

Tytus Berbeć

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

## WYKORZYSTANIE DRONÓW W ROLNICTWIE A PRZEPISY PRAWNE\*

**Słowa kluczowe:** rolnictwo odporne na zmiany klimatu, innowacje technologiczne, rolnictwo 4.0, rolnictwo precyzyjne, drony w rolnictwie, przepisy prawne, prawo lotnicze

### Wstęp

W ostatniej dekadzie rolnictwo w Polsce doświadczyło ogromnej rewolucji technologicznej dzięki zastosowaniu dronów do mapowania i dronów ciężkich. Drony lekkie (nazywane też BSP – bezzałogowymi statkami powietrznymi) w większości wyposażone są w zaawansowane systemy mapujące wykorzystywane na szeroką skalę w rolnictwie. W ostatnim czasie coraz większą popularność zyskują także drony ciężkie, czyli te służące zarówno do wykonywania oprysków, jak i rozsiewania nawozów, które mają szansę zrewolucjonizować podejście rolników do zarządzania uprawami poprzez doskonałą precyzję i wydajność, prowadząc do zrównoważonego środowiska. Postęp technologiczny obserwowany w rozwoju i doskonaleniu dronów, zwłaszcza zastosowanie ich w rolnictwie przynosi szereg możliwości w zakresie optymalizacji procesów produkcji w sektorze rolniczym (Berner i Chojnacki 2017).

Bezzałogowe statki powietrzne (UAV, ang. *unmanned aerial vehicle*) wyposażone w zaawansowane czujniki optyczne stały się jednym z kluczowych narzędzi rolnictwa precyzyjnego. Przegląd literatury naukowej dostarcza licznych przykładów potwierdzających tezę o ogromnym potencjale tej technologii w diagnozowaniu i rozwiązywaniu problemów występujących w produkcji rolniczej. Możliwość pozyskiwania danych o wysokiej rozdzielczości przestrzennej i czasowej zrewolucjonizowała sposób monitorowania upraw, ocenę zasobności gleby oraz zarządzanie zabiegami agrotechnicznymi.

W przeszłości do zobrazowań stanu upraw w rolnictwie wykorzystywano samoloty załogowe z podczepionymi instrumentami detekcyjnymi. Obecna technologia umoż-

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.8. pt. „Wykorzystanie dronów w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2025 r.

liwia pozyskiwanie danych na temat stanu zdrowia roślin czy ilości wody w glebie za pomocą kamer multispektralnych zamontowanych na bezzałogowych statkach powietrznych oraz poprzez zobrażenia satelitarne. Wykonane zobrażenia są dokładniejsze w porównaniu z tradycyjnymi metodami, a samo wykorzystanie BSP jest znacznie tańsze w eksploatacji.

Wykorzystanie wyspecjalizowanych bezzałogowych platform latających (służących do mapowania pól i przekazywania dokładnych informacji na temat potrzeb np. nawozowych do urzędów rolniczych wykorzystujących technologie rolnictwa 4.0) w rolnictwie przynosi znaczne korzyści finansowe poprzez obniżenie kosztów stosowania nawozów dolistnych. Do obniżenia kosztów przyczynia się również zmniejszone ryzyko wystąpienia strat niezamierzonych, niska awaryjność bezzałogowego statku powietrznego oraz możliwość mocowania różnych aparatów i kamer do jednego urządzenia (BSP). Odpowiednio przeszkolony operator BSP, posiadający świadectwo kwalifikacji uprawniające do wykonywania lotów, będzie w stanie w sposób bezpieczny i skuteczny wykonywać misje zobrażeń terenów rolniczych.

Jednym z pierwszych zastosowań teledetekcji niskopułapowej była identyfikacja gatunków upraw rolniczych na podstawie zróżnicowania w odbiciu spektralnym roślin (Park i Park 2015). Z czasem technologia ta znalazła znacznie szersze zastosowanie. Obecnie jest ona standardowo wykorzystywana do precyzyjnej oceny szkód w uprawach powstałych w wyniku niekorzystnych warunków pogodowych lub żerowania zwierzyny (Michez i in. 2016, Rutten i in. 2018), a także do bieżącego monitorowania dynamiki rozwoju i wzrostu roślin w sezonie wegetacyjnym (Reinecke i Prinsloo 2017).

Drony często wyposażone są dodatkowo w możliwość integracji z systemami informacji geograficznej (GIS, ang. *geographic information system*), skąd można je zintegrować z różnymi danymi i uzupełnić informację o skład gleby, wilgotność podłoża, odczyn gleby i inne parametry glebowe. Drony wyposażone w specjalne urządzenia służące do pobierania próbek glebowych mogą na bieżąco zbierać, analizować i uzupełniać dane dotyczące składu gleby i uzupełniać w systemach GIS. Informacje pozyskane za pomocą dronów mogą być wykorzystane do opracowywania precyzyjnych planów nawozowych, uwzględniając mozaikę glebową na danym polu.

Zobrazowanie różnic stanu zdrowia roślin (wywołanych głównie niedoborem wody w środowisku glebowym) jest możliwe dzięki zestawieniu proporcji światła odbitego od roślin i przechwyconego w pasmach: czerwonym, zielonym, niebieskim oraz w bliskiej podczerwieni. Odbicie światła przez rośliny dobrze zaopatrzone w składniki pokarmowe i wodę różni się w stosunku do roślin niedostatecznie odżywionych lub chorych. Rośliny zdrowe, dobrze zaopatrzone w wodę i składniki odżywcze odbijają światło zielone oraz światło bliskiej podczerwieni (NIR, ang. *Near-infrared*) w większym stopniu niż rośliny słabiej odżywione czy chore.

Wykorzystanie bezzałogowego statku powietrznego z kamerą multispektralną o wysokiej rozdzielczości wykonującej dokładne zdjęcia (kamera RGB – Red Green

Blue ze zmodyfikowanymi filtrami NIR – near infrared), dzięki szybkiej interpretacji danych (poprzez wykorzystanie dedykowanych programów do ich obróbki), pozwala ocenić stan upraw i podjąć odpowiednią decyzję (np. czy dana uprawa wymaga dodatkowego nawadniania, interwencji wykonania oprysku czy jest gotowa do zbioru plonu itp.).

Dane z BSP służą również do oceny bardziej złożonych parametrów, takich jak monitorowanie biomasy upraw (Hunt i in. 2005), mapowanie wigoru winnic (Primicerio i in. 2012) czy lokalizacja i identyfikacja ognisk chwastów. Interesujący przykład integracji sensora hiperspektralnego i termicznego przedstawili Berni i in. (2009), którzy wykazali przydatność obrazów pozyskiwanych z BSP do wykrywania deficytu wodnego w uprawach. W swoich badaniach autorzy ci oprócz pomiaru temperatury wykorzystali liczne wskaźniki odbicia światła i fluorescencji, potwierdzając, że najlepsze rezultaty w ocenie stresu wodnego dają wskaźniki oparte na zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni.

Wskaźniki wegetacyjne obliczane na podstawie danych spektralnych znajdują szerokie zastosowanie również w prognozowaniu plonów. Gong i in. (2018) wykazali przydatność połączenia informacji o wskaźnikach, takich jak NDVI (znormalizowany wskaźnik różnicowy roślinności), NDRE (znormalizowany wskaźnik różnicy czerwonej krawędzi), TVI (ang. *Tasseled Cap Visual Index*) i SAVI (ang. *Soil Adjusted Vegetation Index*) z danymi o liczebności liści uzyskiwanymi za pomocą kamery hiperspektralnej do precyzyjnego szacowania plonu rzepaku. Podobnie badania nad efektywnością różnych strategii nawożenia azotowego w uprawach potwierdzają, że analiza danych z BSP pozwala na obiektywną ocenę reakcji roślin na zastosowane zabiegi (Hunt i in. 2005).

