

WYKORZYSTANIE DRONÓW W ROLNICTWIE PRECYZYJNYM

Streszczenie

Opisano konstrukcje dronów i sposoby sterowania nimi. Zestawiono parametry techniczne wybranych stałopłatów. Dokonano przeglądu technik fotografowania i skanowania upraw ze statków powietrznych oraz sposobów tworzenia map pola z użyciem skanyngowanych materiałów.

Słowa kluczowe: dron, UAV, rolnictwo precyzyjne, ortomapa, monitorowanie pól uprawnych, NDVI

Wstęp

Rolnictwo precyzyjne potrzebuje taniego i łatwo dostępnego urządzenia oraz odpowiednich technik, które w dowolnym czasie, bez konieczności objeżdżania pola specjalistycznymi pojazdami, pozwolą dokładnie ocenić zasobność gleby i stan upraw. Urządzeniami takimi, które znalazły już powszechne zastosowanie do celów wojskowych, a także w meteorologii i geodezji, są małe, bezałogowe statki powietrzne, popularnie nazywane dronami. Nazwa drony odnosząca się do zdalnie pilotowanych lub autonomicznie wykonujących lot obiektów latających nie jest ich jedyną nazwą. Na świecie stosowane są również nazwy: *aerial platform* - platforma powietrzna, używana w relacjach z przenoszoną aparaturą pomiarową, *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* - bezałogowy statek powietrzny, *Unmanned Aircraft System (UAS)* - bezałogowy system powietrzny lub *flying robots* - latające roboty.

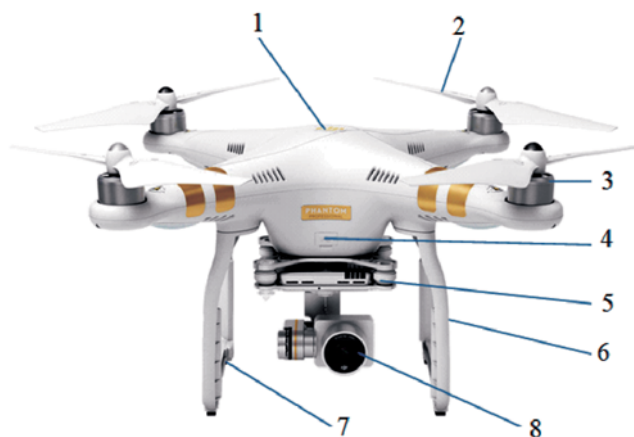
Loty dronów odbywają się na niskim pułapie. Do sterowania ich lotem wykorzystywana jest technika bardzo dokładnego satelitarne go pozycjonowania - RTK GPS [6]. Zamontowane na latających platformach sensory fotooptyczne zbierają dane o terenie podczas lotu. Rozwój fotogrametrii, a także teledetekcji, udoskonalenie technik wykonania zdjęć i skanowania obiektów, nawet w trudnych warunkach pogodowych, umożliwiają sporządzenie dokładnych map terenu [2]. W porównaniu do teledetekcji pól uprawnych wykonywanej za pomocą satelitów i samolotów załogowych, wykorzystanie do tego celu dronów pozwala na uzyskanie znacznie lepszej dokładności mapowania.

Budowa dronów i sposoby sterowania

Ze względu na budowę i sposób poruszania się drony dzieli się na wirnikowce (śmigłowce, koptery) i stałopłaty. Wirnikowce (rys. 1), podobnie jak helikoptery, dzięki swojej konstrukcji mogą poruszać się niezależnymi od siebie ruchami poziomym i pionowym, mogą również zawisnąć nieruchomo nad dowolnym punktem terenu.

