

ZASTOSOWANIE BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH DO OPRYSKIWANIA UPRAW ROLNICZYCH

Streszczenie

Opisano i porównano konstrukcje dronów służących do wykonywania oprysków na uprawach. Zestawiono parametry techniczne wybranych bezzałogowych statków powietrznych oraz opisano budowę montowanych na nich instalacji do rozpylania środków ochrony roślin. Zasygnalizowany został aspekt prawny wykorzystania dronów do ochrony roślin.

Słowa kluczowe: dron, bezzałogowy statek powietrzny, opryskiwanie, ochrona roślin, rolnictwo precyzyjne

Wstęp

Drony - bezzałogowe statki powietrzne, nazywane również platformami latającymi, stworzone zostały głównie na potrzeby wojska: do ćwiczeń, obserwacji, rozpoznania oraz ataku na wroga. Popularność sprzętu i postęp technologiczny sprawiły, że są one masowo produkowane i powszechnie dostępne również wśród użytkowników cywilnych. Amatorsko stosowane są do zabawy, wykonywania fotografii i filmowania z wysokości [2]. Dzięki zamontowanym w nich systemom do nawigacji, pozycjonowania i orientacji oraz multispektralnym sensorom optycznym o dużej rozdzielczości drony stały się niskobudżetowym narzędziem, coraz powszechniej stosowanym w fotogrametrii i teledetekcji [7]. Powoli znajdują również zastosowanie w leśnictwie i w rolnictwie precyzyjnym do patrolowania i monitorowania lasów, oceny stanu upraw, a także do obserwacji zwierząt [1]. Zaletami wykorzystania dronów jako maszyn rolniczych jest brak ugniatania gleby podczas poruszania się po polu, możliwość dotarcia do obszarów położonych na różnych wysokościach, do miejsc trudno dostępnych oraz możliwość wykonania za ich pomocą zabiegu tam, gdzie jest niemożliwy lub trudny do zrealizowania dla opryskiwaczy polowych [4]. Korzyścią wykonywania oprysków na uprawach i w lasach za pomocą dronów może również być to, że znajdujący się na ziemi operator, który powinien być wtedy poza miejscem wykonywania zabiegu, nie jest narażony na wdychanie rozpylanych środków chemicznych. W porównaniu do klasycznego agrolotnictwa, znajdujący się poza statkiem powietrznym, wykonującym zabieg, operator jest bezpieczny w przypadku katastrofy tego statku.

Celem pracy było dokonanie przeglądu konstrukcji dronów możliwych do zastosowania w ochronie upraw rolniczych

z uwzględnieniem aspektów prawnych ich wykorzystania. Zakresem pracy objęto ocenę ośmiu modeli dronów.

Przegląd konstrukcji dronów stosowanych w ochronie roślin

Podobnie jak ma to miejsce w przypadku załogowych statków powietrznych używanych do opryskiwania roślin, w bezzałogowym lotnictwie można również stosować płatowce (samoloty) i wirnikowce (helikoptery i multikoptery). Mniejsze rozmiary i masa dronów w porównaniu do załogowego agrolotnictwa sprawiają, że znacznie niższe są koszty ich użytkowania, na co wpływ mają: brak potrzeby przygotowania lotniska z pełną infrastrukturą i obsługą, mniejsze koszty zużycia paliwa oraz znacznie mniejszy koszt samego sprzętu. W tabeli przedstawiono charakterystyczne parametry techniczne wybranych dronów przystosowanych do wykonywania zabiegów chemicznej ochrony roślin.

Do napędu bezzałogowych statków powietrznych używa się silników spalinowych lub silników elektrycznych. Przeciętnie masa dronów napędzanych za pomocą silników spalinowych jest wyższa od platform napędzanych silnikami elektrycznymi, ale również dłuższy jest czas ich pracy bez ładowania. W stosunku do zabiegów wykonywanych załogowymi statkami powietrznymi drony umożliwiają obniżenie pułapu nalotów nawet do 1 metra. Wśród bezzałogowych statków powietrznych wykorzystywanych do opryskiwania przeważają wirnikowce, które mogą wykonywać loty w dowolnych kierunkach niezależnie od prędkości przemieszczania się.