Niezwykle ważnym zadaniem realizowanym z wykorzystaniem BSP jest mapowanie gleby, które dostarcza precyzyjnych informacji do wykorzystania przy ustalaniu płodozmianów, planu nawożenia i prognozowaniu plonów (Yu i in. 2016). Nowoczesne rolnictwo precyzyjne odchodzi od traktowania pól uprawnych jako jednorodnych powierzchni. Dzięki danym teledetekcyjnym możliwe jest wyznaczenie stref zarządzania o odmiennych właściwościach. Obrazy multispektralne pozwalają zidentyfikować obszary, gdzie rośliny wykazują objawy stresu, co może wskazywać na lokalne niedobory składników pokarmowych, złą strukturę gleby lub jej niewystarczającą wilgotność.

Drony wykorzystywane w sektorze rolniczym są często wyposażone w systemy do kartowania czy mapowania powierzchni, które umożliwiają tworzenie map terenowych i ich analizę za pomocą kamer multispektralnych. Za pośrednictwem kamer wielospektralnych oraz różnego rodzaju czujników, w które są wyposażane bądź wyposażane drony, można zbierać dane o zróżnicowanych parametrach wzrostu upraw, takich jak gęstość, zdrowotność czy podaż na stres. To pozwala na dokładniejsze monitorowanie stanu upraw i dostosowanie strategii nawożenia czy stosowania oprysków fungicydowych czy pestycydowych (Gabriel i in. 2017, Mazur i Chojnacki 2017).

Metoda mapowania obszarów rolniczych za pomocą kamer wielospektralnych pozwala na obrazowanie środowiska rolniczego dotyczącego zdrowotności roślin pod kątem występowania chorób, szkodników, potrzeb nawozowych oraz innych, jak np. uwilgotnienia gleby. Pozwala na precyzyjniejsze wyznaczenie zasięgu suszy w stosunku do metod tradycyjnych opartych na pomiarach punktowych, które podlegają interpolacji. Nowoczesna technologia zobrazowań multispektralnych pozwala w bardzo krótkim czasie na uzyskanie indeksów, takich jak NDVI, na podstawie których można zaobserwować zmiany zachodzące w uprawach rolnych. Dzięki wykorzystaniu zobrazowań multispektralnych można stworzyć mapę całej uprawy (wielohektarowej), która wskazuje różnice zdrowotne między roślinami spowodowane m.in. niedoborem wody z perspektywy innej niż z poziomu ziemi. Dodatkowo z wysokości przelotowej bezzałogowego statku powietrznego (do ok. 2800 m) możliwe jest obserwowanie różnic w odżywieniu roślin wynikających ze zmienności gleb, monitorowanie stanu zdrowia roślin, określanie szkód wyrządzonych przez agrofagi, grzyby czy szacowanie ilości biomasy. Dzięki temu można w krótkim czasie podjąć działania mające na celu poprawę stanu zdrowia upraw. Innowacyjna metoda teledetekcji stosowana szeroko w rolnictwie, wykorzystująca wskaźniki np. NDVI, umożliwia wykrywanie różnic w uprawach rolnych, oceniając stan zdrowia roślin w ciągu kilku minut od rozpoczęcia obrazowania. Pozwala to na tworzenie dokładnego zobrazowania na bardzo dużym obszarze. Takie podejście umożliwia wdrożenie strategii ukierunkowanego próbkowania gleby TSS (ang. *targeted soil sampling*). Zamiast pobierać próbki w sposób losowy lub w regularnej siatce, można je pobrać z miejsc reprezentatywnych dla wydzielonych stref o niskiej, średniej i wysokiej produktywności. Badania potwierdzają, że taka strategia jest bardziej efektywna kosztowo i dostarcza dokładniejszych danych do tworzenia map zasobności glebowej. Analiza próbek gleby, pobieranych najczęściej z głębokości do 30 cm, dostarcza informacji o jej strukturze, zawartości materii organicznej, pH, zasoleniu czy zasobności w kluczowe makro- i mikroelementy. Dane te sprzężone z systemem pozycjonowania GPS (ang. *Global Positioning System*) pozwalają na stworzenie precyzyjnych, cyfrowych map zmienności glebowej. Szczególne znaczenie w rolnictwie ma zarządzanie azotem, który jest podstawowym składnikiem plonotwórczym. Alternatywą dla tradycyjnych testów chemiczno-rolniczych staje się teledetekcyjna ocena stanu odżywienia roślin. Multispektralne sensory instalowane na dronach przechwytyują światło odbite od roślin, co pozwala obliczyć współczynniki odbicia i na ich podstawie ocenić zawartość chlorofilu, która jest silnie skorelowana ze stanem odżywienia azotem. Badania wykazują, że wykorzystanie wskaźników wegetacyjnych, zwłaszcza tych opartych na paśmie z pogranicza czerwieni i bliskiej podczerwieni (red edge), pozwala na ocenę zawartości azotu w roślinach z bardzo dużą dokładnością (Wang i in. 2019, Wesseling i in. 2020). Posiadając tak precyzyjne dane, możliwe jest zastosowanie technologii zmiennego dawkowania nawozów VRA (ang. *Variable Rate Application*). Mapa aplikacyjna wygenerowana na podstawie danych z drona jest wprowadzana do komputera ciągnika z rozsiewaczem lub opryskiwaczem, który automatycznie dostosowuje dawkę nawozu do potrzeb roślin

