

KIERUNKI ZASTOSOWANIA BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH W LEŚNICTWIE I OCHRONIE PRZYRODY

TRENDS IN THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN FORESTRY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Paweł Szymański

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa

Słowa kluczowe: BSP, zdjęcia lotnicze z niskiego pułapu, monitoring leśny i środowiskowy, fotogrametria, teledetekcja

Keywords: UAV, forestry and environmental monitoring, photogrammetry, remote sensing

Wprowadzenie

Historia bezzałogowych statków powietrznych (BSP) sięga początków lotnictwa, jednak w 1917 roku użyto ich po raz pierwszy (Przywara, 2012). Pionierskie maszyny wykorzystywano z myślą o operacjach militarnych. Curtis Aeroplane Company zaprojektowała i zbudowała BSP przeznaczone do niszczenia niemieckich okrętów podwodnych. Samolot posiadał autopilota i jego start odbywał się przez wystrzelenie go z okrętu z ładunkiem wybuchowym ważącym 0,5 tony (Przywara, 2012). Z biegiem czasu technologia zaczęła być coraz bardziej powszechna, popularna i znalazła wiele zastosowań na rynku cywilnym. Na pokładzie BSP można zamontować aparaturę rejestrującą o wysokiej rozdzielczości, skaner laserowy (LiDAR), kamerę termowizyjną lub noktowizor. W Polsce występuje coraz więcej firm zajmujących się rejestracją takich urządzeń oraz świadczących usługi dla branż: budowlanej, geodezyjnej i energetycznej. Z możliwości BSP korzystają instytucje związane z ochroną środowiska, jak również służby mundurowe takie jak: Straż Graniczna, straż pożarna, policja. Wykorzystanie nowoczesnych urządzeń rejestrujących oraz technologii BSP znajduje coraz szersze możliwości zastosowań w leśnictwie. Ortofotomapa jest podstawowym produktem, który jest coraz skuteczniej stosowany w pracach urzędniowych, jak i w monitorowaniu stanu środowiska. W artykule przedstawiono wybrane koncepcje zastosowań bezzałogowych statków powietrznych w leśnictwie oraz w ochronie środowiska (Szymański, 2013).

Specyfikacja sprzętowa

W badaniach wykorzystano wielowirnikowiec firmy DJI Phantom (rys. 1). Jego stabilność w locie zapewniają zainstalowane następujące urządzenia: GPS, akcelerometr, ciśnieniomierz, trzyosiowy żyroskop i kompas. Do sterowania ręcznego stosuje się aparaturę RC (*Radio Control*) o dopuszczalnym zasięgu 0,5 km. W sytuacji awaryjnej (utrata kontaktu wzrokowego lub łączności) istnieje możliwość wykorzystania autopilota. Udźwig urządzenia to 200 gram, zaś przewidywany czas lotu waha się od 8 do 12 minut, w zależności od obciążenia i siły wiatru (do 7 m/s).

Do rejestracji obrazów została zastosowana kamera niemetryczna firmy Gopro Hero, model trzeciej generacji Black Edition (rys. 2) charakteryzująca się następującymi parametrami: 1) wielkość pudełka zapalek, 2) waga 74 gramy, 3) stała długość ogniskowej 20 mm, 4) maksymalna rozdzielczość wykonywanych zdjęć 12 MP (4000×3000 pikseli), 5) rejestracja w trzech kanałach RGB. Mikroprocesor pozwala wykonywać nawet 30 zdjęć w czasie 0,5 sekundy. Sterowanie odbywa się zdalnie poprzez Wi-Fi (zasięg do 200 m). Możliwe jest wykonywanie zdjęć w trybie ultra szerokim, wynoszącym do 170° pola widzenia.



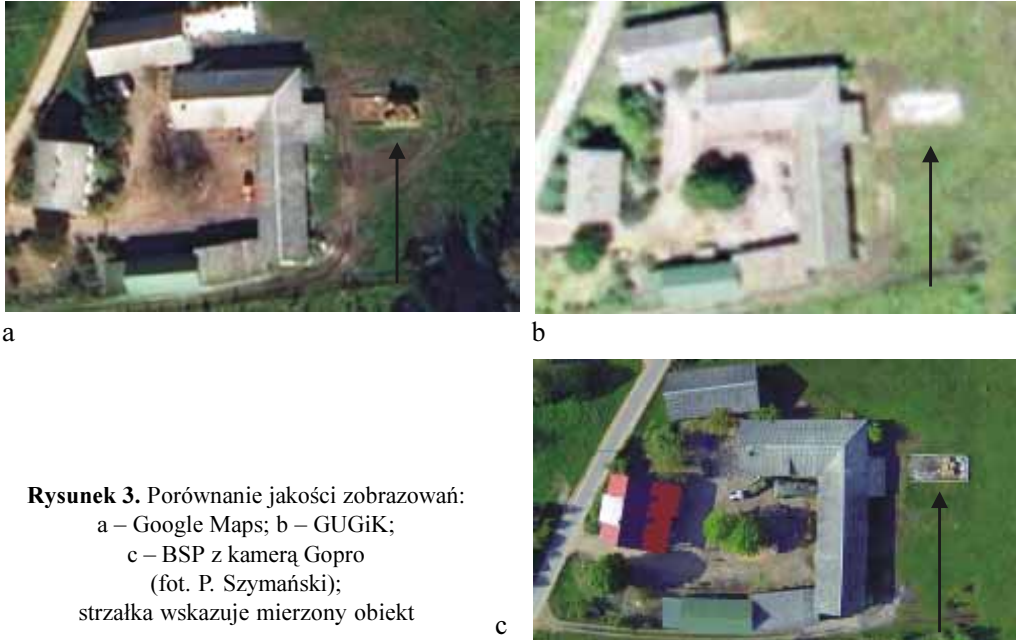
Rysunek 1. Wielowirnikowiec DJI Phantom
(fot. P. Szymański)