Jednym z najpopularniejszych na świecie dronów przystosowanych do zwalczania chwastów i szkodników za pomocą oprysków jest zbudowany i wypuszczony na rynek

Tabela. Parametry techniczne dronów służących do opryskiwania

Table. Technical parameters of drones used for spraying

Nazwa modelu	Typ drona	Ładowność [kg]	Pułap pracy [m]	Szerokość pracy [m]	Czas lotu [min]	Ilość dysz [szt.]	Masa całkowita [kg]	ródło energii	ródło informacji
PAM - 20	płatowiec	25	10-15	8	180	2	80	silnik spal.	[5]
Hercules 30	helikopter	30	-	2,7	12-15	2	120	silnik spal.	[13]
RHCD01	helikopter	8	1-3	2,7	5-10	2	30	silnik spal.	[13]
Yamaha Rmax	helikopter	30	6	7,5	60	2	64	silnik spal.	[8, 14]
RHCD 15	helikopter	15	1-3	3	10-15	4	36	silnik spal.	[13]
AG-6A+v2	heksakopter	20	1-5	5	15-30	6	34,2	silnik elektr.	[13]
AGV8A	oktokopter	10	1-5	5	10-20	6	19,5	silnik elektr.	[13]
DJI Agras MG-1	oktokopter	10	1,5-3	4-6	10-24	4	22,5	silnik elektr.	[10]

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

w 1997 roku przez Yamaha Motor Company model Yamaha R-MAX (rys. 1). Jest to bezzałogowy helikopter napędzany dwusuwowym silnikiem spalinowym, chłodzonym wodą, o pojemności 246 cm³ i mocy 15,4 kW [8]. Dron został zaprojektowany przede wszystkim na potrzeby rolnictwa precyzyjnego i poza rozpylaniem środków ochrony roślin może być wykorzystany również do nawożenia upraw płynnymi nawozami mineralnymi. Yamaha R-MAX stosowany jest do prac rolniczych w Japonii, Australii i Stanach Zjednoczonych [3, 14]. Wstępne wyniki wykazują, że śmigłowiec jest stabilny nawet w warunkach porywistego wiatru. Ciecz z helikoptera jest rozpryskiwana rozpylaczami przymocowanymi do belki znajdującej się pod platformą.



Rys. 1. Yamaha RMAX podczas wykonywania oprysku [12]
Fig. 1. Yamaha RMAX in the course of spraying [12]

Dawki nanoszonego na rośliny płynu są rzędu od 10 do 50 dm³·ha⁻¹. Można je regulować, m.in. przez zmianę szerokości roboczej oprysku, a ta zależy od wysokości lotu. Efektywna wydajność pracy śmigłowca to około 2-5 ha h⁻¹, która w dużej mierze wynika z ograniczonej ładowności oraz czasu lotu drona do momentu wyczerpania się źródła energii [3]. Cena platformy Yamaha R-MAX w wersji rolniczej wynosi 80-120 tys. dolarów [9].

Znacznie tańsze są drony napędzane silnikami elektrycznymi. Są to najczęściej multikoptery czerpiące energię z zamontowanych na nich baterii. Zdolne są one do przeniesienia ładunków cieczy użytkowej w granicach od 10 do 20 kg. Czas lotu zależny jest od masy ładunku i waha się w granicach od 15 do 25 minut. Przykładem takiego drona rolniczego jest najnowszy produkt firmy DJI - oktokopter Agras MG-1 (rys. 2). Cena tego drona to około 15 tys. dolarów [9]. Rama DJI Agras MG-1 zbudowana jest z wysokiej wytrzymałości, odpornych na korozję materiałów, których głównym składnikiem jest włókno węglowe. Składana konstrukcja ramy i składane śmigła umożliwiają łatwy transport oraz możliwość przewożenia drona w bagażniku samochodu osobowego [10]. Agras MG-1 może rozwijać prędkość roboczą do 8 metrów na sekundę. Według danych producenta w ciągu 1 godziny dron może opryskać od 4 do 6 hektarów pola. W czasie lotu, dzięki możliwości pomiaru wysokości za pomocą czujnika radarowego, platforma stara się zachować stały poziom nad opryskiwanymi roślinami, niezależnie od ich wysokości i nierówności pola, co pozwala na równomierne naniesienie dawki preparatu na rośliny. Całkowite natężenie wypływu cieczy z 4 rozpylaczy XR11001 wynosi 1,7 dm³min⁻¹, kroplistość rozpylonej strugi mieści się w zakresie rozmiaru kropelek drobnych. Użytkownicy mogą wybierać pomiędzy manualnym, półautomatycznym oraz automatycznym trybem sterowania lotem, w zależności od zastosowań. Agras MG-1 automatycznie rejestruje współrzędne lotu. W przypadku, gdy operacja zostanie przerwana, na

przykład ze względu na rozładowanie akumulatora, brak paliwa lub cieczy opryskującej, po wymianie akumulatora lub napełnieniu zbiorników lot może być wznowiony od tego punktu na polu, w którym praca została przerwana.