w konkretnym fragmencie pola. Takie rozwiązanie pozwala na znaczące ograniczenie kosztów związanych z zakupem nawozów, zwiększenie efektywności ich wykorzystania przez rośliny, a co najważniejsze, minimalizuje negatywny wpływ rolnictwa na środowisko poprzez redukcję ryzyka zanieczyszczenia wód gruntowych azotanami (Schirrmann i in. 2016). Ręczne opryskiwanie dużych obszarów produkcyjnych może być trudnym i czasochłonnym zadaniem. Drony używane do oprysków oferują znaczną przewagę pod względem wydajności i oszczędności czasu. Dzięki możliwości szybkiego i autonomicznego pokonywania rozległych obszarów drony te mogą zakończyć operacje wykonywania zadanego zadania, np. oprysku, w znacznie krótszym czasie niż tradycyjne metody. W wyniku użycia drona nie tylko zwiększa się produktywność, ale też rolnicy mają czas na skoncentrowanie się na innych zadaniach. Tradycyjne metody opryskiwania często powodują nierównomierne stosowanie pestycydów, nawozów lub herbicydów, co prowadzi do nieracjonalnego wykorzystania chemii w rolnictwie i potencjalnej szkody dla środowiska. Wykorzystanie do oprysku dronów, które będą wyposażone w zaawansowane sensory i technologię GPS-RTK (ang. *Global Positioning System- Real-Time Kinematic*) i podążają za wcześniej zdefiniowanymi trasami lotu z dokładnością na poziomie centymetrów, może znacznie ułatwić pracę rolników. Drony służące do oprysku wyposażone są w zaawansowane systemy nawigacji, które pozwalają na precyzyjne poruszanie się po polach uprawnych. Systemy te umożliwiają utrzymanie stabilnej pozycji drona w powietrzu i dokładne przemieszczanie się wzdłuż wyznaczonej trasy (zadanej misji). Dodatkowo drony są wyposażone w zaawansowane systemy rozsiewające nawozy, które umożliwiają równomierne i kontrolowane stosowanie wsadu. Zastosowanie tego typu systemów daje możliwość efektywnego rozprowadzania środków ochrony roślin lub nawozów, w tym precyzyjnego dawkowania nawozów bądź aplikacji środków z jej dostosowaniem do warunków panujących na polu produkcyjnym, w czasie rzeczywistym, w zależności od zdrowotności roślin, na wcześniej zmapowanych (optymalne pokrycie pola uprawnego) dużych obszarach, w krótkim czasie, w sposób bezszkodowy dla roślin uprawnych. Na podstawie wcześniej określonych planów nawozowych dron może automatycznie obliczyć optymalną trasę lotu, uwzględniając kształt pola i różne strefy nawożenia. Dzięki temu zapewnia się równomierne i skuteczne stosowanie nawozów. Drony mogą także automatycznie dostosować prędkość lotu, wysokość i sposób stosowania (dawkę) środków ochrony roślin w zależności od warunków panujących na polu produkcyjnym, stosując autonomiczne tryby pracy. Dzięki temu można precyzyjnie ukierunkować i równomiernie stosować środki ochrony roślin, redukując nadmierne opryskiwanie i minimalizując ryzyko zanieczyszczenia środowiska. Jedną z najważniejszych zalet stosowania dronów do oprysku jest poprawa bezpieczeństwa rolników, którzy mogą zachować bezpieczną odległość od wykonywanego oprysku. Zastępując konieczność obecności fizycznej rolnika podczas operacji opryskiwania, drony zmniejszają ryzyko kontaktu ze szkodliwymi substancjami chemicznymi. Ponadto dzięki precyzyjnemu stosowaniu zmniejsza się ilość ŚOR (środków ochrony roślin) wprowadzanych do środowiska. Czas lotu drona może się różnić w zależności od jego modelu, wielkości, rodzaju

napędu (spalinowe, elektryczne), zastosowanej baterii oraz obciążenia. Typowy czas lotu drona o napędzie elektrycznym wynosi od 20 do 50 min na jednym naładowaniu baterii, w zależności od wielu czynników, m.in. obciążenia, warunków pogodowych, prędkości lotu czy trybu pracy. Zasięg drona również zależy od konkretnego modelu. Przeważnie wynosi od kilku do kilkunastu kilometrów. Warto jednak zaznaczyć, że może być on ograniczony przez regulacje prawne dotyczące lotów dronów, warunki atmosferyczne oraz przeszkody na trasie lotu.

W analizie kosztów użytkowania bezzałogowych platform latających wskazano głównie na: niską cenę zakupu i koszty eksploatacji, niską awaryjność oraz możliwość prowadzenia działań w otwartym terenie, zdolność startu i lądowania z jednego punktu, zdolność do wykonywania tzw. „zawisu”, co może ułatwiać analizę wykonywania dokładnych zdjęć, niewielkie rozmiary oraz niską wrażliwość na warunki pogodowe, łatwość i szybkość przygotowania do lotu, łatwość transportu, wykonywanie lotów w trybie automatycznym, jak i manualnym.

### Przykłady dronów wykorzystywanych do mapowania

**JOUAV CW-15** wyróżnia się jako najwyższej klasy dron LiDAR przeznaczony do zadań mapowania dużych obszarów. JoLiDAR-120 oferuje imponujące specyfikacje, takie jak zakres pomiarowy 1430 m, maksymalna częstotliwość punktowa  $1,8 \text{ mln pkt} \cdot \text{s}^{-1}$  i maksymalna liczba ech 15. Zapewnia to niezrównaną dokładność w pionie i poziomie, z precyzją lepszą niż odpowiednio: 3 cm i 5 cm. Jedną z wyróżniających się cech CW-15 jest zaawansowane oprogramowanie do przetwarzania chmur punktów, które zwiększa dokładność danych poprzez automatyczne dopasowywanie, segmentację, poziomowanie i nie tylko. Ten dron może pionowo startować i lądować nawet w ograniczonych przestrzeniach, takich jak klify i lasy, zapewniając doskonałe możliwości adaptacji. Przy maksymalnym czasie lotu wynoszącym 180 min zapewnia dłuższe misje, a funkcje RTK i PPK gwarantują autonomiczne lądowanie pionowe z dokładnością do centymetra oraz precyzyjne dane POS. Co więcej, może samodzielnie omijać przeszkody, dostosowywać się do zróżnicowanego terenu i wykrywać inne drony wyposażone w moduły ADS-B. Dzięki udźwigowi 3 kg i otwartej architekturze umożliwiającą dostosowywanie CW-15 jest odpowiedni dla profesjonalistów z takich dziedzin, jak geodezja, inspekcja infrastruktury, nadzór bezpieczeństwa i rolnictwo.

**JOUAV CW-007** to wszechstronny dron VTOL (pionowy start i lądowanie) dostosowany do zadań mapowania GIS. Dzięki pełnoklatkowej kamerze RGB CA103 61 MP z podświetlanym czujnikiem CMOS i obiektywem 35 mm dron ten oferuje wyjątkową jakość i dokładność obrazu, co czyni go idealnym wyborem dla profesjonalistów zajmujących się geodezją, inspekcją infrastruktury, nadzorem bezpieczeństwa i rolnictwem. Osiągając absolutną dokładność do 1 cm, wyróżnia się dostarczaniem precyzyjnych danych mapowych. Dzięki wysokiej wydajności CW-007 może pokryć duże obszary podczas jednego lotu, co czyni go wysoce wydajnym narzędziem do

mapowania. Jego modułowa konstrukcja pozwala na łatwy montaż i demontaż bez użycia narzędzi w czasie krótszym niż 2 min. Dron posiada również możliwość lotu autonomicznego, co pozwala mu automatycznie omijać przeszkody w trakcie lotu i samodzielnie wracać w przypadku problemów. Zbudowany z solidnego płatowca z włókna węglowego zapewnia stabilność i trwałość nawet w trudnych warunkach, w tym w lekkim deszczu i śniegu.

**WingtraOne Gen II** wyróżnia się jako wyjątkowy dron do zadań fotogrametrycznych i mapowania. Wyposażony w kamerę Sony 61 MP RGB doskonale rejestruje obrazy o wysokiej rozdzielczości w celu precyzyjnego mapowania. Jest idealny do pomiarów geodezyjnych, rolnictwa precyzyjnego i kontroli infrastruktury. Dzięki platformie Tailsitter VTOL oferuje niezwykle czas lotu do 59 min, obejmujący rozległe obszary w jednym locie. Dron ma zasięg sterowania wynoszący 10 km i obsługuje PPK (ang. *post-processed kinematic*), zapewniając dokładne georeferencje bez naziemnych punktów kontrolnych. Dodatkowo może przenosić specjalistyczne kamery, takie jak kamera Oblique Sony a6100 do modelowania 3D i czujniki wielospektralne dla rolnictwa.