Rysunek 2. Kamera Gopro Hero 3 Black Edition,
porównanie wielkości do pudełka zapalek
(fot. P. Szymański)

Ocena jakości zobrazowań

Przeprowadzono test polegający na porównaniu ortofotomapy Google, ortofotomap Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (GUGiK) oraz obrazu z BSP (rys. 3). Wybrano obiekt, zmierzono jego pole powierzchni różnymi narzędziami, na różnych obrazach. Obiektem pomiarowym jest niewielki prostokąt, widoczny w północno-wschodniej części obrazów (rys. 3 a,b,c). Wykonano pomiar obiektu w ogólnodostępnych portalach, takich jak: Bank Danych o Lasach, Geoportal, Geoportal 2, Geoserwis oraz programem Quantum GIS. Ponadto, dla celów kontrolnych, wykonano pomiar terenowy obiektu taśmą mierniczą i obliczono jego powierzchnię. Wyniki otrzymane z opracowań kameralnych porównano z pomiarem terenowym (tab. 1). Uzyskana rozdzielczość terenowa zdjęcia z niskiego pułapu (do 100 m) wynosiła 1,5 cm. Zdjęcia kamerą Gopro posiadają dużą dystorsję, dlatego pomiar był możliwy tylko w środkowej części zdjęcia. Wynik uzyskany z obrazu BSP był najbliższy wynikowi



Rysunek 3. Porównanie jakości zobrazowań:

- a – Google Maps;
 - b – GUGiK;
 - c – BSP z kamerą Gopro (fot. P. Szymański);
- strzałka wskazuje mierzony obiekt

pomiaru terenowego, różnica wynosiła $0,1 \text{ m}^2$. Pomiary zostały uśrednione na podstawie 20 wyników w każdym wariancie. Obiekt jest prostokątem o powierzchni $84,50 \text{ m}^2$, jednak inne pomiary pokazują duże różnice pola powierzchni. Uzyskane wyniki mogą sugerować, że w przypadku obiektów większych i bardziej skomplikowanych, różnice pomiędzy rzeczywistą i wyznaczoną powierzchnią obiektu będą coraz większe.

Tabela 1. Porównanie wyników pomiaru pola powierzchni uzyskanych za pomocą różnych narzędzi i obrazów pochodzących z różnych źródeł

Narzędzie GIS	Obraz	Wynik pomiaru [m ²]
Bank Danych o Lasach	ortofotomapa GUGiK	86,00
Geoportal	ortofotomapa GUGiK	100,10
Geoportal 2	ortofotomapa GUGiK	103,00
Geoserwis	ortofotomapa GUGiK	67,20
Geoserwis	ortofotomapa Google	102,50
Quantum GIS	ortofotomapa GUGiK	87,20
Quantum GIS	ortofotomapa Google	91,50
Quantum GIS	obraz z BSP	84,60
Pomiar terenowy		84,50

