

Paweł Pastuszka, Paweł Sawicki

*Nadleśnictwo Świdwin, adresy e-mail: pawel.pastuszka@szczecinek.lasy.gov.pl,
pawel.sawicki@szczecinek.lasy.gov.pl*

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH W NADLEŚNICTWIE ŚWIDWIN

POSSIBILITIES OF USING UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE ŚWIDWIN FOREST DISTRICT

Słowa kluczowe: bezzałogowy statek powietrzny, teledetekcja, fotogrametria, ortofotomapa, dron, leśnictwo, geomatyka, GPS

Key words: unmanned aerial vehicle, remote sensing, photogrammetry, orthophotomap, drone, forestry, geomatics, GPS

Abstract. One of the fastest developing scientific disciplines in forestry are geomatics and remote sensing. The use of unmanned aerial vehicles deserves a mention. On the example of the Świdwin Forest District the possibilities of using drones in forestry were presented. Unmanned aerial vehicles are mainly used for fire protection, creation of orthophotomaps, checking the health status of stands, monitoring spruce forests and the promotion of state forests.

WSTĘP

Bezzałogowe statki powietrzne stosowane są obecnie w wielu dziedzinach gospodarki. Choć pierwsze bezzałogowce były wykorzystywane do celów wojskowych już podczas I wojny światowej, jest to wciąż dynamicznie rozwijająca się technologia. Za sprawą postępującej miniaturyzacji elektronicznej, możliwości wykorzystania coraz lżejszych komponentów oraz coraz bardziej precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego bezzałogowce obecnie wykorzystywane są nie tylko do celów militarnych. UAV (Unmanned Aerial Vehicle) obecnie wykorzystywane są w takich dziedzinach jak: media i rozrywka, transport, infrastruktura przemysłowa, meteorologia, archeologia, rolnictwo, leśnictwo i wiele innych. Możliwości zastosowania bezzałogowych statków powietrznych zwiększają stale ulepszane konstrukcje dronów, ich odporność na zjawiska atmosferyczne, a także coraz większy zasięg. Drony mają wiele możliwych zastosowań w gospodarce leśnej. Pomiary dronem umożliwiają określenie skali rozmaitych zjawisk oraz analizę ich występowania na całym obszarze, bez konieczności nadmiernego angażowania kadry pracowniczej w trakcie przeprowadzania oceny pożarowej

czy pohuraganowej. Technologia i podzespoły bezzałogowych statków powietrznych doskonale sprawdzają się przy tego typu zadaniach, łącząc je z pomiarem skali ewentualnych zniszczeń.

BEZZAŁOGOWE STATKI POWIETRZNE

Istnieją różne definicje bezzałogowców. Zgodnie z definicją Departamentu Obrony USA bezzałogowy statek powietrzny (UAS) to „*napędzany obiekt powietrzny, który nie przenosi operatora, używa sił aerodynamicznych, aby zapewnić pojazdowi nośność. Pilotowany jest zdalnie przez operatora lub odbywa loty autonomiczne z użyciem autopilota lub innego systemu na pokładzie*” [Cwojdziański 2013]. Z kolei w literaturze bezzałogowy aparat latający (*unmanned aerial vehicle*, UAV) definiowany jest jako „*urządzenie służące do latania w przestrzeni powietrznej w sytuacji, gdy nie ma pilota na pokładzie*” [Thompson 2013].

Bezzałogowe statki powietrzne nie są jeszcze powszechnie stosowane w jednostkach organizacyjnych Lasów Państwowych. Dotychczas nie określono wymagań co do obowiązku stosowania tego typu rozwiązań. Nie ma również żadnych wymagań co do obowiązku stosowania tego typu rozwiązań, co odnosi się do pracy nadleśnictw jak również przy sporządzaniu planów urządzenia lasu. Dzięki coraz większej dostępności drony zyskują na popularności w jednostkach Lasów Państwowych. Bezzałogowce nie są wykorzystywane w sposób planowy i usystematyzowany. Zakup drona lub zamówienie tego typu usługi to indywidualne decyzje kierowników jednostek.

KLASYFIKACJA BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH

Na potrzeby tego opracowania przyjęto podział UAV zaproponowany przez [Salami i in. 2014] i przedstawiony w (tab.1.)

Tab. 1. Klasyfikacja bezzałogowych statków powietrznych

Kategoria	Podkategoria
A-Szata roślinna	Lasy Uprawy rolne
B-Źródło	Pasywne Aktywne Reaktywne
C-Przetwarzanie	Wskaźniki wegetacji Klasyfikacja obiektów Rekonstrukcja 3D
D-Osprzęt	Laser Kamera spektralna Termowizja Analiza chemiczna
E-Platforma	Stałopłat Kopter Bez zasilania

Źródło: Opracowanie własne.

Kategoria A-Szata roślinna wskazuje na użycie dronów w uprawach rolnych lub drzewostanach. Przedmiotem tego referatu są możliwości wykorzystania tych urządzeń w środowisku leśnym. Należy zaznaczyć, że wysoka roślinność drzewiasta ogranicza możliwości startu i lądowania maszyn, a także wymusza lot na określonej minimalnej wysokości. W kompleksach leśnych ograniczony jest również kontakt wzrokowy między operatorem a urządzeniem. Ponadto warstwa koron drzew ogranicza dostęp do wnętrza drzewostanu.

Kategoria B-Źródło wskazuje na wykorzystane źródło promieniowania. Pasywne techniki wykorzystują promieniowanie słoneczne lub promieniowanie emitowane przez inne obiekty. Źródła aktywne wykorzystują własne promieniowanie, a reaktywne służą do badania właściwości fizycznych bądź chemicznych ośrodka w jakim urządzenie aktualnie się znajduje. W warunkach ekosystemów leśnych zastosowanie mają głównie dwie pierwsze podkategorie. Źródła pasywne pozwalają rejestrować nie tylko obrazy w barwach widzialnych, ale wykorzystuje się zjawisko odbicia i pochłaniania promieniowania przez rośliny. Wielkości odbicia i pochłaniania zależą od barwników zawartych w zielonych częściach roślin, struktury komórkowej, zawartości wody w częściach roślin [Geomatyka 2010]. Źródłem aktywnym jest wykorzystanie techniki lidarowej (LiDAR-Light Detection And Ranging) polegającej na wysyłaniu przez urządzenie wiązki laserowej, która ulega odbiciu i rozproszeniu a następnie rejestrowaniu i analizowaniu.