**Sensefly eBee X stałopłat** posiada unikalne rozszerzenie Endurance Extension zapewniające imponujący czas lotu do 90 min, co umożliwia rozległe pokrycie dużych obszarów bez konieczności częstych lądowań. Dzięki funkcji High Precision on Demand osiąga niezwykle dokładność do 3 cm bez konieczności stosowania naziemnych punktów kontrolnych. Ten dron jest lekki, waży zaledwie 700 g, co ułatwia transport. Nadaje się do pomiarów geodezyjnych, rolnictwa precyzyjnego i kontroli infrastruktury. eBee X może być również wyposażony w specjalistyczne kamery do rekonstrukcji 3D i tworzenia map termicznych, co czyni go wszechstronną opcją dla profesjonalistów zajmujących się mapowaniem.

**DJI Matrice 300 RTK** to potężny dron wielowirnikowy, który wyróżnia się nie tylko w misjach inspekcyjnych, poszukiwawczo-ratowniczych, ale także w różnych zastosowaniach mapowych. Dron ten jest wyposażony w najnowszą technologię RTK dzięki czemu oferuje niezrównaną precyzję i możliwości nawigacji, nawet w trudnych warunkach. Ze względu na imponujący czas lotu wynoszący 55 min może pokryć znaczne obszary podczas jednego lotu. Wytrzymała konstrukcja Matrice 300 RTK gwarantuje, że wytrzyma on trudne warunki, dzięki czemu nadaje się do szeregu zadań mapowych. Potrójnie redundantny system i zaawansowana technologia nawigacji gwarantują dokładność i niezawodność. Dodatkowo ten dron RTK jest wyposażony w wysokowydajny system gimbału zapewniający stabilne obrazowanie podczas lotu i umożliwia sterowanie kamerą w czasie rzeczywistym. Kompatybilność z LiDAR dodatkowo zwiększa możliwości mapowania.

**Freefly Alta X z RTK** to doskonały wybór do zastosowań związanych z mapowaniem i modelowaniem 3D. Dron ten wyróżnia się modułową konstrukcją umożliwiającą łatwą integrację różnych systemów ładunku oraz dostosowanie go do szerokiego zakresu wymagań misji. Dzięki czterem mocnym silnikom o maksymalnej

mocy ciągłej 100 A Alta X może przenosić ładunki o masie do 16 kg. Jego czas lotu to 50 min, a prędkość maksymalna  $137 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , dzięki czemu nadaje się do zadań związanych z dynamicznym mapowaniem. Dron jest kompatybilny z szeroką gamą ładunków, w tym z przegubowym czujnikiem podczerwieni, kamerami mapującymi, LiDAR, czujnikami hiperspektralnymi i systemami dostarczania. Zaawansowana konstrukcja ostrza redukuje wibracje, zapewniając czystsze gromadzenie danych i wysokiej jakości nagrania.

**DJI Phantom 4 RTK** posiada kilka niezwykłych funkcji, które zwiększają jego możliwości mapowania. Dzięki zintegrowanemu modułowi RTK Phantom 4 RTK dostarcza w czasie rzeczywistym dane o pozycji na poziomie centymetra, poprawiając absolutną dokładność metadanych obrazu. Zapewnia to precyzyjne wyniki mapowania, co czyni go idealnym rozwiązaniem dla geodetów i specjalistów GIS. Ponadto kompatybilność z kamerami termowizyjnymi 4K i FLIR Vue 336 zwiększa jego użyteczność podczas nalotów mapujących. Przyjazna dla użytkownika konfiguracja drona i niezawodny system autopilota sprawiają, że jest on dostępny zarówno dla początkujących, jak i ekspertów. Co więcej, zaawansowany system wykrywania i unikania przeszkód zapewnia bezpieczeństwo podczas skomplikowanych misji mapowych.

**Autel EVO II Dual 640T Enterprise** może być wykorzystywany głównie do mapowania z wykorzystaniem sensorów termalnych. Ten dron oferuje niezwykle zasięg transmisji wideo do 15 km i imponującą 8-stopniową odporność na wiatr, dzięki czemu może sprostać trudnym zadaniom związanym z mapowaniem. Dzięki dwóm kamerom obsługującym obrazowanie termowizyjne w podczerwieni w rozdzielczości do  $640 \times 512$  przy  $30 \text{ kl} \cdot \text{s}^{-1}$ , EVO II Dual 640T przoduje w przechwytywaniu szczegółowych danych termowizyjnych. Dodatkowo jest wyposażony w kamerę wideo 8K, wideo 4K HDR, kamerę 48 MP i 4-krotny bezstratny zoom do zdjęć lotniczych w wysokiej rozdzielczości. Inteligentne planowanie tras, unikanie przeszkód i algorytmy AI dodatkowo zwiększają możliwości mapowania. Funkcja pozycjonowania Autel VIO zapewnia bezpieczne zwroty nawet w niesprzyjających warunkach, a moduł RTK zapewnia centymetrową dokładność. Dzięki 19 zestawom czujników, w tym czujnikom wizyjnym i podwójnemu IMU ten dron może z łatwością tworzyć mapy 3D i dane o terenie w czasie rzeczywistym.

**Yuneec H520 RTK** to niedrogie narzędzie do mapowania, które łączy w sobie przystępną cenę z funkcjami niezbędnymi do precyzyjnego mapowania z powietrza. Jest wyposażony w moduły GPS i GLONASS, które zapewniają bardzo dokładne pozycjonowanie, co czyni go niezawodnym wyborem do różnych zastosowań. Ten sześciowirnikowy Hexacopter ma chowane podwozie, co zwiększa jego stabilność podczas lotu. To, co wyróżnia H520 RTK, to wymienny system gimbała pozwalający na użycie jednej z trzech opcji z możliwością wymiany podczas pracy. Gimbał umożliwia ciągły obrót o 360 stopni i posiada 7-calowy wyświetlacz na kontrolerze, dzięki czemu uzyskuje się wyraźny widok danych map.

**DJI Mavic 3 Enterprise** wyróżnia się jako najlepszy dron DJI do celów mapowania. Jest wyposażony w najnowocześniejszą kamerę z hybrydowym zoomem, oferującą zoom do 56x i mechaniczną migawkę, która zapobiega rozmyciu obrazu w ruchu podczas szybkich pomiarów. Dron ten można dodatkowo ulepszyć za pomocą opcjonalnego modułu RTK zapewniającego dokładność na poziomie centymetra. Dzięki niezwykle maksymalnemu zasięgowi sterowania wynoszącemu 15 km, Mavic 3 Enterprise wyróżnia się w lotach na duże odległości i utrzymuje stabilny sygnał nawet na maksymalnych dystansach. System DJI AirSense zapewnia bezpieczeństwo, ostrzegając pilotów o pobliskich samolotach i zwiększając ogólne bezpieczeństwo podczas misji.