Rys. 2. DJI Agras MG-1 [10]
Fig. 2. DJI Agras MG-1 [10]

Instalacje opryskujące montowane w dronach

Montowane na dronach instalacje, które służą do rozpylania cieczy opryskowej, składają się ze zbiornika, pompy napędzanej silnikiem elektrycznym, przewodów elastycznych i rozpylaczy, które mogą być montowane na ramionach drona centralnie pod silnikami (rys. 2) albo na belkach lub wysięgnikach umieszczonych poniżej zespołu śmigieł (rys. 1). Pęd powietrza generowanego przez śmigła drona przyspiesza prędkość opadania rozpylonej cieczy i rozchylając łan roślin ułatwia kroplom dotarcie do liści i łodyg, nawet tych, które znajdują się tuż przy ziemi. Do rozpylania cieczy stosowane są najczęściej wymienne rozpylacze ciśnieniowe szczelinowe. Mogą być również zastosowane rozpylacze obrotowe (rys. 3) [4].



Rys. 3. Dron z rozpylaczami obrotowymi [11]
Fig. 3. Drone with rotary atomizers [11]

Ze względu na ograniczoną warunkami technicznymi pojemność zbiorników na ciecz, zabiegi dronami opryskującymi wykonywane są w zakresie dawek cieczy LV, a nawet ULV. Najprostsze montowane na elektrycznych wielowirnikowcach instalacje do opryskiwania przypominają instalacje ręcznych opryskiwaczy. Brak jest przepływomierzy i urządzeń do automatycznego sterowania natężeniem wypływu cieczy z instalacji. Możliwa wtedy jego regulacja polega na wymianie rozpylaczy. Regulacja dawki cieczy na polu odbywa się przez zmianę wysokości lotu i prędkości przemieszczania się platformy. Przygotowywane są również bardziej zaawansowane instalacje, w których ciśnienie cieczy jest regulowane za pomocą zmiany prędkości obrotowej pompy, a system sterujący włącza i wyłącza rozpylanie automatycznie na podstawie wprowadzonej wcześniej mapy numerycznej opryskiwanej uprawy [4].

Aspekt prawny zastosowania dronów do opryskiwania roślin

Drony opryskujące wpisują się w zakres coraz częściej stosowanej na świecie robotyki powietrznej. Sterowanie ich pracą nad polem powinno odbywać się na zasadach stosowanych w ramach rolnictwa precyzyjnego. Lot może być lotem

autonomicznym, czyli według zaplanowanej wcześniej trasy, zgodnej z mapami numerycznymi pola. Do dokładnego pozycjonowania lotu może być użyta nawigacja DGPS (*Differential Global Positioning System*), podobnie jak w sprzęcie naziemnym, z tym że w przypadku dronów mogą wystąpić niedokładności wykonywania zabiegu spowodowane ruchem powietrza (np. wiatrem bocznym). W porównaniu do zabiegów wykonywanych załogowymi statkami powietrznymi drony wykonują zabiegi na niższych pułapach, jak na razie nie mniejszych niż jeden metr. W przyszłości, ze względu na postępujący szybki rozwój ich systemów sterowania - głównie w kierunku podnoszenia bezpieczeństwa lotów (zdalne omijanie przeszkód, precyzyjne utrzymywanie odległości nad uprawą, zastosowanie sieci neuronowych do sterowania) - wysokość lotu może zmniejszyć się nawet do 0,5 metra nad poziomem roślin. W stosunku do pułapu lotów wykonywanych załogowymi statkami powietrznymi (4-8 metrów, a nawet wyżej) tak niska wysokość nalotu wykonywana bezzałogowymi platformami latającymi spowoduje, że zabiegi wykonywane za ich pomocą bardziej będą przypominały zabiegi wykonane sprzętem naziemnym niż z powietrza. Również znoszenie środków chemicznych przy nalotach wykonywanych na tak małej wysokości nie może być porównywalne ze znoszeniem rozpylanych preparatów podczas zabiegów wykonywanych załogowymi statkami powietrznymi. Drony mogą stać się w przyszłości nieodzownym wyposażeniem gospodarstw jako maszyny rolnicze. Obecnie są one klasyfikowane jako statki powietrzne podlegające pod nadzór prawa lotniczego. Prawo to określa warunki wykonywania lotów oraz wymagane kwalifikacje operatora. Niestety, Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/128/WE z 20 października 2009 roku, której zamiarem jest zapobieganie skażeniom środowiska powodowanym przez klasyczne agrolotnictwo, w stosunku do agrolotnictwa zaczyna się od stwierdzenia, że generalnym celem działań krajów Unii Europejskiej jest wyeliminowanie oprysków wykonywanych z powietrza na terytorium UE. Dopuszczona jest możliwość wykonywania takich zabiegów w szczególnych przypadkach, i to pod pewnymi warunkami. Są to: brak możliwości wykonania zabiegów metodami alternatywnymi lub gdy zastosowanie oprysków z powietrza da wyraźne korzyści pod względem ograniczenia wpływu na zdrowie ludzi i środowisko w porównaniu do aplikacji pestycydów sprzętem naziemnym. Wymagana jest również konieczność certyfikacji sprzętu przez Urząd Lotnictwa Cywilnego w celu potwierdzenia jego technicznej sprawności i dopuszczenia do aplikacji pestycydów z powietrza. Zgodnie z prawem lotniczym instalacja opryskująca zamontowana na bezzałogowych statkach powietrznych podlega takim samym rygorom jak ta, która jest montowana na statkach załogowych stosowanych w agrolotnictwie, ale dronów nie uwzględniono w warunkach, jakim ma ta instalacja odpowiadać [6]. Warunki przeglądów i certyfikacji sprzętu opryskującego, montowanego na załogowych statkach powietrznych, powinny zostać uzupełnione i dostosowane również do bezzałogowych platform latających.