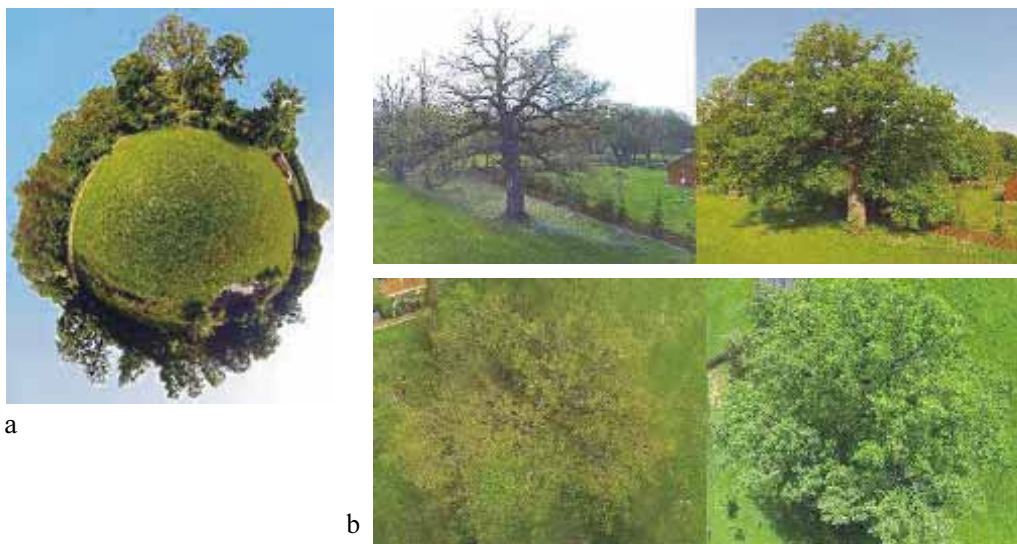
Ocena żywotności drzew pomnikowych

Zgodnie z ustawą o ochronie przyrody (Ustawa, 2004), pomnikiem przyrody są obiekty przyrodnicze ożywione lub nieożywione. Pomnik przyrody powinien posiadać szczególną wartość przyrodniczą, naukową, kulturową lub krajobrazową. Obserwując drzewa, dzięki zobrazowaniom pozyskanym za pomocą BSP i kamery niemetrycznej, jesteśmy w stanie ocenić stan zdrowotny poszczególnych drzew. Wykorzystując BSP możemy oceniać dynamikę zmian fenologicznych drzew, jak również stopień zamierania. Dodatkowym atutem jest

rozdzielczość zobrażeń, która pozwala zidentyfikować chorobę grzybową (np. rozpoznanie owocnika znajdującego się wysoko w konarach) lub szkodnika. Po zgromadzeniu materiału do oceny zdrowotnej obiektów, wykorzystano kilka technik przedstawiania danych obrazowych, między innymi metodę obserwacji trójwymiarowej pary stereoskopowej, zapisanej w postaci anagliflu. Innym przykładem są panoramy: kołowa „mała planetka” (rys. 4a), jak również panorama sferyczna ukazująca 360° pola widzenia, która jest techniką bardzo przydatną do ukazania otoczenia cennych obiektów przyrodniczych. Stosując program Quantum GIS skalibrowano zdjęcia na podstawie fotopunktów. Obraz drzewa w rzucie pionowym, użyto do obliczenia powierzchni rzutu korony. W celu określenia stopnia uszkodzenia drzewa, posłużono się skalą Pacyniaka i Smolskiego (Pacyniak, 1992), w której wyróżnia się:

- 1) drzewa zupełnie zdrowe, bez żadnych ubytków i obecności szkodników;
- 2) drzewa z częściowo obumierającymi cięszymi gałęziami w wierzchołkach koron; występują pojedyncze egzemplarze szkodników;
- 3) drzewa, które mają w 50% obumarłą koronę i kłodę; są zaatakowane w znacznym stopniu przez szkodniki;
- 4) drzewa, które mają w 70% obumarłą koronę i kłodę oraz duże ubytki tkanki drzewnej;
- 5) drzewa, które mają w ponad 70% obumarłą koronę i kłodę z licznymi dziuplami – drzewa martwe.

Obiektem badań był między innymi dąb szypułkowy (*Quercus robur* L.) o wysokości 23 m. Zmierzono w terenie, na wysokości 1,3 m, obwód pnia, który wynosił 700 cm. Rozpoznano dotychczasowe zabiegi polegające na amputacji konarów. Nie stwierdzono kolizji, polegającej na konkurowaniu konarami różnej liczby drzew o tę samą przestrzeń badanego drzewa z innymi drzewami. Powierzchnia rzutu korony wynosiła 615 m². Stopień zdrowotności wg skali Pacyniaka i Smolskiego wynosił 2. Nie stwierdzono niepokojących objawów chorobowych, ani zamierania konarów. W okresie wegetacyjnym niemalże wszystkie gałęzie wytworzyły aparat asymilacyjny (rys. 4b).



Rysunek 4: a – panorama kołowa, tzw. „mała planetka”; b – zdjęcia dębu bezszypułkowego (*Quercus robur* L.) wykonane 1 i 20 maja 2013 r. za pomocą kamery przenoszonej przez BSP, widok poziomy i pionowy (fot. P. Szymański)

Ocena żywotności drzew

Stan zdrowotny można oceniać na kilka sposobów, jednak to aparat asymilacyjny jest podstawą w jego ocenie. Utrata aparatu asymilacyjnego wskazuje na słabnącą vitalność drzewa. Defoliacją, nazywa się stopień redukcji aparatu asymilacyjnego drzewa w odniesieniu do drzewa wzorcowego. Wśród różnych cech morfologicznych koron drzew, oprócz oceny defoliacji, można dokonać oceny odbarwienia aparatu asymilacyjnego. Porównanie można również przeprowadzić dzięki wzorcowi ze zdjęć lotniczych, wykonanych w bliskiej podczerwieni i ich porównaniu z oceną naziemną. Witalność drzewa można również określić na podstawie intensywności kwitnienia drzewa (rys. 5a).