Przykłady dronów opryskowych i/lub rozsiewających nawóz, które mają zastosowanie w rolnictwie:

**DJI Agras T25/50** jest jednym z najbardziej zaawansowanych modeli dostępnych na rynku. Wyposażony jest w system opryskowy i dużą pojemność zbiornika na ciecz, dzięki któremu może efektywnie opryskiwać duże obszary bez konieczności częstego uzupełniania zbiornika. Posiada także zaawansowany system pozycjonowania RTK, który umożliwia precyzyjne i zaplanowane operacje oprysku. Agras oferuje imponujący zasięg, umożliwiający długie misje lotów. Dron może pracować na odległość do 3 km od operatora, co zapewnia szerokie pokrycie pola uprawnego. Co więcej, czas lotu wynosi ok. 10 min z pełnym obciążeniem, co pozwala na efektywne wykorzystanie czasu podczas operacji opryskiwania. Ponadto oferuje funkcje automatyzacji i programowalności, które znacznie ułatwiają proces opryskiwania. Dron może być zaprogramowany do wykonywania konkretnych tras lotu, ustalania parametrów opryskiwania i kontrolowania dawek stosowanych substancji. Możliwość automatycznego powtarzania misji pozwala na precyzyjne i spójne opryskiwanie całego pola. DJI Agras T25/50 jest wyposażony w intuicyjny system sterowania, który umożliwia łatwe i precyzyjne prowadzenie drona. Ponadto dron posiada wiele zaawansowanych systemów bezpieczeństwa, takich jak czujniki przeszkód, alarmy niskiego poziomu baterii i funkcje automatycznego powrotu w przypadku utraty sygnału lub niskiego stanu baterii.

**Yamaha R-MAX (dron o napędzie spalinowym)** jest szeroko stosowany w rolnictwie i ma długą historię użytkowania. Zaprojektowany specjalnie do celów rolniczych, oferuje dużą wydajność i trwałość. Posiada system opryskowy o dużej pojemności oraz zaawansowane funkcje nawigacyjne, które umożliwiają precyzyjne operacje opryskiwania. R-MAX jest wyposażony w duży zbiornik na ciecz roboczą o pojemności 16 litrów. Dzięki temu dron może opryskiwać większe obszary bez konieczności częstego uzupełniania płynu. Jest także wyposażony w zaawansowany system opryskiwania, który zapewnia równomierne rozprzaskanie oprysków na polu. Dysze i system rozpylania zostały zoptymalizowane w celu minimalizacji strat i zapewnienia skuteczności aplikacji. R-MAX osiąga wysoką prędkość lotu, co

umożliwia szybkie i efektywne pokrycie obszaru uprawnego. Dzięki temu dron może skutecznie opryskiwać duże pola w krótkim czasie. R-MAX oferuje imponujący zasięg umożliwiający prowadzenie operacji na znacznej odległości od operatora. Może działać na odległość do 1,5 km od pilota. Co więcej, czas lotu wynosi ok. 60–90 min w zależności od warunków lotu i obciążenia. R-MAX oferuje funkcje programowalności, które umożliwiają zaprogramowanie drona do wykonywania konkretnych tras lotu i ustalania parametrów opryskiwania. Dron może również automatycznie powtarzać misje, zapewniając precyzyjne i spójne aplikacje na całym polu. Yamaha R-MAX został zaprojektowany z myślą o bezpieczeństwie i niezawodności. Dron posiada zaawansowane systemy bezpieczeństwa, takie jak czujniki przeszkód, alarmy niskiego poziomu paliwa i funkcje automatycznego powrotu w przypadku utraty sygnału lub niskiego stanu paliwa.

**XAG P30** to kompaktowy model drona, łatwy do obsługi. Wyposażony w system opryskowy i inteligentne funkcje sterowania, co zapewnia precyzyjne opryskiwanie przy jednoczesnym minimalnym wpływie na środowisko. Posiada także technologię rozpoznawania przeszkód, pozwalając na bezpieczne manewrowanie w trudnych warunkach terenowych. P30 jest wyposażony w duży zbiornik na ciecz roboczą o pojemności 30 litrów. Oferuje on duży zasięg, umożliwiający prowadzenie operacji na większych obszarach. Dron może działać na odległość do 3 km od operatora. Co więcej, czas lotu wynosi ok. 30–40 min w zależności od warunków lotu i obciążenia. P30 jest wyposażony w inteligentne funkcje, takie jak czujniki i kamery, które umożliwiają zbieranie danych dotyczących zdrowotności roślin i przesyłanie ich do systemów analizy, co pozwala na szybkie wykrywanie obszarów wymagających interwencji.

**XAG V40** to innowacyjny dron rolniczy opryskowy, który oferuje zaawansowane możliwości techniczne. Posiada pojemny zbiornik na ciecz roboczą o pojemności 40 litrów. Oferuje także duży zasięg umożliwiający prowadzenie operacji na rozległych obszarach. Dron może działać na odległość do 3 km od operatora, co zapewnia szerokie pokrycie pola uprawnego. Co więcej, czas lotu wynosi ok. 30–40 min w zależności od warunków lotu i obciążenia. V40 oferuje funkcje automatyzacji i programowalności, które ułatwiają proces opryskiwania. Dron może być zaprogramowany do wykonywania określonych tras lotu, ustawiania parametrów opryskiwania i kontrolowania dawek stosowanych substancji. Możliwość automatycznego powtarzania misji pozwala na precyzyjne i spójne opryskiwanie całego pola.

**DJI Agras MG-1S** oferuje doskonałą kombinację wydajności i precyzji. Dron wyposażony jest w silny system opryskowy, co umożliwia równomierne i precyzyjne stosowanie agrochemikaliów. Posiada również zaawansowane systemy nawigacyjne i funkcje inteligentnego planowania trasy, które pozwalają na skuteczne i efektywne opryskiwanie. Agras MG-1 posiada duży zbiornik na ciecz roboczą o pojemności 10 litrów i oferuje imponujący zasięg umożliwiający prowadzenie operacji na rozległych obszarach. Dron może działać na odległość do 3 km od operatora. Co więcej, czas lotu wynosi ok. 10–15 min, w zależności od warunków lotu i obciążenia.

**AGRICULTURE X6** to zaawansowany dron rolniczy opryskowy, który oferuje imponujące możliwości techniczne. X6 posiada duży zbiornik na ciecz roboczą o pojemności, która może wynosić nawet do 16 litrów. Oferuje również duży zasięg działania umożliwiający prowadzenie operacji na rozległych obszarach. Dron może działać na odległość do 2 km od operatora. Co więcej, czas lotu wynosi ok. 15–20 min, w zależności od warunków lotu i obciążenia.

### Przepisy i ograniczenia prawne

Dron jest to zwyczajowo używana nazwa bezzałogowego statku latającego, urządzenia przystosowanego do lotów bez załogi. Prawidłowe nazewnictwo tej zwyczajowej nazwy to:

- bezzałogowy statek powietrzny;
- bezzałogowy system powietrzny (UAS, ang. *unmanned aerial system*);
- bezzałogowy system latający (BSL);
- system bezzałogowego statku powietrznego (SBSP – używany dla całości systemu, wliczając drona wraz z urządzeniami wspomagającymi lot, takie jak przekaźniki, nadajniki RC, stacje do generowania i przetwarzania misji, anteny itp.).

Drony można podzielić na 2 grupy ze względu na sposób pilotowania, tj.:

- pilotowane ręcznie przez pilota lub pilota wykorzystującego operatora znajdującego się na ziemi w czasie rzeczywistym w celu zwiększenia zasięgu lotu VLOS (ang. *Visual Line of Sight*). To standardowa i domyślna forma operacji. Można zaplanować i uruchomić misję autonomiczną, ale wymaga to przez cały czas trwania misji utrzymywania drona w zasięgu wzroku pilota/obserwatora i gotowości do przejęcia kontroli;
- wykonujące lot automatycznie, pilotowane przez komputer poprzez wcześniej zaprogramowaną przez pilota (obserwatorów) misję; dotyczy lotów BVLOS (ang. *Beyond Visual Line of Sight*), planowania misji FIR (ang. *Flight Information Region*; Rejon Informacji Lotniczej) itp.