Przetwarzanie pozyskanych danych (kategoria C-Przetwarzanie) poprzez zastosowanie odpowiednich algorytmów pozwala otrzymać różne podkategorie informacji. Indeksy wegetacji wskazują na rodzaj roślinności, stan zdrowotny i kondycję roślin. Poprzez segmentację obrazów barwnych można zautomatyzować rozpoznawanie i interpretację obiektów. W ten sposób klasyfikuje się pokrycie i użytkowanie terenu. Dane otrzymane z użyciem dronów pozwalają na generowanie obrazów trójwymiarowych przestrzeni (podkategoria Rekonstrukcja 3D).

Kategoria D-osprzęt wskazuje na rodzaj czujników użytych do rejestrowania informacji. Powszechnie stosowane są aparaty do rejestrowania obrazów w świetle widzialnym lub zobrazowań wielospektralnych. W użyciu są również kamery termowizyjne. Nowe możliwości w inwentaryzacji stanu lasu daje wykorzystanie urządzeń laserowych [Wallace i in. 2012]. W przeglądzie literatury nie znaleziono praktycznych przykładów użycia analiz chemicznych z wykorzystaniem dronów w środowisku leśnym.

Kategoria E-platforma wskazuje na rodzaj platformy-konstrukcji nośnej. Wybór właściwej platformy sprzętowej stanowi istotną kwestię przy prowadzeniu badań w warunkach leśnych. Biorąc pod uwagę podział bezzałogowców, przedstawiony przez Andersona i Gaszona, można wykluczyć z praktycznego zastosowania w lasach aparatów w klasie large i medium (bardzo wysokie koszty, konieczność obsługi przez wysoko wykwalifikowany personel). Poznane przykłady użytkowania dotyczą klas small, mini, makro i nano, czyli aparatów

o masie nieprzekraczającej 30 kg, zasięg do 10 km (w zasięgu wzroku operatora), długość lotu do 2 godzin, pułap do 1 000 m. Bardziej praktycznym rozwiązaniem są platformy pionowego startu i lądowania (koptery), choć wykorzystywane też były stałopłaty.

GEOMATYKA W LEŚNICTWIE

Lasy są obecnie postrzegane już nie jako odizolowane i samoistne ekosystemy, lecz jako część większej, jednolitej całości -krajobrazu ekologicznego i kulturowego. Wobec leśnictwa w ostatnim czasie zgłasza się wiele nowych potrzeb i oczekiwań, z których najważniejszym i fundamentalnym zarazem, jest postulat zapewnienia podstaw trwałego i zrównoważonego funkcjonowania lasów. Podstawowym założeniem poprawności procesu decyzyjnego jest pełne rozpoznanie i analiza warunków przyrodniczych. Sprostanie tym zadaniom, przy zastosowaniu tradycyjnie stosowanych w leśnictwie naziemnych metod pozyskiwania i korzystania z danych przestrzennych, wydaje się niemożliwe do zrealizowania. *Nauka o istocie, charakterze i funkcjach geoinformacji, czyli informacji o przestrzennie zlokalizowanych obiektach, jak też i sposobach oraz środkach technicznych zbierania, przechowywania i udostępniania tej informacji, definiowana jest najczęściej jako geomatyka* [Olenderek 1999].

Według Oxford English Dictionary Online *geomatyka jest matematyką Ziemi, tj. nauką o pozyskiwaniu, analizie i interpretacji danych, zwłaszcza pomiarowych, które odnoszą się do powierzchni Ziemi. Geomatyka jest bezpośrednio powiązana z geodezją i kartografią. Geomatykę należy odróżniać od geoinformatyki* [<http://www.ptip.org.pl> [dostęp 20.12.2017]]. W ramach geomatyki zwykle wyróżnia się działy merytoryczne, zwane technologiami informacji przestrzennej lub technologiami geomatyki: systemy globalnego wyznaczania pozycji; istotnie przetransformowaną, stosownie do używanych środków technicznych, geodezję i kartografię; teledetekcję z fotogrametrią; numeryczny model rzeźby terenu oraz systemy informacji przestrzennej. Efektywność technologii geomatyki jest niewspółmiernie wyższa od tradycyjnych metod inwentaryzacji i przetwarzania danych przestrzennych [Okła 2013].

Geomatyka jest coraz częściej stosowana w Lasach Państwowych. Rozwój technologii geomatycznych jest bardzo szybki. Nieodzowną częścią gospodarki leśnej w ostatnim czasie stała się Leśna Mapa Numeryczna, która rozumiana jest jako *mapa numeryczna wykonana zgodnie ze standardem przyjętym w Lasach Państwowych* [Okła 2013].

Leśna mapa numeryczna, jako element systemu informacji przestrzennej Lasów Państwowych, wprowadza całkiem nową jakość w sposobie obrazowania zasobów leśnych. Po wydrukowaniu ma wszystkie zalety tradycyjnych map. Pozwala również na wierne przechowywanie danych, z zachowaniem precyzyjności pomiarów; wykonywanie różnorodnych opracowań tematycznych;

przedstawianie różnorodnych danych, nabranych z opisowej bazy danych; wykonywanie różnego rodzaju analiz; samoczynne wyliczenie długości odcinków i powierzchni wieloboków oraz odległości pomiędzy dowolnymi punktami. Poza przytoczonymi powyżej zaletami mapa numeryczna ma także cechę, którą z trudem przecenić. Dysponując stosownym narzędziem edycyjnym, możemy poddać ją procesowi aktualizacji. Ta właściwość map numerycznych w największym stopniu decyduje o zdatności systemów informacji przestrzennej jako narzędzia wspomagającego prowadzenie nowoczesnej gospodarki leśnej [<http://www.geomatyka.lasy.gov.pl/definicja-lmn>, [dostęp 04.04.2018]].

Kolejnym działem geomatyki jest Numeryczny Model Terenu, który definiuje się jako zbiór stosownie wybranych punktów powierzchni o określonych współrzędnych X , Y , Z oraz algorytmów interpolacyjnych umożliwiających odtworzenie jej formy na pewnym obszarze. Metody zapisu modeli: nieregularna siatka trójkątów, sieć regularna (z reguły kwadratów) i model hybrydowy NMT (najlepsze rozwiązanie). Fundamentalne zadanie NMT polega na określaniu trzeciej współrzędnej wysokościowej (Z) punktu, którego współrzędne płaskie (X, Y) są wiadome [Okła 2013].

Fotogrametria i teledetekcja to dziedziny zajmujące się określaniem położenia, wymiarów i kształtu obiektów oraz wykrywaniem, rozpoznawaniem i charakterystyką obiektów, zjawisk i procesów na podstawie rejestracji promieniowania elektromagnetycznego odbitego lub emitowanego przez różnego rodzaju obiekty środowiskowe. **Fotogrametrię** należy wiązać z takimi zadaniami, jak odtwarzanie kształtów, rozmiarów i wzajemnej lokalizacji obiektów w terenie, zatem obejmuje metody pomiaru obszaru i/lub obiektów przestrzennych na podstawie ich zdjęć oraz uzyskiwanie dla tych obiektów współrzędnych (x, y). Pracując na modelu stereoskopowym bądź na danych z lotniczego skanowania laserowego, można pozyskać współrzędną wysokościową (z). **Teledetekcja** natomiast ukierunkowana jest na zdalne pozyskanie, przetwarzanie oraz interpretowanie wiadomości jakościowych o obiektach, procesach i zjawiskach na powierzchni Ziemi.

