądów i pomiarów.

Przed wykonaniem bezzałogowych lotów należy uzyskać świadectwo kwalifikacji operatora bezzałogowego statku powietrznego oraz wykupić ubezpieczenie OC. Dodatkowo parametry techniczne bezzałogowego statku powietrznego oraz kamery muszą być odpowiednie dla wykonania nalożonych zadań technicznych, a operator musi przeprowadzić ocenę terenu pod względem bezpieczeństwa lotu oraz uzyskać niezbędne pozwolenia.

W badaniach nieniszczących drony są stosowane do skanowania obiektów budowlanych w celach inspekcyjnych i monitorujących za pomocą kamery cyfrowej o wysokiej

rozdzielczości. Sprawdzają się również w przypadku wystąpienia niewidocznych dla oka uszkodzeń czy awarii (np. na dachach dużych obiektów przemysłowych, mostach). Pozwalają kontrolować na bieżąco stan takich obiektów, a także identyfikować ewentualne pęknięcia i uszkodzenia, ogniska korozji czy inne defekty. Wyposażone w odpowiedni sprzęt mogą być stosowane do inspekcji termicznych budynków i innych obiektów budowlanych. Na podstawie mapy termicznej pozwalają ustalić, jak wiele energii elektrycznej i ciepłej zużywają sfilcowane obiekty budowlane.

Do najważniejszych cech bezzałogowych statków powietrznych zaliczamy: zdolność do wykonywania zdjęć w trudnych warunkach, niskie koszty operacyjne wynikające z możliwości obserwacji dużego obszaru, oszczędność czasu, zdolność do obsługi cyfrowego przetwarzania zdjęć lotniczych i względna niezależność od warunków atmosferycznych.

Przy wyborze profesjonalnego drona warto zwrócić uwagę na kilka czynników, które będą miały wpływ na użytkowanie sprzętu. Istotna jest np. bateria, od której zależy maksymalny czas lotu drona, sposób sterowania – może do tego służyć specjalny kontroler lub smartfon i parametry kamery.

7. Literatura/References

- [1] <http://www.izolacje.com.pl/aktualnosc/id3793,drony-jak-wykorzystac-ich-potencjal> (dostęp na dzień 1.08.2018r.).
- [2] C. Eschmann, C.M. Kuo, C.-H. Kuo, C. Boller, Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring. 6th European Workshop on Structural Health Monitoring – Th.2.B.1, 1–8, 2012. Pobrane z: <http://www.ndt.net/article/ewshm2012/papers/th2b1.pdf> (dostęp na dzień 15.07.2018r.).
- [3] P. Kowalski, K. Bielecki, Zastosowanie termowizji z wykorzystaniem dronów w budownictwie, 2014. Pobrane z: http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,narzedzia_i_maszyzny,artykul,zastosowanie_termowizji_z_wykorzystaniem_dronow_w_budownictwie,7730 (dostęp na dzień 12.06.2018r.).
- [4] J.M. Krawczyk, A.M. Mazur, T. Sasin, A.W. Stokłosa, Infrared Building Inspection with Unmanned Aerial Vehicles. Transactions of the Institute of Aviation, 3 (240), 32–48, DOI: 10.5604/05096669.1194965, 2015.
- [5] L. López-Fernández, S. Lagüela, I. Picón, D. González-Aguilera, Large Scale Automatic Analysis and Classification of Roof Surfaces for the Installation of Solar Panels Using a Multi-Sensor Aerial Platform. Remote Sens, 7, 11226–11248, 2015.
- [6] J. Zhang, J. Jung, G. Sohn, M. Cohen, Thermal Infrared Inspection of Roof Insulation Using Unmanned Aerial Vehicles. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL -1/ W4, 381–386, 2015.
- [7] <https://www.govision.pl/uslugi/pomiary-i-inspekcje-termowizyjne-z-drona-badania> (dostęp na dzień 10.07.2018r.).
- [8] <http://www.ulc.gov.pl/pl/personel-lotniczy/346-departamenty/drony> (dostęp na dzień 10.07.2018r.).
- [9] Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. – Prawo lotnicze (Dz. U. z 2018 r. poz. 1183)
- [10] <http://www.komputerswiat.pl/centrum-wiedzy-konsumenta/hobby-i-edukacja/wszystko-o-dronach/wszystko-co-musisz-wiedziec-o-dronach.aspx> (dostęp na dzień 10.06.2018r.).
- [11] <https://jakdobrzekupic.pl/jakiego-drona-kupic/> (dostęp na dzień 20.07.2018r.).