Stałopłaty przypominają kształtem i sposobem lotu modele samolotów. Stałopłaty, w porównaniu do wirnikowców, uzyskują wyższą prędkość lotu, co umożliwia im zdobycie w tym samym czasie większej ilości danych. To spowodowało, że w praktyce stałopłaty używane są najczęściej do teledetekcji pól. Konstrukcje stałopłatów różnią się przede wszystkim pod względem kształtu i rozmiarów. Niektóre mają budowę zbliżoną do klasycznego samolotu. Inne mają kształt typu "latające skrzydło delta" (rys. 2). Dane techniczne dla wybranych modeli stałopłatów stosowanych w rolnictwie precyzyjnym przedstawiono w tab. Najcięższy ze stałopłatów

to DT 26 X, ważący 15 kg i o rozpiętości skrzydeł 3,3 m. Cechuje go, poza największą masą i dużymi wymiarami, również odporność na najwyższą prędkość wiatru. Zaprojektowany został specjalnie do długich misji związanych z pozyskiwaniem informacji do mapowania terenów o dużej powierzchni. Ma możliwość przenoszenia ładunków o maksymalnej masie do 4 kg. Startuje z ręki lub przy użyciu katapulty.

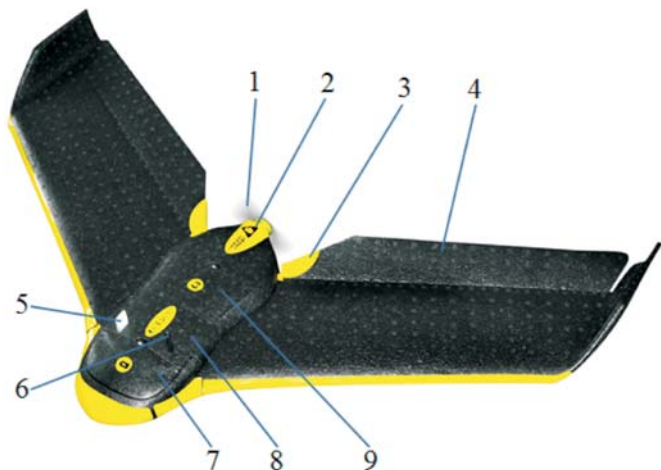


Rys. 1. Schemat wirnikowca - Phantom 3 [18]: 1 - antena GPS, 2 - śmigło, 3 - silnik, 4 - port USB, 5 - sterowana platforma kamery, 6 - podwozie, 7 - antena, 8 - kamera

Fig. 1. Construction of quadcopter - Phantom 3 [18]: 1 - GPS antenna, 2 - propeller, 3 - motor, 4 - USB port, 5 - platform for camera control, 6 - chassis, 7 - antenna, 8 - camera

Najmniejszy ze stałopłatów to eBEE, którego schemat budowy przedstawiono na rys. 2. Stałopłat ten ma bardzo lekki korpus i skrzydła wykonane z pianki EPP. Aby go uruchomić, wystarczy potrząsnąć nim 3-krotnie, a następnie rzucić w powietrze. Stałopłaty mają znaczne rozmiary, ale dzięki budowie modułowej, do transportu są rozbieralne na części. Skrzydła odłącza się od korpusu, a poszczególne części pakowane są do walizy, w której przechowywane są także: naziemny modem sterujący, komplet kamer do wykonywania zdjęć, baterie i ładowarki do baterii, zapasowe śmigła oraz wyrzutnia startowa

Podstawowym wyposażeniem dronów umożliwiającym ich sterowanie jest system automatycznej kontroli lotu - autopilot [17]. Autopilot umożliwia w pełni automatyczną nawigację i stabilizację lotu. Zamontowane czujniki żyroskopowe, czujniki przyspieszenia i czujniki ciśnienia służą do pomiaru wysokości oraz prędkości względem powietrza. Funkcja nawigacji realizowana jest w zależności od wybranego trybu pracy autopilota. Może być to tryb: automatyczny, półautomatyczny, bezwładnościowy i ręczny.