W leśnictwie powyższe dwie dziedziny geomatyki (fotogrametria i teledetekcja) przenikają się, ponieważ z jednej strony interesuje nas geometria obiektów, zaś z drugiej - treść zdjęcia i jego interpretacja.

Teledetekcja to technologia zajmująca się interpretacją i przetwarzaniem informacji jakościowych o obiektach, procesach i zjawiskach zachodzących na powierzchni Ziemi na podstawie rejestracji promieniowania elektromagnetycznego. Analiza teledetekcyjna polega na przetwarzaniu obrazu oraz jego klasyfikacji cyfrowej lub interpretacji wizualnej.

Ortofotomapa jest produktem fotogrametrycznym trwale wykorzystywanym w leśnictwie. Przetworzone zdjęcia do postaci ortofotomapy mają jednolitą skalę na całej powierzchni opracowania, natomiast obiekty terenowe przedstawione są we własnym rzeczywistym położeniu. Cyfrowa ortofotomapa to zdjęcie kartometryczne, które posiada powiązanie z określonym układem współrzędnych,

zatem może stanowić jedną z warstw systemu informacji przestrzennej oraz być analizowane w powiązaniu z innymi warstwami (np. warstwami LMN) [<http://www.geomatyka.lasy.gov.pl/definicja-lmn>, [dostęp 04.04.2018]].

Następnym działem geomatyki jest GPS – właściwie GPS-NAVSTAR, czyli technika pomiaru współrzędnych. Departament Obrony Stanów Zjednoczonych w 1972 r. stworzył pierwszy satelitarny system globalnego wyznaczania pozycji. Segment satelitarny składający się z konstelacji 21 satelitów uzupełnionych o 3 zapasowe stanowi trzon systemu. Są równomiernie rozkwaterowane na 6 orbitach kołowych nachylonych pod kątem 55° w stosunku do płaszczyzny równika oraz na wysokości około 20 200 km nad Ziemią. Obieg satelity trwa prawie 12 h, natomiast ich ustawienie po 4 na każdej orbicie zapewnia, że zdecydowana większość eksplloatatorów systemu ma zagwarantowany dostęp do sygnału z minimum 5 satelitów w dowolnym miejscu na Ziemi z prawdopodobieństwem 0,9996. W praktyce dostępność satelitów GPS Navstar jest większa. Możliwość operacyjna satelitów jest na bieżąco monitorowana przez naziemny segment kontrolny. Jego podstawowym zadaniem jest aktualizacja (nawet w częstotliwości kilka razy dziennie) depeszy satelitarnej. Odbiornik satelitarnych sygnałów, po zdekodowaniu wszelkich danych zawartych w nośnych falach od każdego z osiągalnych satelitów w tej samej chwili, a potem stworzeniu stosownych przeliczeń matematycznych daje możliwość określenia bieżącej lokalizacji [Okła 2013].

Rosyjskim odpowiednikiem amerykańskiego systemu GPS jest GLONASS, czyli Global Navigation Satellite System lub z rosyjskiego Globalnaja Nawigacjonnaja Satelitarnaja Sistemma. W 1993r. system składał się z 12 satelitów, dwa lata później ich liczba się podwoiła. Od 1999r. GLONASS jest dostępny dla odbiorców wojskowych. Działanie systemu rosyjskiego jest bardzo porównywalne do swego odpowiednika. System NAVSTAR działa w oparciu o układ WGS-84, rosyjski GLONASS używa PZ 90. Odróżnialny jest też wzorzec czasu, ponieważ GPS stosuje uniwersalny czas UTC, natomiast GLONASS stosuje rosyjski państwowy wzorzec czasu Etalon UTC. Satelity rosyjskie nadają w oparciu o technikę FDMA, amerykańskie CDMA. Aktualnie na 3 orbitach umieszczonych jest 28 satelitów. 23 z nich znajdują się w fazie operacyjnej. Kąt orbit równa się $64,8^\circ$, co umożliwi lepsze pokrycie satelitami wyższych szerokości geograficznych niż w przypadku systemu GPS [www.gisplay.pl, dostęp 02.04.2018].

POŁOŻENIE I WARUNKI PRZYRODNICZE NADLEŚNICTWA ŚWIDWIN

Nadleśnictwo Świdwin wchodzi w skład Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Szczecinku. Sąsiaduje z 7 nadleśnictwami (Białogard, Gościno, Połczyn, Czaplonek, Złocieniec Resko, Łobez). Granice Nadleśnictwa w większości obszarów są wyraźne i bezsporne.

Zgodnie z przyjętą regionalizacją przyrodniczo-leśną lasy Nadleśnictwa Świdwin położone są w I Krainie-Bałtyckiej, w dzielnicach: 4 - Pobrzeża Słowińskiego i 5 - Pojezierza Drawsko - Kaszubskiego. Cały obszar Nadleśnictwa obejmuje obszary ukształtowane przez zlodowacenia bałtyckie - głównie stadiał pomorski, który pozostawił po sobie stosunkowo żyzne gleby-gliny i piaski zwałowe moreny dennej, a także gleby rzecznych tarasów akumulacyjnych. Lasy Nadleśnictwa to liczne kompleksy rozlokowane wśród morenowego krajobrazu Pojezierza Pomorskiego, przy czym ich większość -68%- skupiona jest w czterech dużych kompleksach o powierzchni powyżej 2 tys. ha.

Powierzchnia ogólna gruntów Nadleśnictwa Świdwin według stanu na 01.01.2019r. wynosi 24.776,52 ha. Spośród tych gruntów 23.117,78 ha to grunty leśne zalesione i niezalesione (zręby, halizny i sukcesja naturalna, poletka łowieckie na gruntach leśnych). Grunty zalesione zajmują powierzchnię 22.949,47 ha. W skład nadleśnictwa wchodzi trzy obręby leśne: Klęcko, Podwilcze oraz Świdwin. Administracyjnie Nadleśnictwo dzieli się na 17 leśnictw i gospodarstwo szkółkarskie Kartlewo.

Tab. 2. Powierzchnia gruntów leśnych w poszczególnych obrębach Nadleśnictwa Świdwin wg stanu na 01.01.2019r.