Dodatkowo drony pilotowane przez pilota poprzez nadajnik możemy podzielić na:

- loty VLOS, czyli loty w zasięgu wzroku (pilot/obserwator drona nie traci kontaktu wzrokowego z maszyną i jest zobligowany do utrzymywania zadanych odległości pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem);
- loty BVLOS, czyli loty poza zasięgiem wzroku, czyli loty w których pilot kontroluje maszynę poprzez sygnał wizyjny przekazywany drogą radiową przez obserwatora i/lub sygnał pozycjonowania bez kontaktu wzrokowego z odbiornikiem. Wykonywanie lotu, w którym pilot nie widzi drona jest operacją BVLOS. Takie loty są obciążone znacznie większym ryzykiem i w Polsce (oraz całej Unii Europejskiej) wymagają uzyskania specjalnego zezwolenia Urzędu Lotnictwa Cywilnego (ULC), najczęściej po przeprowadzeniu oceny

ryzyka SORA (ang. *Specific Operations Risk Assessment*; Analiza Ryzyka dla Specyficznej Operacji Lotniczej). Wykonanie takiego lotu bez odpowiednich uprawnień i zgód jest nielegalne.

Drony ze względu na rodzaj, przeznaczenie oraz konstrukcję można podzielić na kilka typów i kategorii, wskazując na ich przeznaczenie bądź charakterystykę. Najczęściej jednak drony dzielimy na:

- wielowirnikowce;
- stałopłaty (płatowce);
- jednowirnikowce (helikoptery);
- aerostaty (sterowce);
- miękkołaty;
- konstrukcje hybrydowe (np. połączenie dronów elektrycznych z napędem spalinowym, drony pionowego startu i lądowania z przejściem w lot poziomy);
- eksperymentalne (np. drony z napędem rakietowym).

Najczęściej wykorzystywaną konstrukcją używaną w lotach sportowych i rekreacyjnych (w lotach cywilnych) są systemy wielowirnikowe z napędem elektrycznym. Drony te są chętnie wybierane zarówno przez amatorów, jak i użytkowników profesjonalnych ze względu na lekkość konstrukcji przy zachowaniu wysokiej stabilności podczas lotu. Dużą zaletą tego typu konstrukcji jest fakt, iż mogą startować i lądować w pionie, co jest ważne w ciasnych przestrzeniach np. miasta.

Drony mogą też być klasyfikowane ze względu na masę, co jest istotne zwłaszcza w stosowanych regulacjach prawnych oraz ze względu na pułap, w którym operują:

- niskopułapowe (do 120 m AGL, ang. *Above Ground Level*, co w tłumaczeniu na polski oznacza wysokość nad poziomem terenu);
- operujące na pułapach odpowiadających misjom załogowym (powyżej 120 m AGL);
- operujących w górnych pułapach atmosfery i w stratosferze (np. balony meteorologiczne).

### **Prawo lotnicze – ograniczenia i bezpieczeństwo lotów z wykorzystaniem dronów opryskowych**

Wykorzystanie dronów cywilnych przez osoby cywilne m.in. w rolnictwie, reguluje prawo lotnicze (Dz.U. z 2012 r. poz. 933 z późn. zm.; Dz.U. z 2022 r. poz. 1235). Wprowadzenie i stosowanie ustawy ma na celu zachowanie bezpieczeństwa. W 2021 r. zaczęły obowiązywać przepisy prawa zawarte w wytycznych nr 7 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego<sup>1</sup> ujednolicające korzystanie z dronów na terytorium całej

<sup>1</sup>Urzędem odpowiedzialnym za stosowanie regulacji z ww. ustawy jest Urząd Lotnictwa Cywilnego, czyli państwowa jednostka budżetowa kierowana przez prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego, będącego organem centralnej administracji rządowej właściwym w sprawach lotnictwa cywilnego.

Unii Europejskiej. Przepisy te umożliwiają pilotom i operatorom dronów pilotowanie w krajach członkowskich UE na podstawie uprawnień uzyskanych w danym kraju.

Bezzałogowe statki powietrzne w zależności od rodzaju aktu prawnego najczęściej są definiowane jako: *dowolny statek powietrzny eksploatowany lub przeznaczony do eksploatacji bez pilota na pokładzie, który może działać automatycznie lub być pilotowany zdalnie* (Dz.U. z 2018 r. art. 3 pkt 30).

Według wytycznych należy rozróżniać pojęcia: operator i pilot. Operatorem SBSP jest dowolna osoba prawna lub fizyczna eksploatująca lub zamierzająca eksploatować co najmniej jeden system bezzałogowego statku powietrznego, natomiast pilotem BSP (pilot bezzałogowego statku powietrznego) jest osoba fizyczna odpowiedzialna za bezpieczne wykonanie lotu przez bezzałogowy statek powietrzny poprzez ręczne sterowanie lotem lub automatyczne, w przypadku gdy bezzałogowy statek powietrzny wykonuje lot automatycznie. W przypadku lotu automatycznego lub autonomicznego pilot powinien monitorować lot i mieć możliwość ewentualnej zmiany kursu, anulacji misji i powrotu drona do miejsca startu.

Loty bezzałogowymi statkami powietrznymi mogą być wykonywane w trzech kategoriach:

- otwartej;
- szczegółowej;
- certyfikowanej.

Niezależnie od kategorii wykonywania lotów uprawnienia do sterowania dronami może uzyskać osoba, która ukończyła 16 rok życia, posiadająca odpowiednie kompetencje. Aby pilotować bezzałogowe statki powietrzne o wadze nieprzekraczającej 250 g, wystarczy zapoznać się z instrukcją obsługi danego drona. W przypadku dronów o masie przekraczającej 250 g konieczne jest zarejestrowanie pilota na stronie ULC, następnie ukończenie bezpłatnego szkolenia oraz zdanie egzaminu online z wiedzy teoretycznej potwierdzającej nabycie kompetencji do latania w podkategorii A1 i A3 (wyjaśnienia w dalszej części pracy).

Loty w kategorii otwartej (OPEN) odnoszą się głównie do większości lotów rekreacyjnych, sportowych i działań komercyjnych niskiego ryzyka. Są loty wykonywane w formule VLOS, czyli takie, podczas których pilot jest w stanie utrzymać stały kontakt wzrokowy z dronem nieuzbrojonym okiem w odległości nie większej niż 120 m od najbliższego punktu na powierzchni ziemi i dronami nieprzekraczającymi masy startowej MTOM 25 kg. Podczas lotu wykonywanego w kategorii otwartej obowiązkowe jest dokonanie rejestracji operatora/pilota drona wyposażonego w kamerę i/lub cięższego niż 250 g na stronie Urzędu Lotnictwa Cywilnego, posiadanie odpowiednich kwalifikacji, między innymi ukończenie szkolenia oraz zgłoszenie lotu w darmowej, mobilnej aplikacji (DroneTower), która jest częścią systemu koordynacji lotów dronów.