Rys. 2. Schemat płatowca eBEE [19]: 1 - śmigło, 2 - silnik elektryczny, 3 - serwomechanizm do poruszania lotką, 4 - lotka, 5 - czujnik warunków lotu, 6 - antena do przesyłania danych z naziemnego modemu sterowniczego, 7 - kieszeń na baterie, 8 - korpus drona, 9 - platforma do wmontowania kamery lub aparatu fotograficznego

Fig. 2. Construction of drone eBEE [19]: 1 - propeller, 2 - electric motor, 3 - servo for aileron moving 4 - aileron, 5 - sensor of flight conditions, 6 - antenna for data transmission from ground-based modem, 7 - pocket for battery, 8 - drone body, 9 - platform for camera

Tryb automatyczny jest trybem zasadniczym, w którym dron leci wzdłuż zaprogramowanej trasy, na podstawie danych z odbiornika GPS połączonego z autopilotem. Tryb automatyczny jest stosowany wtedy, gdy trasa jest z góry zaplanowana.

W trybie półautomatycznym autopilot utrzymuje lot według wcześniej zdefiniowanej trasy, ale operator ma możliwość zmiany kursu w trakcie lotu. W tym trybie również wykorzystywana jest nawigacja za pomocą GPS, gdyż w przypadku braku kontroli nad dronem, autopilot przywraca tryb automatyczny i statek powietrzny jako ostateczny cel przyjmuje miejsce startu. Zapobiega się w ten sposób utracie drona.

Tryb bezwładnościowy wykorzystuje elementy systemu nawigacji: wskazania zamontowanych w panelu sterującym

czujników żyroskopowych i czujników ciśnienia. Tryb ten włącza się automatycznie w sytuacji, kiedy odbiornik GPS wysyła nieprawidłowe dane lub utracona została możliwość kontroli lotu za pomocą GPS. Sterowanie według wskazań czujników również zabezpiecza przed utratą platformy latającej, gdyż autopilot na podstawie zarejestrowanych danych sam zwraca ją do miejsca startu.

W trybie ręcznym maszyną steruje wyłącznie operator.

Monitorowanie upraw

Sensory do zbierania danych są to najczęściej multispektralne kamery do wykonywania zdjęć, ale prowadzone są również badania nad wykorzystaniem do tego celu laserów. Opracowanie informacji może odbywać się na podstawie pojedynczych obrazów lub ze zgromadzonej dużej ilości fotografii, z wykorzystaniem programów komputerowych do ich automatycznego przetwarzania na ortomozajki mogące stanowić fragment lub całość ortomapy [10].

Analiza multispektralna światła odbitego pozwala wyodrębnić z uzyskanych obrazów takie cechy roślin jak: morfologia, taksonomia, układ łanu, masa liści, rodzaj i orientacja liści, a także dojrzałość, wybarwienie, ocenę deficytu składników pokarmowych, deficytu wody, występowanie agrofagów. Ponadto pozwala na analizę składu oraz zasobności gleby w substancje organiczne i mineralne, w tym zawartość wielu pierwiastków, zawartość wody, frakcję gleby, a także właściwości powierzchni gleby [4, 5, 7]. Typowe kamery wielospektralne stosowane w fotodetekcji wykonują zdjęcia w zakresie promieniowania czerwonego (R), zielonego (G), niebieskiego (B) oraz podczerwonego (IR) [10]. Fotografie pól, plantacji lub lasów wykonane w paśmie czerwieni i podczerwieni umożliwiają wyznaczenie znormalizowanego różnicowego wskaźnika wegetacji NDVI (ang. *Normalized Difference Vegetation Index*) [7, 8]. Wyznacza się go według wzoru 1:

$$NDVI = (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED}), \quad (1)$$

gdzie:

R_{RED} - odbicie w paśmie czerwieni,

R_{NIR} - odbicie w paśmie podczerwieni.