Obręb	Powierzchnia wg opisów taksacyjnych [ha]
Podwilcze	5767,89
Świdwin	9299,07
Klęcko	8703,68

Źródło: Opracowanie własne.

ZASTOSOWANIE BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH W GOSPODARCE LEŚNEJ

Do technologii bezzałogowych statków powietrznych aktualnie ma dostęp niemal każdy. Osiągalność jest zależna od stopnia skomplikowania, zasięgu i wyposażenia drona. Możliwości zastosowania bezzałogowych statków powietrznych zwiększają stale ulepszane konstrukcje dronów a także ich odporność na zjawiska atmosferyczne, bardziej precyzyjne sterowanie, a także coraz większy zasięg. Drony mają wiele możliwych zastosowań w gospodarce leśnej.

TWORZENIE ORTOFOTOMAP

Podstawowym zastosowaniem drona w Nadleśnictwie Świdwin jest pomiar powierzchni zrębowych przy użyciu zdjęć lotniczych.

W roku 2018 zostało przeprowadzone doświadczenie, które polegało na analizie pomiarów powierzchni zrębowych przy wykorzystaniu czterech urządzeń mierniczych. Pomiary zostały wykonane na terenie Nadleśnictwa Świdwin, na czterech powierzchniach zrębowych (trzy rębnie IB, oraz jedna IIIA). Dwie z nich znajdują się na terenie leśnictwa Zagrody: 25c-02, 96j-99; jedna leśnictwo Lekowo 189c i ostatnia leśnictwo Rusinowo 232b. W miesiącach kwiecień-maj zostały pomierzone wyżej wymienione powierzchnie zrębowe o różnych wielkościach: rębnie IIIA (powierzchnie małe w otoczeniu drzewostanu) oraz rębni IB (powierzchnie duże bez drzewostanu). Punkty miernicze były jednakowe dla każdego z urządzeń, oznaczone arkuszami w formacie A3 z czarnym krzyżem (fot.1), przytwierdzone na czas pomiarów do gruntu. Przy pomiarach GPS zastosowano metodę uśrednienia 10 pomiarów (za wyjątkiem GRS). W przypadku drona była brana pod uwagę wysokość lotu, dokładność pixela, czas lotu, powierzchnia objęta lotem.



Ryc. 1. Punkt mierniczy
Źródło: Opracowanie własne.

Pierwszym urządzeniem wykorzystanym do pomiaru powierzchni zrębowych był bezzałogowy statek powietrzny zakupiony przez Nadleśnictwo Świdwin w roku 2017 (fot.2).



Ryc. 2. Bezzałogowy statek powietrzny Matrice 600
Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 3. Kamera Zenmuse X3 i Double 4K na platformie Matrice 600
Źródło: Opracowanie własne.

Kolejne urządzenie to Spectra z aplikacją mapową mLas Inżynier Lite 7 dedykowaną polskim pracownikom leśnym.

Oprogramowanie mLas Inżynier Lite pozwala na wykorzystanie zewnętrznego lub wewnętrznego odbiornika GPS (poprzez moduł Bluetooth), do wykonywania pomiarów terenowych lub wskazywania pozycji. Odbiornik GPS jest wbudowany, natomiast zewnętrzny przez Bluetooth. Dwa tryby pracy: wskazanie pozycji i śledzenie pozycji. Wykorzystanie danych GPS przy pomiarze.

Aplikacja mLas Inżynier Lite umożliwia wykonywanie precyzyjnych pomiarów w terenie, może do tego wykorzystać dalmierz laserowy (poprzez Bluetooth) oraz odbiornik GPS (wbudowany lub Bluetooth). Moduł pomiarowy daje możliwość wstawiania obiektów o zadanej powierzchni i kształcie. Pomiarów prócz tradycyjnych atrybutów mogą być udokumentowane filmami, zdjęciami oraz notatkami głosowymi. Dane pomiarowe mogą być eksportowane z urządzenia oraz importowane na urządzenie [www.taxusit.com.pl, [dostęp 24.05.2018].



Ryc. 4. Spectra z aplikacją mapową mLas Inżynier Lite 7

Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 5. Topcon GRS-1

Źródło: www.businesswire.com

Trzecim z kolei urządzeniem jest precyzyjny odbiornik Topcon GRS-1. Jest pierwszym na świecie zintegrowanym, ręcznym odbiornikiem L1+L2 GPS/GLONASS, który pracuje z sieciami referencyjnymi w trybie RTK. W jednej obudowie znajduje się nowoczesny odbiornik, kontroler z systemem operacyjnym Windows Mobile, kamera, czytnik kodów kreskowych i kompas. Dodatkowo odbiornik ma wbudowany modem GSM/GPRS, moduły komunikacji bezprzewodowej Bluetooth i Wi-Fi oraz gniazdo kart pamięci SD. Wykorzystując zintegrowaną antenę L1, odbiornik GRS-1 jest doskonałym narzędziem do pomiarów GIS. Chcąc rozpocząć prace geodezyjne w centymetrowym trybie RTK, wystarczy poszerzyć (opcja elektroniczna) odbiornik o drugą częstotliwość L2 oraz podłączyć zewnętrzną antenę PG-S1 GPS/GLONASS L1+L2. Odbiornik może być również rozbudowany o opcję GLONASS. Odbiornik współpracuje z geodezyjnym, polskojęzycznym oprogramowaniem MAGNET lub z aplikacją

Pocket 3D. Dla celów GIS stosuje się także oprogramowania na bazie ArcPad firmy ESRI. Odbiornik GRS-1 umożliwia pracę z sieciami referencyjnymi ASG-EUPOS oraz TPI NETpro w trybach DGPS, RTK i statycznym [http://www.tpi.com.pl, [dostęp 17.05.2018].

Tab. 3. Specyfikacja GRS-1

Odbiór sygnałów:
Liczba kanałów 226 (GPS + GLONASS + WAAS/EGNOS)
Częstotliwość pomiaru do 100 Hz
Dokładność:
STATIC H: ± 3 mm + 0.8 ppm V: ± 4 mm + 1.0 ppm
RTK H: ± 10 mm + 1.0 ppm V: ± 15 mm + 1.0 ppm
DGPS 0.3 m

Źródło: Opracowanie własne.

Czwartym urządzeniem wykorzystanym do pomiarów badawczych jest spectra z oprogramowaniem ASG-EUPOS KODGIS.

System ASG-EUPOS w trybie różnicowym DGNSS przy zastosowaniu odbiorników jednoczęstotliwościowych pozwala na uzyskanie podwyższonej dokładności pomiarów. Serwisy KODGIS i NAWGIS, zbliżone do siebie pod względem sposobu działania, przeznaczone są do mniej precyzyjnych wyznaczeń współrzędnych przy użyciu tańszych, kodowych odbiorników GNSS. Standardowy format RTCM zastosowany w serwisie KODGIS rozpoznawany jest przez wszystkie odbiorniki wyposażone w funkcję DGPS.