Podsumowanie

Zastosowanie dronów w rolnictwie precyzyjnym jest uzasadnione i może być w przyszłości skuteczne ze względów ekonomicznych i ekologicznych. Drony już umożliwiają monitorowanie upraw, wykorzystując zjawiska związane z pochłanianiem i odbiciem światła w roślinach, które możliwe są do zarejestrowania za pomocą sensorów optycznych stosowanych w fotodetekcji. Uzyskane w ten sposób dane dostarczać będą rolnikom informacji w czasie rzeczywistym na temat stanu zdrowia roślin. Drony mogą być również wykorzystane jako roboty do wykonania zabiegów ochronnych na uprawach, ze zmiennymi dawkami środków chemicznych, adekwatnymi do stanu zdrowotności roślin. Połączenie tych dwóch funkcji dronów w rolnictwie spowoduje powstanie nowych technologii ochrony roślin opartych na bezzałogowych statkach powietrznych. Zbyt rygorystyczne prawo w Unii Europejskiej, w stosunku do agrolotnictwa, może uniemożliwić rozwój rolniczej robotyki powietrznej w krajach zjednoczonych w Unii. Może również spowodować, że nowoczesne technologie wykorzystujące drony w rolnictwie rozwiną się w państwach, gdzie prawo dotyczące bezzałogowych statków powietrznych i agrolotnictwa jest bardziej liberalne, albo gdzie go nie ma.

Bibliografia

- [1] Berner B., Chojnacki J.: Wykorzystanie dronów w rolnictwie precyzyjnym. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2016, 3, 19-21.
- [2] Cheng E.: Drony. Tajniki zdjęć i filmów lotniczych. Helion 2016.
- [3] Durham K. Giles, Ryan C. Billing: Deployment and Performance of a UAV for Crop Spraying Department of Biological & Agricultural Engineering, University of California, Davis, CA 95616 USA.
- [4] Huang Y., Hoffmann W.C., Lan Y., Wu W., Fritz B.K.: Development of a Spray System for an Unmanned Aerial Vehicle Platform 2009. Applied Engineering in Agriculture Vol. 25(6): 803-809.
- [5] Pederi Y.A., Cheporniuk H.S.: Unmanned Aerial Vehicles and New Technological Methods of Monitoring and Crop Protection in Precision Agriculture: 2015 International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD) Proceedings.
- [6] Rowiński R.S., Lipiński A.J., Choszcz D.J., Konopka S.: Ekspertyza: Wymagania techniczne dla sprzętu montowanego na statkach powietrznych służącego do stosowania środków ochrony roślin oraz zasady jego kontroli. Olsztyn 2011.
- [7] Sawicki P.: Bezzałogowe aparaty latające UAV w fotogrametrii i teledetekcji - stan obecny i kierunki rozwoju. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 2012, Vol. 23: 365-376.
- [8] Sato A.: The RMAX Helicopter UAV. 2003. <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a427393.pdf>.
- [9] <http://dronesonvideo.com/agriculture-drones-dji-agras-mg-1-vs-yamaha-rmax/>.
- [10] <http://www.dji.com/>.
- [11] <http://www.scmp.com/business/companies/article/1994543/drones-agricultural-use-taking-china>.
- [12] <http://www.thehindu.com/news/international/us-farmers-to-use-rmax-drones-to-spray-crops/article7175831.ece>.
- [13] <http://www.uavcropdustersprayers.com/>.
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Yamaha_R-MAX.

USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR AGRICULTURAL CROP SPRAYING

Summary

Constructions of drones designed to perform crop spraying are described and compared. The technical parameters of selected unmanned aerial vehicles were presented and the construction of the installation used for spraying pesticides, mounted on them, was described. The legal aspect of the use of drones to plant protection was signaled.

Key words: drone, UAV, spraying, plant protection, precision farming