W zależności od ograniczeń danej operacji (misji) i wymogów, jakim podlegają piloci dronów oraz bezzałogowych statków powietrznych w kategorii otwartej występują trzy podkategorie:

- A1 – dopuszczone są przeloty nad osobami postronnymi, ale nie można wlatywać nad zgromadzenia osób (zalicza się tu zgromadzenia, w przypadku których zagęszczenie obecnych tam osób uniemożliwia im przemieszczanie się);
- A2 – nie można wlatywać nad osoby i zgromadzenia osób. Minimalna odległość pozioma od osób to 30 m lub 5 m, jeżeli dron posiada funkcję ograniczającą prędkość lotu;
- A3 – nie wolno wlatywać nad osoby i zgromadzenia osób. Minimalna odległość pozioma od terenów mieszkaniowych, użytkowych, przemysłowych lub rekreacyjnych to 150 m.

Drony wykonujące loty w kategorii otwartej również muszą spełniać odpowiednie wymagania, tj.:

- lot wykonywany jest w oparciu o przepisy art. 20 i 22 rozporządzenia UE 2019/947 (okres przejściowy trwający do 31 grudnia 2023 r.);
- należą do jednej z klas „C” określonych w rozporządzeniu delegowanym (UE) 2019/945 lub zostały skonstruowane do użytku własnego;
- mają masę startową mniejszą niż 25 kg.

Zasady wykonywania lotów opisano w tabeli 1 natomiast wszystkie wymagania, jakie muszą być spełnione podczas lotów w kategorii otwartej, znajdują się w art. 4 rozporządzenia Komisji Europejskiej (UE) 2019/947 oraz wytycznych nr 7 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 9 czerwca 2021 r.

Tabela 1

Zasady wykonywania lotów w kategorii otwartej od 1 stycznia 2024 roku

| Operacje                                 |                                       |              | Operatora Drona/Pilot                            |                                                                                |                                           |                                                               |  |  |  |  |  |
|------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|
| Klasa „C”                                | MTOM<br>(Maksymalna<br>Masa Startowa) | Podkategoria | Zasady<br>wykonywania<br>lotów                   | Czy wymagana jest<br>rejestracja                                               | Kompetencje<br>pilota                     | Minimalny<br>wiek pilota                                      |  |  |  |  |  |
| Skonstruowane<br>do użytku<br>prywatnego | <250 g                                | A1           | szczegółowe<br>zasady zostały<br>opisane poniżej | TAK<br>(nie jest<br>wymagane, jeśli<br>dron jest zabawką<br>lub nie ma kamery) | przeczytaj<br>instrukcję<br>obsługi drona | brak<br>minimalnego<br>wieku<br>(obowiązują<br>pewne warunki) |  |  |  |  |  |
| C0                                       |                                       |              |                                                  | TAK                                                                            | A1/A3                                     | 16                                                            |  |  |  |  |  |
| C1                                       | <900 g                                | A2           |                                                  |                                                                                |                                           |                                                               |  |  |  |  |  |
| C2                                       | <4 kg                                 |              |                                                  |                                                                                | A3                                        |                                                               |  |  |  |  |  |
| C3                                       | <25 kg                                |              |                                                  |                                                                                |                                           |                                                               |  |  |  |  |  |
| C4                                       | A3                                    |              |                                                  |                                                                                |                                           |                                                               |  |  |  |  |  |
| Skonstruowane<br>do użytku<br>prywatnego |                                       |              |                                                  |                                                                                |                                           |                                                               |  |  |  |  |  |
| Określone<br>w art. 20                   |                                       |              |                                                  |                                                                                |                                           |                                                               |  |  |  |  |  |

Źródło: <https://www.ulc.gov.pl/pl/drony/kategoria-otwarta-informacje>

Obowiązek rejestracji operatora dotyczy przypadków, gdy:

- masa drona wynosi 250 g lub więcej lub w przypadku drona, który podczas uderzenia może przekazać człowiekowi energię kinetyczną o wartości powyżej 80 J (jednostka energii);
- dron wyposażony jest w czujnik zdolny do zbierania danych osobowych (np. kamerę), chyba że dany dron zgodnie z dyrektywą 2009/48/WE jest uznany za zabawkę, czyli jest przeznaczony dla dzieci w wieku poniżej 14 roku życia.

W przypadku lotów odbywających się w kategorii otwartej istnieją pewne ograniczenia, do których zalicza się między innymi konieczność przestrzegania zachowania wymaganych odległości od osób i zabudowy określonych w zapisach rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) 2019/947 oraz brak możliwości wykonania lotu w strefach DRA-RL CTR < 1KM, co oznacza Strefę Geograficzną Ograniczoną (DRA-R) o niskim prawdopodobieństwie zgody na lot (RL), która znajduje się w obrębie strefy kontrolowanej lotniska (CTR) i jest oddalona od jego ogrodzenia o mniej niż 1 kilometr.

Wszystkie podstawy prawne zostały zapisane i ogłoszone w poniższych aktach prawnych:

1. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. (wersja skonsolidowana z dnia 4 kwietnia 2022 r.) w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych;
2. Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r. (wersja skonsolidowana z dnia 9 sierpnia 2020 r.) w sprawie bezzałogowych systemów powietrznych oraz operatorów bezzałogowych systemów powietrznych z państw trzecich;
3. Wytyczne nr 7 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 9 czerwca 2021 r. w sprawie sposobów wykonywania operacji przy użyciu systemów bezzałogowych statków powietrznych w związku z wejściem w życie przepisów rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) nr 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych;
4. Wytyczne nr 24 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 30 grudnia 2020 r. w sprawie wyznaczania stref geograficznych dla systemów bezzałogowych statków powietrznych.

Loty średniego ryzyka, których parametry wychodzą poza kategorię otwartą zaliczane są do kategorii szczególnej. Loty zakwalifikowane w kategorii szczególnej oparte są na ocenie ryzyka ze strony operatora, jak również Urzędu Lotnictwa Cywilnego. Wykonując loty w tej kategorii, wymagana jest rejestracja wszystkich operatorów bezzałogowych statków powietrznych bez względu na masę eksploatowanego drona. Operator BSP zobowiązany jest do złożenia w ULC oświadczenia o zgodności operacji lotniczej zgodnej z krajowym scenariuszem standardowym i otrzymania od prezesa ULC potwierdzenia odbioru i kompletności oświadczenia i zgodności operacji z krajowym scenariuszem standardowym. Pilot wykonujący loty w tej kategorii

musi posiadać certyfikat wiedzy teoretycznej oraz potwierdzenie ukończenia szkolenia praktycznego z zakresu pilotażu bezzałogowych statków powietrznych. Przed wykonaniem każdego lotu pilot zobowiązany jest do jego zgłoszenia w darmowej, mobilnej aplikacji DroneTower (Check-In).