Wykorzystując dane korekcyjne serwisu KODGIS, można uzyskać powtarzalność wyznaczeń współrzędnych nie gorszą niż $\pm 0,25$ m w poziomie. Sprawia to, że wiele firm zajmujących się opracowaniami kartograficznymi i GIS będzie mogło wykorzystać ten serwis do wykonania niezbędnych pomiarów. Żeby system ASG-EUPOS zdołał wygenerować dane korekcyjne dla danego użytkownika o takiej dokładności wymagane jest przesłanie przybliżonej pozycji odbiornika w formacie NMEA GGA. Porównywalnie jak w przypadku RTK system generuje dane korekcyjne właściwe dla danego rejonu i wysyła je do odbiornika użytkownika w formacie RTCM. Rozbieżność polega na rodzaju danych zawartych w informacjach RTCM, które w przypadku serwisu KODGIS mieszczą jedynie obserwacje kodowe.

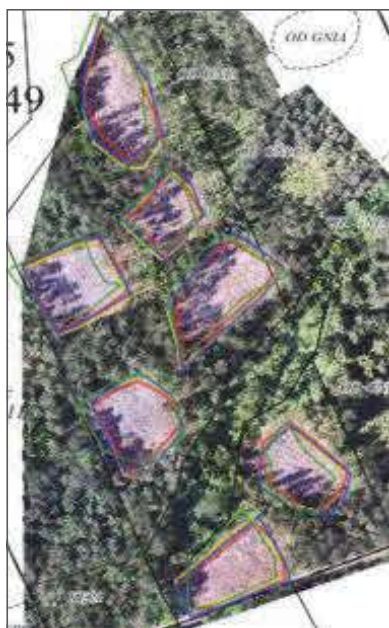


Ryc. 6. Spectra z oprogramowaniem ASG-EUPOS KODGIS
Źródło: Opracowanie własne.

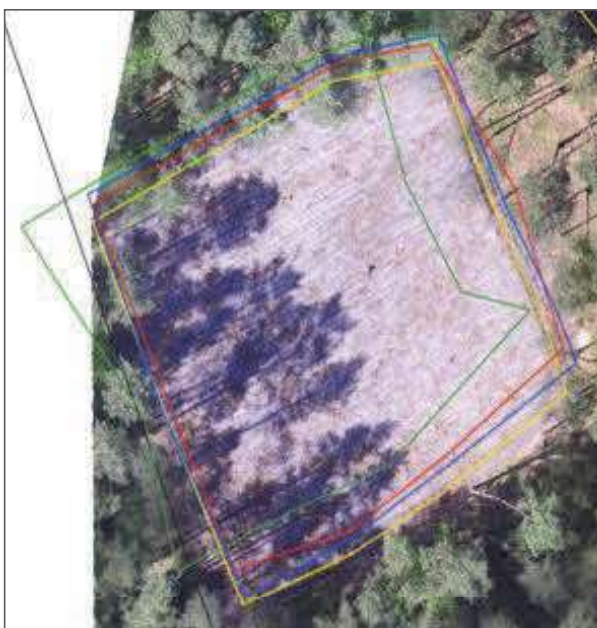
Pomiary z czterech urządzeń zostały eksportowane do programu QGIS. Na potrzeby wykonania obiektów został stworzony projekt z następującymi warstwami:

- orto_zagrody_96j99, orto_zagrody_25c, orto_lekowo_189c, orto_rusinowo_232b – oznaczają ortomozaiki wykonane z drona
 - gpsD - warstwa punktów z GRS-1
 - gpsB – warstwa punktów z ASG-EUPOS KODGIS
 - gpsL – warstwa punktów z mLas Inżynier Lite 7
 - polO – warstwa poligonów zrobionych z połączenia punktów z drona (białe kartki z krzyżem)
 - polD – warstwa poligonów z punktów gpsD
 - polB – warstwa poligonów z punktów gpsB
 - gpsL – warstwa poligonów z punktów gpsL
- Każdy poligon miał nadany identyfikator oraz obliczoną powierzchnię.

Zestawienie danych z pomiarów rębni IIIA (powierzchnie małe w otoczeniu drzewostanu):



Ryc. 7. Ortomozaika z pomiarami czterech urządzeń w oddziale 25c-02 Rb IIIA
Źródło: Opracowanie własne.



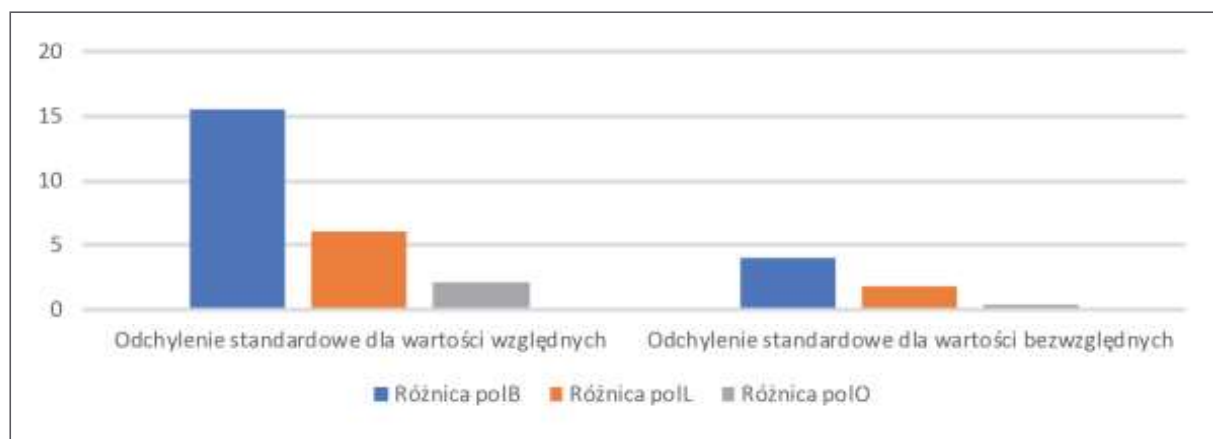
Ryc. 8. Gniazdo nr 3 w dużej skali z pomiarami czterech urządzeń w oddziale 25c-02 Rb IIIA
Źródło: Opracowanie własne.

Legenda:

- ASG-EUPOS KODGIS
- GRS-1
- mLas Inżynier Lite 7
- Kamera Zenmuse X3 na platformie Matrice 600

Analiza danych z pomiarów czterech urządzeń na rębni IIIA:

Punktem odniesienia pomiarów są współrzędne z urządzenia GRS-1, którego dokładność wynosi 0.3 m.