Badania przeprowadzono w wydzielonym drzewostanie nasiennym sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) (siedlisko: LMśw, wiek 122 lata) na trzech powierzchniach badawczych. Zdjęcia wykonano w promieniu do 20 m od środka wyznaczonej powierzchni badawczej; w rzucie środkowym, pionowo do ziemi (rys. 5b).



a

Rysunek 5: a – korona z tegorocznymi pędami, przedział defoliacji 1; b – stan drzewostanu na powierzchni nr 2 (fot. P. Szymański)



b

Znając liczbę drzew w odpowiednich przedziałach defoliacji, obliczono wskaźnik defoliacji dla drzew z badanej powierzchni, stosując wzór:

$$x = \frac{n + 2n + \dots + 10n}{N}$$

gdzie: x – wskaźnik defoliacji lub odbarwienia,

N – liczba wszystkich drzew,

n – liczba drzew w dziesięcioprocentowych przedziałach defoliacji,

1, 2, ..., 10 – numery przedziałów.

Tabela 2. Wskaźniki defoliacji

Numer przedziału defloracji	Przedział defloracji [%]	Numer powierzchni badawczej		
		1	2	3
		liczba drzew	liczba drzew	liczba drzew
		[szt.]		
1.	1-10	164	148	111
2.	11-20	13	9	7
3.	21-30	6	3	5
4.	31-40	2	2	3
5.	41-50	0	0	0
6.	51-60	0	0	0
7.	61-70	0	0	0
8.	71-80	0	0	0
9.	81-90	0	0	0
10.	91-100	0	0	0
Suma		185	162	126
Wskaźnik defloracji		1,168	1,130	1,206
Średni wskaźnik defloracji		1,168		

Otrzymane wyniki defoliacji zestawiono w klasy, otrzymując wynik procentowej defoliacji. Do tego celu wykorzystywano metodykę opisaną przez Ważyńskiego (2005). Wyniki badań przedstawia tabela 2. Zamieranie całych drzew lub ich części wierzchołkowej objawia się ubytkiem aparatu asymilacyjnego bez zmiany zabarwienia, ewentualnie zmianą zabarwienia aparatu asymilacyjnego, lecz bez wyraźnych ubytków lub jednoczesnym występowaniem obu cech (Zmarz i in., 2012).

Ocena stanu zdrowotnego uprawy starszej oraz młodnika

Uprawa to początkowe stadium tworzenia się drzewostanu. Może pochodzić z odnowienia, zarówno naturalnego jak i sztucznego. Tę fazę zachowuje od momentu wykiełkowania lub posadzenia do osiągnięcia zwarcia, następnie przechodzi w fazę młodnika (Więcko, 1996). Uprawą starszą nazywa się uprawę, która osiągnie wiek 5 lat. Drzewa w młodniku bardzo silnie oddziałują na siebie, konkurując o światło i przestrzeń do wzrostu (Szymański, 2001). Po wypadnięciu drzew z obu początkowych faz (do 20 lat), należy dokonać uzupełnienia gatunkiem właściwym dla danego siedliska (Zasady hodowli lasu, 2012). Bardzo trudne jest, zarówno dostrzeżenie negatywnych zmian w części wierzchołkowej drzew w gęstym i wysokim młodniku, jak i obserwacja stopnia zamierania młodych drzew na powierzchni uprawy starszej.

Szacowanie zdrowotności drzew w obu fazach rozwojowych dokonano na podstawie wizualnej oceny zdjęć. Zastosowano zdjęcia ukośne (kąąt 45°) i pionowe. Wykonano kalibrację zdjęć, a następnie pomiar powstałych luk. W przypadku uprawy starszej (siedlisko: Bśw wiek 8 lat, pow. 1,9 ha) wykazano łącznie 650 m² wolnej przestrzeni, którą należy uzupełnić, aby zachować pożądane zwarcie drzewostanu. Wykryto również 21 drzew wykazujących objawy chorobowe lub martwych. W celu ułatwienia interpretacji obrazów zastosowano kompozycję barwną. Właściwy efekt badania uzyskano po zwiększeniu odchylenia standardowego w histogramie RGB. W młodniku (siedlisko: BMśw, wiek 16 lat, pow. 3,7 ha) wykryto kilka luk o powierzchni 10-15 m². W pozostawionym na powierzchni nasienniku wykryto także 5 martwych drzew oraz 2 osobniki z przebarwieniami aparatu asymilacyjnego. Przeprowadzono wizualną ocenę występowania na zdjęciach jasnych pędów. O bardzo dobrej kondycji młodnika świadczy intensywny przyrost tegorocznych (2013 r.) pędów wierzchołkowych i bocznych.