Za pomocą tego wskaźnika można dokonać oceny stanu roślinności na fotomapach terenu (rys. 3). Wskaźnik NDVI

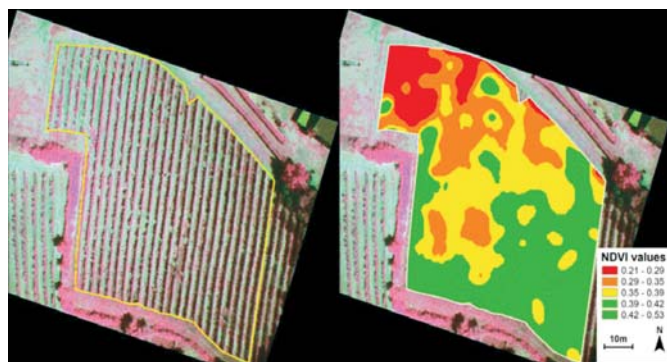
Tab. Parametry techniczne wybranych stałopłatów
Table. Technical parameters of chosen drones

Nazwa płatowca Producent	Waga [kg]	Rozpiętość skrzydeł [m]	Długość [m]	Czas trwania lotu [min]	Prędkość lotu [km·h ⁻¹]	Odporność na wiatr o prędkości [km·h ⁻¹]	Źródło
UX5 HP Trimble	2,9	1,00	0,65	40	85	55	[11]
eBEE Sensefly Ltd	0,69	0,96	-	50	40-90	45	[19]
Syrius 20 Mavinci	2,7	1,63	1,2	45	65	50	[20]
Get'nFly Precyzyjne Rolnictwo	2,8	1,25	0,74	90	80	43	[13]
Atlas C-Astral	2,3	1,55	0,82	60	58	60	[12]
Bramor C-Astral	3,8-4,2	2,3	0,96	180	58	53	[12]
UAV FT-02 Flytech	12	3,85	2,15	90	72	22	[16]
DT 26 X Delair-Tech	15	3,3	1,6	150	50	75	[15]

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

pokazuje obszary o intensywnej lub słabej roślinności. Ukazuje również aktualny stan roślinności. Ponadto, przez wnikliwą analizę, za jego pomocą można ocenić poziom nawożenia, stan nawodnienia upraw, poziom zawartości chlorofilu oraz występowanie szkodników. Nie zawsze z pojedynczego nalotu za pomocą NVDI można znaleźć odpowiedź na wszystkie pytania. Wiele informacji o przyczynach zmian intensywności wzrostu roślin można uzyskać powtarzając co jakiś czas naloty dronami nad analizowanym polem, lub z prowadzonego latami archiwum materiałów z lotów nad tym terenem. Porównując wartości zmian w czasie wskaźnika NDVI, można za jego pomocą zmierzyć np. powierzchnię szkód łowieckich i strat spowodowanych plagą szkodników lub wyznaczyć miejsca na polu wyjątkowo nie nadające się pod uprawę.

Poza płaskimi mapami, ze zdjęć wykonanych dronami sporządza się również mapy trójwymiarowe upraw. Pozwalają one na zmierzenie nie tylko powierzchni upraw, ale również intensywności wzrostu roślin przez pomiary ich wysokości. Nowoczesne kamery hiperspektralne, pracują na ponad 100 kanałach długości fal świetlnych [14]. Z wykonanych za ich pomocą fotografii można sporządzać multispektralne obrazy przestrzenne terenu, które dają możliwość oceny wysokości roślin z uwzględnieniem zmian wysokości gruntu, na którym się znajdują [1].



Rys. 3. Obrazy winnicy: wielowidmowy z lewej, w oparciu o klasyfikację wg NDVI z prawej [8]

Fig. 3. Images of vineyard: multi-spectral from the left side, based on the classification by NDVI from the right [8]

Mapy przestrzenne można uzyskać również wykorzystując do tego celu laser LIDAR (*Light Detection and Ranging*) skanując za jego pomocą teren podczas lotu dronem [3, 4]. Laser emituje wiązkę światła, a po jej odbiciu od obiektu określona zostaje odległość punktu na obiekcie, w którym nastąpiło odbicie promienia od lasera.