Wyk. 1. Odchylenia standardowe względem urządzenia GRS-1 na Rb IIIA
Źródło: Opracowanie własne.

Tab. 4. Zestawienie danych z pomiarów rębni IIIA

lp	ident	pow_ polD	pow_ polB	pow_ polL	pow_ polO	różnica polB		różnica polL		różnica polO	
						ar	%	ar	%	ar	%
1	25c-1	31	37	27	30	6	19,4	-4	-12,9	-1	-3,2
2	25c-2	17	14	14	16	-3	-17,6	-3	-17,6	-1	-5,9
3	25c-4	32	29	26	31	-3	-9,4	-6	-18,8	-1	-3,1
4	25c-3	27	23	26	26	-4	-14,8	-1	-3,7	-1	-3,7
5	25c-5	25	28	20	24	3	12,0	-5	-20,0	-1	-4,0
6	25c-6	22	16	21	20	-6	-27,3	-1	-4,5	-2	-9,1
7	25c-7	25	22	22	23	-3	-12,0	-3	-12,0	-2	-8,0
Średnia różnica						-1,43	-7,10	-3,29	-12,80	-1,29	-5,3
Przedział						-6÷6	-27,3÷ 19,4	-6÷-1	-20,0÷ -3,7	-2÷-1	-9,1÷ 3,7
Odchylenie standardowe						3,969	15,5	1,750	6,1	0,452	2,2

Źródło: Opracowanie własne.

Metoda pomiaru urządzeniem ASG-EUPOS KODGIS z poprawkami różnicowymi dedykowanym dla leśnictwa (polB) charakteryzuje się różnicami bezwzględnymi od -6 arów do +6 arów, a w wartościach względnych od -27,3% do +19,4%. Wartości średnie różnic wynoszą odpowiednio -1,43 ara i 7,1%. Odchylenie standardowe w tej metodzie dla wartości bezwzględnych wyniosło 3,959; natomiast dla wartości względnych 15,5%.

Metoda pomiaru urządzeniem Spectra z aplikacją mapową mLas Inżynier Lite 7 dedykowanym dla leśnictwa (polL) charakteryzuje się różnicami bezwzględnymi od -6 arów do -1 arów, a w wartościach względnych od -20,0% do -3,7%. Wartości średnie różnic wynoszą odpowiednio 3,29 ara i 12,80%. Odchylenie standardowe w tej metodzie dla wartości bezwzględnych wyniosło 1,750; natomiast dla wartości względnych 6,10%.

Metoda pomiaru kamerą Zenmuse X3 na platformie Matrice 600 (polO) charakteryzuje się różnicami bezwzględnymi od -2 arów do -1 arów, a w wartościach względnych od -9,1% do -3,1%. Wartości średnie różnic wynoszą odpowiednio 1,29 ara i 5,30%. Odchylenie standardowe w tej metodzie dla wartości bezwzględnych wyniosło 0,452; natomiast dla wartości względnych 2,20%.

Zestawienie danych z pomiarów rębni IB (powierzchnie duże bez drzewostanu)



Ryc. 9. Ortomozaika z pomiarami czterech urządzeń w oddziale 232b Rb IB
Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 10. Ortomozaika z pomiarami czterech urządzeń w oddziale 189c Rb IB
Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 11. Ortomozaika z pomiarami czterech urządzeń w oddziale 59j-99 Rb IB
Źródło: Opracowanie własne.

Legenda:

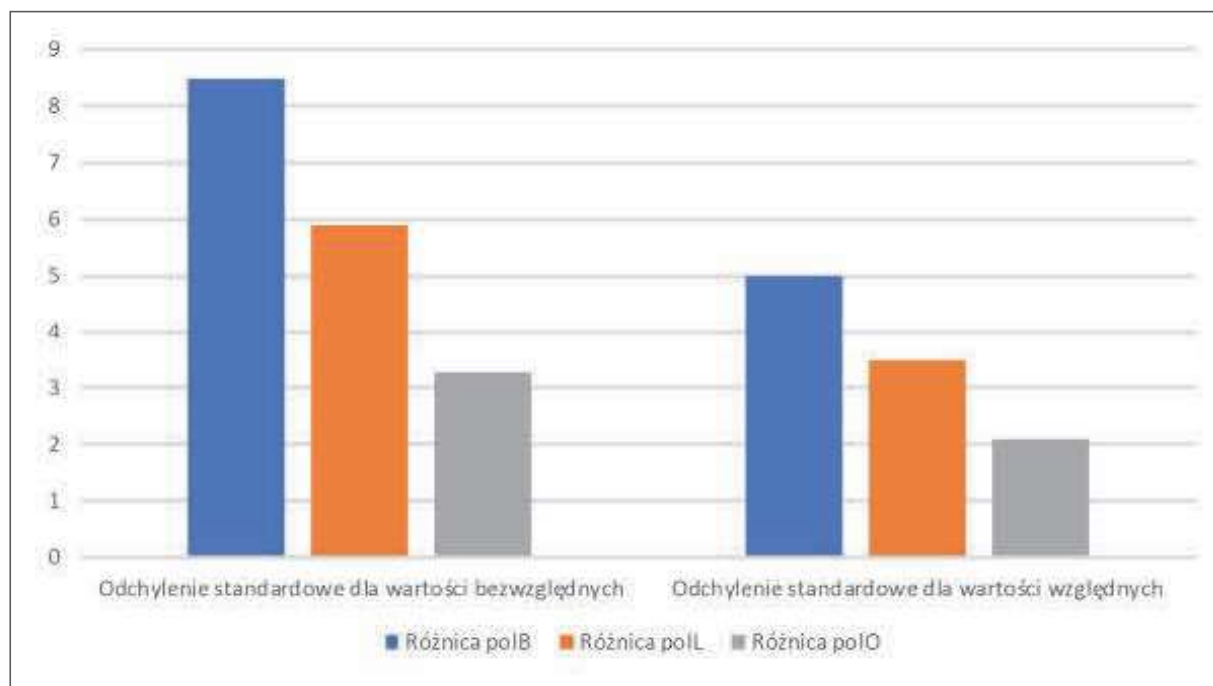
- ASG-EUPOS KODGIS
- GRS-1
- mLas Inżynier Lite 7
- Kamera Zenmuse X3 na platformie Matrice 600

Tab. 5. Zestawienie danych z pomiarów rębni IB

lp	ident	pow_ polD	pow polB	pow polL	pow polO	różnica polB		różnica polL		różnica polO	
						ar	%	ar	%	ar	%
1	59j	2,47	2,43	2,47	2,46	-4	-1,6	0	0	-1	-0,4
2	232b	1,63	1,54	1,59	1,55	-9	-5,5	-4	-2,5	-8	-4,9
3	189c	1,72	1,83	1,82	1,71	11	6,4	10	5,8	-1	-0,6
Średnia różnica						-0,67	-0.20	2,00	1,1	-3,33	-2,0
Przedział						-9÷11	-5,5÷ 6,4	-4÷10	-2,5÷ 5,8	-8÷-1	-4,9÷-0,4
Odchylenie standardowe						8,498	5,00	5,888	3,50	3,300	2,10

Źródło: Opracowanie własne.