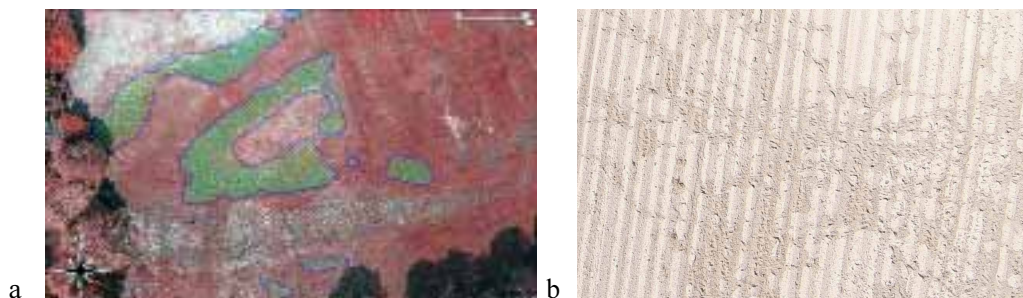
Pomiar powierzchni uszkodzonej przez zwierzynę łowną

Wzrastające zagęszczenie zwierząt, a także działania ochronne prowadzone przez leśników (np. gradzenie upraw leśnych), jak również coraz atrakcyjniejsze uprawy rolne powodują wyjście zwierząt z lasu, w celu poszukiwań pożywienia. Znaczenie ma tu również wielkość okolicznych kompleksów leśnych i ukształtowanie granicy polno-leśnej (Flis, 2011). Ustawa Prawo łowieckie (Ustawa, 1995) określa możliwość ubiegania się o odszkodowanie za szkody wyrządzone przez zwierzynę łowną. W takich wypadkach dokonuje się szacowania szkód łowieckich. Powierzchnia upraw uszkodzonych przez zwierzynę łowną jest stonkowo trudna do pomiaru z poziomu naziemnego. Powodem jest bardzo nieregularny kształt jaki pozostaje po żerowaniu zwierzyny. W tradycyjny sposób ocenę uszkodzonych powierzchni wykonuje się przez utworzenie wokół nich prostych figur geometrycznych, pomiar tych figur i obliczenie ich powierzchni. Pomiary wykonuje się za pomocą taśm, tyczek o znanej długości lub GPS z funkcją pomiaru powierzchni.

W prezentowanej pracy wykorzystano BSP do wykonania zdjęć pionowych nad uszkodzonymi powierzchniami, a następnie skalibrowano je w programie Quantum GIS. W celu lepszej interpretacji zastosowano kompozycję barwną. Do kalibracji wykorzystano naziemne fotopunkty oraz ortofotomapę Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii. Uszkodzenia na polu oznaczono i określono ich powierzchnie, następnie porównano z wynikami oceny metodą tradycyjną (tab. 3). Wyniki znacznie różniły się od siebie ze względu na trudności pomiaru nieregularnych figur w sposób tradycyjny, a także braku możliwości dostrzeżenia obiektów w wysokiej trawie pastwiskowej. Zdjęcie lotnicze z BSP ukazało wszystkie miejsca, gdzie żerowała zwierzyna (rys. 6a), a także trasy jej wędrówek (rys. 6b). Pomimo bliskiego sąsiedztwa z dużymi kompleksami leśnymi, uprawy w żaden sposób nie były zabezpieczone przed zwierzyną. Wszystkie szkody na polach uprawnych wyrządziły dziki (*Sus scrofa* L.).

Tabela 3. Porównanie wyników pomiarów pól powierzchni dwoma metodami

Numer powierzchni	Pomiar na zdjęciu lotniczym z BSP	Pomiar metodą tradycyjną
	[m ²]	
1.	417,4	250,5
2.	168,4	91,5
3.	332,1	210,4
4.	1465,1	865,0
5.	396,0	315,0
6.	336,8	78,0
7.	1451,7	872,6