Podsumowanie

Zastosowanie dronów, które nie wymagają lotnisk, oraz coraz niższe ceny aparatury stanowiącej ich wyposażenie elektroniczne sprawiają, że ocena stanu upraw za pomocą tych

latających statków powietrznych staje się coraz tańsza [9]. Drony, a w szczególności płatowce, umożliwiają zdobywanie w krótkim czasie dokładnych informacji o zasobności gleby i zmianach w uprawach. Informacje te, zapisane w formacie umożliwiającym następnie odczytywanie przez systemy automatycznego sterowania maszyn stosowanych do pielęgnacji, nawożenia i ochrony roślin, a także do zbioru plonów, przyczyniają się do oszczędności środków chemicznych, nakładów energii i pracy oraz do wyższych plonów. W efekcie stosowanie dronów w rolnictwie przekłada się na wyniki ekonomiczne.

Bibliografia

- [1] Aasen, H., Burkart, A., Bolten, A., Bareth G.: Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: From camera calibration to quality assurance. *SPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, 108, 245-259.
- [2] Barwicki, J., Mazur, K., Wardal, W. J., Majchrzak, M., Borek, K.: Monitoring of typical field work in different soil conditions using remote sensing - a literature review and some concepts for the future. *Inżynieria Rolnicza*, 2015, 3(155), 5-13.
- [3] Colomina I., Molina P.: Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2014, 92, 79-97.
- [4] Doruchowski, G.: Elements of precision agriculture in plant protection. *Inżynieria Rolnicza*, 2005, 6(66), 131-139.
- [5] Doruchowski, G.: Progress and new concepts in precision agriculture. *Inżynieria Rolnicza*, 2008, 9(107), 19-31.
- [6] Hołownicki, R.: Agroengineering calls for new challenges. *Inżynieria Rolnicza*, 2008, 4(102), 13-24.
- [7] Pinter P., Hatfield J., Schepers J., Barnes E., Moran M., Daughtry C., Upchurch D.: Remote sensing for crop management. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2003, 69, 647-664.
- [8] Primicerio J., Di Gennaro S.F., Fiorillo E., Genesio L., Lugato E., Matese A., Vaccari F.P.: A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. *Precision Agric.*, 2012, 13, 517-523.
- [9] Sawicki P.: Bezzałogowe aparaty latające UAV w fotogrametrii i teledetekcji - stan obecny i kierunki rozwoju. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 2012, 23, 365-376.
- [10] Stereńczak K., Będkowski K.: Ocena ortomosaik obrazów uzyskanych za pomocą bezzałogowego statku latającego do określania wybranych cech dendrometrycznych drzew w drzewostanach sosnowych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 2012, 24, 345-355.
- [11] 131B-POL_TrimbleUX5_HP_DS_A4_0615_LR_Geotronics.pdf.
- [12] astral.com/media/uploads/file/Bramor%20Catalogue.pdf.
- [13] <http://precyzjnerolnictwo.com/>.
- [14] <http://sphereoptics.de/wp-content/uploads/2015/01/Cubert-UHD185-Real-Time-Spectral-Imaging.pdf>.
- [15] <http://www.delair-tech.com/wp-content/uploads/2015/02/DT26X.pdf>.
- [16] <http://www.flytechuav.pl/pl/products/ft02>.
- [17] http://www.uavflightcontrol.com/fcs2_pol.pdf.
- [18] <https://store.dji.com/>.
- [19] <https://www.sensefly.com/>.

ENERGY EFFICIENCY OF DIFFERENT CROP PRODUCTION TECHNOLOGIES

Summary

There were described construction of drones and ways of steering them and also technical parameters of selected unmanned aerial vehicles. This paper contains as well a review of crop photographing and scanning techniques by means of aircraft and methods used to creating maps from obtained materials.

Key words: drones, UAV, precision agriculture, ortomap, ploughland monitoring, NDVI