Analiza danych z pomiarów czterech urządzeń na rębni IB



Wyk. 2. Odchylenia standardowe względem urządzenia GRS-1 na Rb IB

Źródło: Opracowanie własne.

Metoda pomiaru urządzeniem ASG-EUPOS KODGIS z poprawkami różnicowymi dedykowanym dla leśnictwa (poIB) charakteryzuje się różnicami bezwzględnymi od -9 arów do +11 arów, a w wartościach względnych od -5,5% do +6,4%. Wartości średnie różnic wynoszą odpowiednio -0,67 ara i -0,20%. Odchylenie standardowe w tej metodzie dla wartości bezwzględnych wyniosło 8,498; natomiast dla wartości względnych 5,0%.

Metoda pomiaru urządzeniem Spectra z aplikacją mapową mLas Inżynier Lite 7 dedykowanym dla leśnictwa (poL) charakteryzuje się różnicami bezwzględnymi od -4 arów do 10 arów, a w wartościach względnych od -2,5% do 5,8%. Wartości średnie różnic wynoszą odpowiednio 2,0 ara i 1,1%. Odchylenie standardowe w tej metodzie dla wartości bezwzględnych wyniosło 5,888; natomiast dla wartości względnych 3,50%.

Metoda pomiaru kamerą Zenmuse X3 na platformie Matrice 600 (poO) charakteryzuje się różnicami bezwzględnymi od -8 arów do -1 arów, a w wartościach względnych od -4,9% do -0,4%. Wartości średnie różnic wynoszą odpowiednio -3,33 ara i -2,0%. Odchylenie standardowe w tej metodzie dla wartości bezwzględnych wyniosło 3,300; natomiast dla wartości względnych 2,10%.

Na początku pracy założono, że metodą dokładniejszą, szybszą i precyzyjną jest metoda pomiarów wykorzystująca zdjęcia lotnicze wykonane dronem. Opierając się na uzyskanych wynikach metod pomiarów powierzchni zrębowych odbiornikami GPS oraz metodą wykorzystującą zdjęcia lotnicze wykonane dronem, stwierdzono iż:

1. Dla rębni IIIA (powierzchnie małe w otoczeniu drzewostanu) najmniejszy średni błąd względny i bezwzględny wystąpił dla metody pomiaru wykorzystującej zdjęcia lotnicze wykonane dronem, natomiast największy dla metody pomiaru urządzeniem Spectra z aplikacją mapową mLas Inżynier Lite 7.

2. Dla rębni IIIA najmniejsze odchylenie standardowe wystąpiło w metodzie pomiaru wykorzystującej zdjęcia lotnicze wykonane dronem, natomiast największe dla metody pomiaru urządzeniem Spectra z oprogramowaniem ASG-EUPOS KODGIS.

3. Dla rębni IB (powierzchnie duże bez drzewostanu) najmniejszy średni błąd względny i bezwzględny wystąpił dla metody pomiaru urządzeniem Spectra z oprogramowaniem ASG-EUPOS KODGIS, natomiast największy dla metody pomiaru wykorzystującej zdjęcia lotnicze wykonane dronem.

4. Dla rębni IB najmniejsze odchylenie standardowe wystąpiło w metodzie pomiaru wykorzystującej zdjęcia lotnicze wykonane dronem, natomiast największe dla metody pomiaru urządzeniem Spectra z oprogramowaniem ASG-EUPOS KODGIS.

Analizując pomiary rębni IIIA metoda wykorzystująca zdjęcia lotnicze wykonane dronem okazała się najdokładniejsza zarówno porównując średni błąd względny i bezwzględny, jak również odchylenie standardowe.

Analizując pomiary rębni IB średni błąd względny i bezwzględny przemawia na korzyść urządzenia Spectra z oprogramowaniem ASG-EUPOS KODGIS i Spectra z aplikacją mapową mLas Inżynier Lite 7. Rozpatrując pojedyncze różnice, łatwo zauważyć, że są one zróżnicowane i rozpiętość różnic jest duża. Tylko poprzez występowanie wartości dodatnich i ujemnych średnie są pozornie korzystne. Miara rozproszenia (odchylenie standardowe) wskazuje, że błędy są najmniej zróżnicowane dla metody pomiaru wykorzystującej zdjęcia lotnicze wykonane dronem.

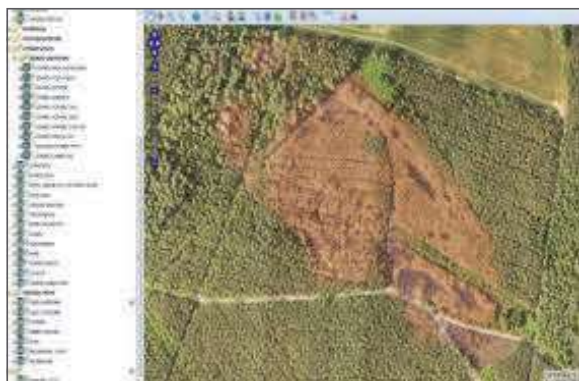
Z uzyskanych analiz wynika jasno, że hipoteza była postawiona trafnie. Na każdym z mierzonych zrębów metoda wykorzystująca zdjęcia lotnicze wykonane dronem okazała się dokładniejsza. Metoda ta jest mniej pracochłonna od wykorzystywanej metody pomiaru urządzeniami GPS. Oblot dronem jednego zrębu średnio wyniósł 8,33 min., natomiast ortofotomapa z jednego zrębu liczyła średnio 95 zdjęć na jej złożenie. Dodatkowo analizując pojedyncze zdjęcia składowe ortofotomapy, mamy pełny wgląd na stan faktyczny lasu.

OCHRONA PRZECIWPÓŻAROWA

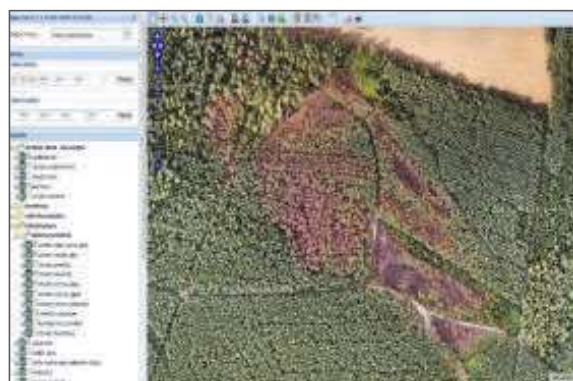
Nie wszystkie sygnały ostrzegawcze pojawiające się w lesie zanim wybuchnie pożar jesteśmy w stanie dostrzec z ziemi własnymi oczami. Niektóre zjawiska są lepiej widoczne z lotu ptaka. Dron rejestruje promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie 400-1000 nm (bliska podczerwień) lub wyższym (podczerwień termalna). Dla porównania ludzie widzą tylko zakres od 400 do 700 nm.