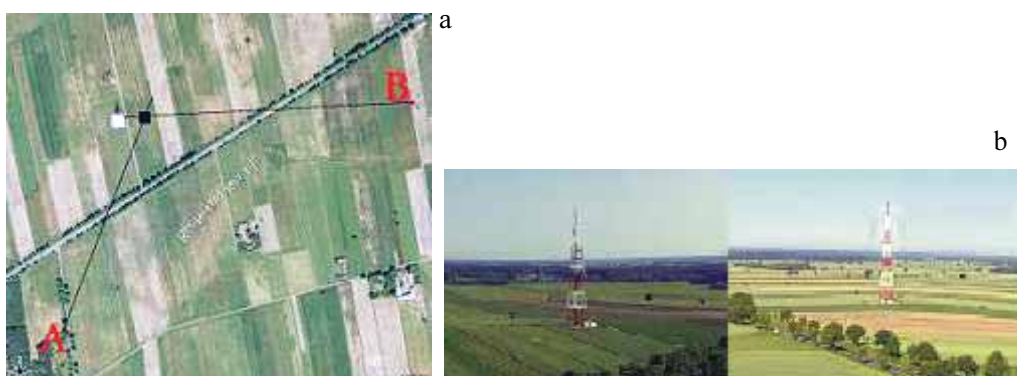
Rysunek 6: a – powierzchnia uszkodzona nr 1 w kompozycji barwnej – po kalibracji;
b – fragment uprawy uszkodzonej nr 7, widoczne ślady przebywania dzików (*Sus scrofa* L.)
(fot. P. Szymański)

Lokalizacja pożarów w czasie rzeczywistym

Pożary powodują straty, zarówno materialne jak i ekologiczne. Aktualnie do wykrywania pożarów służą między innymi dostrzegalnie pożarowe budowane na naturalnych wzniesieniach. Rozróżnia się dwa typy dostrzegalni: 1) wymagającej obsługi (obserwatora na wieży), 2) telewizyjne z odpowiednią aparaturą i stacją naziemną do monitoringu. W celu zlokalizowania pożaru, należy znać współrzędne miejsca obserwacji oraz azymut zagrożenia, zarejestrowane z minimum dwóch punktów. Proste, wyprowadzone z miejsc obserwacji pod określonym azymutem, przecinają się w miejscu zagrożenia (rys. 7a). Dodatkową możliwością jest obserwacja terenów zagrożonych patrolami naziemnymi lub patrolami powietrznymi, na przykład samolotami rozpoznawczymi, rozpoznawczo-gaśniczymi lub śmigłowcami (Instrukcja, 2012).

Do lokalizowania pożarów można również wykorzystać BSP, które mogą działać w zbliżony sposób jak tradycyjne dostrzegalnie pożarowe. Koncepcja metody, zakłada wykorzystywanie jej podczas rutynowych patroli naziemnych wewnątrz dużych kompleksów leśnych, w których nie ma możliwości obserwacji horyzontu ponad drzewami. Znajduje ona zastosowanie nie tylko w Polsce, ale także przykładowo w Kanadzie, USA i Rosji. W omawianej metodzie, podczas wykrycia zagrożenia, najważniejszy jest czas dotarcia do kolejnego punktu pomiaru, przy czym czas przed otrzymaniem informacji o zagrożeniu nie może być wliczony do czasu pozyskania danych lokalizacyjnych.

W celu przeprowadzenia badań założono, że wieża telekomunikacyjna będzie symulowała pionowo wznoszący się dym. Wykonano pomiary trzech symulowanych pożarów. Rysunek 7 przedstawia pożar nr 1. Startując wielowirnikowcem w punkcie A, o znanych współrzędnych geograficznych, określano azymut symulowanego zagrożenia, następnie pojazdem mechanicznym przemieszczano się do punktu B, pozyskując te same dane (rys. 7b). Obserwacja miejsca zagrożenia była możliwa dzięki zdalnemu przesyłaniu obrazu na ekran pilota BSP. Na komputerze z połączeniem internetowym, wprowadzono do programu Quantum GIS uzyskane dane (rys. 7a). Porównując wyniki trzech symulowanych pożarów (tab. 4) stwierdzono, że: 1) na uzyskanie współrzędnych zagrożenia pożarowego potrzeba było od 7 do 15 minut, 2) maksymalny błąd pomiaru nie przekroczył 70 m, 3) czas uzyskania wyniku zależał w głównej mierze od odległości z punktu A do punktu B.



Rysunek 7. Symulowany pożar nr 1: a – lokalizacja pożaru, wyznaczone położenie zagrożenia – kolor czarny, rzeczywisty punkt zagrożenia – kolor biały (podkład: www.geoportal.gov.pl); b – widok wieży symulującej pożar (od lewej) z punktów A i B (fot. P. Szymański)

Tabela 4. Wyniki lokalizacji pożarów w czasie rzeczywistym

Numer symulowanego pożaru	1		2		3	
	A	B	A	B	A	B
Współrzędne geograficzne miejsca pomiaru	N52° 52' 15.0" E 21° 20' 59.4"	N52° 52' 32.0" E 21° 21' 45.4"	N52° 49' 04.6" E 21° 11' 31.4"	N52° 48' 48.1" E 21° 11' 35.1"	N52° 41' 46.3" E 21° 05' 56.3"	N52° 41' 47.3" E 21° 06' 03.8"
Azymut [stopnie]	21	267	223	322	146	156
Odległość między punktami pomiarowymi w linii prostej [m]	1012,0		521,5		155,1	
Odczytane współrzędne geograficzne miejsca symulowanego zagrożenia	N 52° 52' 31.7" E 21° 21' 10.6"		N52° 48' 59.1" E 21° 11' 22.3"		N52° 41' 23.1" E 21° 06' 20.7"	
Odległość między odczytanym, symulowanym miejscem pożaru a punktami w linii prostej [m]	555,3	647,8	248,7	422,3	854,6	818,4
Rzeczywiste współrzędne geograficzne symulowanego miejsca zagrożenia	N 52° 52' 31.3" E 21° 21' 07.5"		N 52°48' 57.7" E 21° 11' 19.2"		N 52° 41' 21.4" E 21° 06' 21.5"	
Odległość między rzeczywistym, symulowanym miejscem pożaru a punktami w linii prostej [m]	525,2	715,5	317,2	425,9	910,1	874,4
Błąd pomiaru (odległość między miejscem odczytanym a rzeczywistym) [m]	66,5		68,8		55,4	
Czas otrzymania informacji o współrzędnych symulowanego miejsca zagrożenia [min.]	15		14		7	

Podsumowanie

Polskie regulacje prawne dopuszczają do użytku BSP na określonych zasadach. Jeżeli wykonuje się loty inne niż rekreacyjne i sportowe, niezbędne jest posiadanie świadectwa kwalifikacji, wydanego zgodnie z art. 95 ust. 2 pkt. 5a ustawy Prawo lotnicze (Ustawa, 2002). Przy korzystaniu z tego typu narzędzi, trzeba bezwzględnie pamiętać o bezpieczeństwie dla wszystkich użytkowników przestrzeni powietrznej, jak i osób znajdujących się na ziemi. Konieczne jest zachowanie odpowiedniej separacji BSP od innych użytkowników ruchu powietrznego, z bezwzględną zasadą polegającą na ustępowaniu pierwszeństwa lotnictwu załogowemu (Ustawa, 2002).

Spełniając powyższe uwarunkowania prawne, z powodzeniem można zastosować BSP do oceny żywotności pomników przyrody, jednocześnie zachowując cenne zobrazowania jako archiwum dokumentacyjne, mogące wzbogacić aspekt dziedzictwa kulturowego. Na przykładzie zdjęć pionowych dokonano oceny defoliacji w drzewostanie nasiennym, jak również oceniono kondycję zdrowotną uprawy starszej oraz młodnika. Szacowanie szkód na uprawach, spowodowane aktywnością zwierzyny, dzięki BSP staje się szybsze, z jednoczesną poprawą wiarygodności wyników. Wykorzystując mobilność urządzenia latającego, przekaz obrazu na żywo oraz mobilne narzędzia, takie jak laptop wraz z oprogramowaniem Quantum GIS, można określić przybliżone współrzędne obiektów pionowych. W badaniach skupiono się na lokalizowaniu zagrożenia pożarowego w czasie rzeczywistym, gdzie symulowanym dymem były wieże telekomunikacyjne. Błąd odległości od rzeczywistego obiektu wynosił od 55 do 70 metrów, zaś wynik otrzymywano w czasie od 7 do 15 minut, co zależało od odległości między punktami pomiarowymi.

Jak można zaobserwować, bezzałogowe statki powietrzne to bardzo użyteczne narzędzie, służące nie tylko do obserwacji środowiska. Wszystkie BSP, dzięki mobilności, niskim kosztom użytkowania (w stosunku do lotnictwa załogowego), mogą stać się powszechnie stosowanymi urządzeniami do monitorowania środowiska, a także do realizacji specjalistycznych zadań fotogrametrycznych i teledetekcyjnych. Skalibrowane zdjęcia z BSP, mogą posłużyć jako materiał do obliczania powierzchni podtopionych lasów, miejsc pokłeskowych, kęp odnowieniowych, zrębów, itp. Przekaz obrazu na żywo, umożliwia zarówno obserwację bieżącego stanu powodziowego, jak i sytuacji niebezpiecznych, takich jak: pożary w ośrodkach przemysłowych, poszukiwanie zaginionych osób, akcje ratunkowe na morzu, monitoring terenów o skażeniu biologicznym, radioaktywnym, jak również obserwację tajnych terenów o znaczeniu militarnym podczas działań wojskowych lub antyterrorystycznych. Powyższa lista nie wyczerpuje wszystkich możliwości zastosowania bezzałogowych statków powietrznych. Jednak przy podejmowaniu decyzji o realizacji różnych zadań z wykorzystaniem BSP należy zawsze skalkulować koszty oraz uwzględnić ograniczenia ich stosowania, wynikające między innymi z: przepisów prawa, bezpieczeństwa dla osób i mienia, właściwości technicznych specjalistycznych BSP i warunków pogodowych.