Bezzałogowe Statki Powietrzne w połączeniu z odpowiednią kamerą wykryją nie tylko pierwsze niepozorne smugi dymu, ale także sprawdzą, w jakich miejscach lasu roślinność jest przesuszona.

W dniu 23.04.2019 r. na terenie Nadleśnictwa Świdwin miał miejsce pożar drzewostanu. Początkowo, na podstawie pomiarów GPS, przyjęto, że powierzchnia objęta pożarem wyniosła ok. 8,00 ha. Następnie na podstawie zdjęć wykonanych dronem sporządzono ortofotomapę i dokonano obliczeń przy pomocy Leśnej Mapy Numerycznej. Powierzchnia jaką uzyskaliśmy przy pomocy UAV to 7,52 ha.



Ryc. 12. Ortomozaika sporządzona dzień po pożarze
Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 13. Ortomozaika sporządzona trzy miesiące po pożarze
Źródło: Opracowanie własne.

Kolejnym krokiem było wykonanie nalotu w celu sprawdzenia jaki % drzew przetrwał. Nalot został wykonany po trzech miesiącach od daty wybuchu pożaru. Dzięki temu stwierdziliśmy, że obszar, który będzie objęty cięciem sanitarnym, zmniejszył się.

WNIOSKI

Wykorzystując bezzałogowy statek powietrzny jest możliwość monitorowania i pomiaru terenów leśnych. Zdjęcia pozwalają na inwentaryzacje m. in. wywrotów, szkód spowodowanych przez czynniki abiotyczne i biotyczne, inwentaryzacje zwierzyny, wykrywanie pożarów lasów, zwalczanie szkodnictwa leśnego, inwentaryzacje przyrodnicze oraz po przetworzeniu mogą być cennym źródłem informacji o stanie zdrowotnym lasu.

LITERATURA

- Anderson K., Gaston K. J. (2013) *Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. Front Ecol Environ.*
Aplikacje dla operatora drona, <https://naddachami.pl/>, (dostęp 10.04.2018).
Aplikacje mobilne do latania dronem, <https://www.bmbdron.com/> (dostęp 10.04.2018).

- Cwojdzinski L., *Klasyfikacja oraz zasady eksploatacji bezzałogowych platform latających*, www.motoszybowce.pl, nr 3-4/2013 2013 (dostęp 05.04.2018).
- Drony wielozadaniowe*, <http://www.sggw.pl/>, (dostęp 11.04.2018).
- Geomatyka w Lasach Państwowych* <http://www.geomatyka.lasy.gov.pl/definicja-lmn>, (dostęp 04.04.2018).
- GLONASS, www.gisplay.pl, (dostęp 02.04.2018).
- mLas Inżynier Lite*, www.taxusit.com.pl, (dostęp 24.05.2018).
- Okła. K., (2013) *Leksykon terminów geomatycznych stosowanych w Lasach Państwowych*, [w:] Geomatyka w Lasach Państwowych. Część II. Poradnik praktyczny, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych.
- Olenderek. H., (1999) *Od miernictwa do geomatyki, czyli 80 lat usług geodezyjnych dla urządzania lasu. "90 lat Zakładu Urządzania Lasu SGGW*, Wyd. Fundacja "Rozwój SGGW".
- Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej*, <http://www.ptip.org.pl> (dostęp 20.12.2017).
- Richard M. Thompson II, (2013) *Drones in Domestic Surveillance Operations: Fourth Amendment Implication and Legislative Responses*, Congressional Research Service.
- Salami E., Barrado C., Pastor E. (2014) *UAV Flight Experiments Applied to the Remote Sensing of Vegetated Areas*. *ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Topcon, <http://www.tpi.com.pl>, (dostęp 17.05.2018).
- Wallace L., Lucier A., Watson C., Turner D. (2012) *Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory*. *ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Qgis, <https://gis-support.pl/>, (dostęp 10.04.2018).

STRESZCZENIE

W ostatnich latach jedną z najbardziej rozwijających się dyscyplin naukowych w leśnictwie jest geomatyka oraz teledetekcja. Na wyróżnienie zasługuje wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Bezzałogowe statki powietrzne umożliwiają wykonanie autonomicznych tras nalotowych na niskim pułapie o dużej rozdzielczości obrazowej. Wyniki tych nalotów w postaci zdjęć możemy wykorzystać do zobrazowania stanu faktycznego powierzchni objętej nalotem, poprzez sporządzenie ortomosaik. W leśnictwie UAV w większości wykorzystywane są do wyżej wymienionego celu, jednak bezzałogowce znajdują zastosowanie w wielu płaszczyznach szeroko rozumianej gospodarki leśnej. Bezzałogowce wspierają monitoring lasów, ochronę przeciwpożarową, ocenę stanu zdrowia drzewostanów. Stosuje się je w czynnościach związanych z ochroną przyrody, łowiectwem i nasiennictwem. Są przykłady praktycznego wykorzystania dronów w inwentaryzacji lasów. W pracy przedstawiono wynik analizy wybranych prac naukowych oraz przedstawiono przykłady praktycznego zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w Nadleśnictwie Świdwin. Na podstawie obserwacji rozwoju UAV w polskim leśnictwie przedstawiono możliwości wykorzystania bezzałogowców w przyszłości.

SUMMARY

In recent years, one of the most developing scientific disciplines in forestry are geomatics and remote sensing. The use of UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) deserves a mention. Unmanned aerial vehicles enable the execution of autonomous flight routes at a low altitude with high image resolution. The results of these flights, in the form of photos, can be used to illustrate the actual

state of the surface covered by the flight, by preparing orthomosaics. In forestry, UAV's are mostly used for the above-mentioned purpose, however unmanned aerial vehicles are used in many areas of, broadly understood, forest management. UAV's support forest monitoring, fire protection, and assessment of the health status of stands. They are used in activities related to nature protection, hunting and seed production. There are examples of practical use of drones in the forest inventory. The paper presents the result of the analysis of selected scientific papers and presents examples of practical applications of unmanned aerial vehicles in the Świdwin Forest District. Based on the observation of UAV development in Polish forestry, the possibilities of using unmanned vehicles in the future were presented