Literatura

- Flis M., 2011: Szkody w uprawach rolnych. [W:] Kiryłow J. (red.), Matysek W., Wierzbieniec A., Łowicetwo. Tom II, Łowicetwo Polski, Warszawa: 73-78.
- Geoportal, 2013: www.geoportal.gov.pl
- Instrukcja ochrony przeciwpożarowej lasu, 2012: Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Pacyniak C., 1992: Najstarsze drzewa w Polsce. Wydawnictwo PTTK „Kraj”, Warszawa.
- Przywara J., 2012: Inwazja dronów. *Magazyn Geoinformacyjny Geodeta* 10: 10-15.
- Szymański P., 2013: Zastosowanie bezzałogowych statków latających w ochronie przyrody i leśnictwie. Praca magisterska. Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa SGGW, Warszawa.

- Szymański S., 2001: Ekologiczne podstawy hodowli Lasu. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Ustawa o ochronie przyrody z dnia 16 kwietnia 2004 r. Dz.U. 2004 nr 92, poz. 880.
- Ustawa z dnia 13 października 1995 r. Prawo łowieckie. Dz.U. 2012 poz. 1281 (tekst jednolity).
- Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze Dz.U. 2013 poz. 1393 (tekst jednolity).
- Ważnyński B., 2005: Poradnik zarządzania lasu. Oficyna Edytorska Wydawnictwo Świat, Warszawa: 231-237.
- Więcko E., 1996: Słownik encyklopedyczny leśnictwa, drzewnictwa, ochrony środowiska, łowiectwa oraz dziedzin pokrewnych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Zasady hodowli lasu, 2012: Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Zmarz A., Będkowski K., Miścicki S., Plutecki W., 2012: Ocena stanu zdrowotnego świerka na podstawie analizy zdjęć wielospektralnych wykonanych fotograficznymi aparatami cyfrowymi przenoszonymi przez bezzałogowy statek latający. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 23: 541-550.

Streszczenie

W pracy przedstawiono koncepcję wykorzystania zdjęć wykonywanych z pokładu bezzałogowego statku powietrznego (BSP) do realizacji różnych zadań z zakresu ochrony przyrody i leśnictwa. Zastosowano BSP, który jest platformą czterowirnikową, napędzaną elektrycznie. Sterowanie odbywa się ręcznie, za pośrednictwem aparatury RC (Radio Control). Urządzenie wyposażone jest w trzyosiowy żyroskop, akcelerometr, kompas, ciśnieniomierz GPS oraz awaryjnego autopilota. Wszystkie moduły sterujące dają dużą stabilność w powietrzu oraz częściową odporność na działanie wiatru do 7 m/s. Badania oraz testy zostały przeprowadzone na hali sportowej oraz na zewnątrz podczas bezwietrznej i słonecznej pogodzie. Do badań wykorzystano amatorską kamerę niemetryczną, która była sterowana zdalnie. Celem badań było przedstawienie przydatności BSP jako narzędzia do zbierania informacji w zakresie leśnictwa i ochrony przyrody. Skoncentrowano się na kilku praktycznych zastosowaniach np.: do oceny żywotności pomników przyrody oraz oceny defoliacji w sosnowym drzewostanie nasiennym. Kolejnym aspektem była ocena stanu zdrowotnego uprawy starszej oraz młodnika, gdzie weryfikowano prawidłowy rozwój młodego drzewostanu. Następnym aspektem była ocena powierzchni uszkodzonej przez zwierzynę łowną, gdzie porównano nową metodę z pomiarami tradycyjnymi stosowanymi przez Polski Związek Łowiecki. Dodatkowo przedstawiono koncepcję systemu lokalizacji pożaru w czasie rzeczywistym, który może być zastosowany np. w dużych kompleksach leśnych. Wszystkie badania przyniosły wymierne i pozytywne efekty pracy.

Abstract

*The paper presents a concept for photos taken from unmanned aerial vehicles (UAV) to carry out various tasks in the field of nature conservation and forestry. The machine used was a quadcopter platform with electric motors. UAV control is performed manually by means of RC (Radio Control). The device is equipped with a three-axis gyroscope, accelerometer, compass, GPS, pressure gauge and emergency autopilot. All the control modules provide a high stability in air and partial resistance to the wind (to 7 m/s). The tests were carried out in a sports hall and outside during calm and sunny weather. For the study a remotely controlled non-metric amateur camera was used. The aim of this study was to present applications of UAV as the optimal system for forestry and assessing environment protection. Practical applications tested included viability of natural monuments, assessment the damaged area by game, assessment of defoliation of pine (*Pinus sylvestris* L.) seed stand. Another aspect was the health status assessment of old and young forest. A new method to calculate area damaged by game was proposed as compared to the traditional one used by the Polish Hunting Association. In addition, a system for fire location in real time was presented. All studies brought measurable and positive effects.*

mgr inż. Paweł Szymański
szymanski.gps@gmail.com
p.szymanski@wl.sggw.pl
www.geobsl.pl