Narodowe scenariusze standardowe (NSTS) to zasady wykonywania lotów BSP w kategorii szczególnej oraz zasady uzyskiwania uprawnień przez pilotów BSP, które zostały opublikowane przez prezesa ULC i są ważne 2 lata (jednak nie dłużej niż do 1 stycznia 2026 r.); są to następujące dokumenty:

1. Wytyczne nr 15 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-01 dla operacji w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS) lub z widokiem z pierwszej osoby (FPV), wykonywanych z użyciem bezzałogowego statku powietrznego o masie startowej mniejszej niż 4 kg.
2. Wytyczne nr 16 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-02 dla operacji w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS) z użyciem bezzałogowego statku powietrznego kategorii wielowirnikowiec (MR), o masie startowej mniejszej niż 25 kg.
3. Wytyczne nr 17 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-03 dla operacji w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych kategorii stałopłat (A) o masie startowej mniejszej niż 25 kg.
4. Wytyczne nr 18 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-04 dla operacji w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych kategorii helikopter (H), o masie startowej mniejszej niż 25 kg.
5. Wytyczne nr 19 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-05 dla operacji poza zasięgiem widoczności wzrokowej (BVLOS) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych o masie startowej mniejszej niż 4 kg, w odległości nie większej niż 2 km od pilota bezzałogowego statku powietrznego.
6. Wytyczne nr 20 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-06 dla operacji poza zasięgiem widoczności wzrokowej (BVLOS) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych kategorii wielowirnikowiec (MR), o masie startowej mniejszej niż 25 kg, w odległości nie większej niż 2 km od pilota bezzałogowego statku powietrznego.
7. Wytyczne nr 21 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-07 dla operacji poza zasięgiem widoczności wzrokowej (BVLOS) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych kategorii stałopłat (A), o masie startowej mniejszej niż 25 kg, w odległości nie większej niż 2 km od pilota bezzałogowego statku powietrznego.

8. Wytyczne nr 22 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-08 dla operacji poza zasięgiem widoczności wzrokowej (BVLOS) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych kategorii helikopter (H) o masie startowej mniejszej niż 25 kg, w odległości nie większej niż 2 km od pilota bezzałogowego statku powietrznego.

W przypadku, gdy operacja wykracza poza założenia scenariusza standardowego i nie mieści się w kategorii otwartej, jest ona wykonywana na podstawie zgody uzyskanej od prezesa ULC. W tym przypadku operator składa wniosek wraz z przeprowadzoną oceną ryzyka operacji.

Loty w kategorii szczególnej mogą odbywać się także na podstawie certyfikatu operatora lekkich systemów bezzałogowych statków powietrznych (LUC). Wydanie tego certyfikatu następuje na wniosek osoby prawnej nie cywilnej i ma na celu ocenę przez ULC prowadzonej organizacji i wykazanie, że operator jest w stanie samodzielnie ocenić ryzyko operacji. Warunki, jakie muszą być spełnione przez wnioskodawcę są zawarte w rozporządzeniu 2019/947/UE (Dz.U. UE L 152 z 11.06.2019, z późn. zm.).

W ramach kategorii szczegółowej mogą być realizowane następujące operacje:

- loty w ustalonej przez pilota bezpiecznej odległości od innych statków powietrznych, przeszkód, pojazdów, osób lub zwierząt na wypadek awarii lub utraty kontroli nad BSP;
- loty różnorodnymi BSP bez względu na ich masę/rozmiar (na podstawie NSTS-ów, zezwolenia prezesa ULC, certyfikatu LUC).

Wszystkie podstawy prawne, na których dokonywane są loty BSP w kategorii szczególnej znajdują się w poniższych aktach:

1. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. (wersja skonsolidowana z dnia 4 kwietnia 2022 r.) w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych;
2. Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r. (wersja skonsolidowana z dnia 9 sierpnia 2020 r.) w sprawie bezzałogowych systemów powietrznych oraz operatorów bezzałogowych systemów powietrznych z państw trzecich;
3. Wytyczne nr 15 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 1 czerwca 2023 r. w sprawie sposobów wykonywania operacji przy użyciu systemów bezzałogowych statków powietrznych w związku z wejściem w życie przepisów rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) nr 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych (Dz. Urz. ULC z 2023 r. poz. 25);
4. Wytyczne nr 17 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 6 czerwca 2023 r. w sprawie wyznaczania stref geograficznych dla systemów bezzałogowych statków powietrznych (Dz. Urz. ULC z 2023 r. poz. 42).

Na podstawie analizy dokumentów prawnych dotyczących wykonywania lotów bezzałogowymi statkami powietrznymi można stwierdzić, że większość lotów realizowanych na potrzeby obserwacji upraw mogą być wykonywane w kategorii otwartej. Co za tym idzie, rolnik chcący samodzielnie prowadzić takie obserwacje, powinien przejść szkolenie i zdać egzamin w formie zdalnej, nie ponosząc z tego tytułu żadnych kosztów, nie licząc kosztów zakupu lub wypożyczenia drona.

### **Regulacje prawne dotyczące dronów ciężkich (opryskowych oraz o maksymalnej masie startowej MTOM <25 kg)**

Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych do aplikacji środków ochrony roślin (SOR), potocznie zwane opryskami, jest jedną z najbardziej obiecujących technologii w rolnictwie precyzyjnym. Umożliwia ona precyzyjne, celowane dostarczanie substancji aktywnych, redukcję zużycia pestycydów, ograniczenie ugniatania gleby oraz interwencję w uprawach wysokich, niedostępnych dla tradycyjnego sprzętu naziemnego. Mimo tych zalet wdrożenie dronów opryskowych na szeroką skalę w Unii Europejskiej napotyka na znaczące bariery prawne wynikające z konieczności jednoczesnego spełnienia wymogów prawa lotniczego i restrykcyjnych przepisów dotyczących stosowania pestycydów.

Kluczową trudnością w legalnym stosowaniu dronów opryskowych jest fakt, że podlegają one dwóm niezależnym reżimom prawnym. Operator musi nawigować w gąszczu przepisów lotniczych, które dbają o bezpieczeństwo operacji w przestrzeni powietrznej oraz przepisów rolno-środowiskowych, które regulują sam proces aplikacji pestycydów. Spełnienie wymogów jednej jurysdykcji nie zwalnia z obowiązków wynikających z drugiej, co czyni cały proces skomplikowanym i wymagającym.

### **Wymogi prawa lotniczego: kategoria szczególna i ocena ryzyka SORA**

Zgodnie z jednolitymi przepisami Unii Europejskiej (Dz.U. UE L 152 z 11.06.2019, s. 45, z późn. zm.) każda operacja lotnicza, która zakłada zrzut jakiegokolwiek materiału z drona jest automatycznie wykluczona z najprostszej kategorii otwartej. Oznacza to, że oprysk z powietrza zawsze klasyfikowany jest jako operacja w kategorii szczególnej. Wymaga to od operatora uzyskania indywidualnego zezwolenia na operację od krajowego organu nadzoru lotniczego Urzędu Lotnictwa Cywilnego. Podstawą do wydania takiego zezwolenia jest analiza ryzyka przygotowana przez operatora zgodnie z metodyką SORA. Proces SORA to szczegółowa, wieloetapowa ocena zagrożeń dla bezpieczeństwa osób trzecich na ziemi oraz dla innego ruchu lotniczego. Operator musi zidentyfikować potencjalne ryzyka (np. awaria drona, utrata łączności, wlot w niekontrolowany sposób w inną strefę) i zaproponować skuteczne środki ich mitygacji zarówno na poziomie technicznym (np. systemy awaryjne, spadochron), jak i operacyjnym (np. procedury awaryjne, odpowiednie kompetencje pilota) (Villa i in. 2016). Przygotowanie dokumentacji SORA jest zadaniem złożonym i kosztownym, co stanowi pierwszą istotną barierę wdrożeniową.

## Regulacje dotyczące aplikacji pestycydów

Nawet po uzyskaniu zgody lotniczej, operator napotyka na drugą, często trudniejszą do pokonania barierę wynikającą z przepisów o zrównoważonym stosowaniu pestycydów. Głównym aktem prawnym w tym zakresie jest Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/128/WE (Dz.U. UE L 309 z 24.11.2009, s. 71, z późn. zm.). Artykuł 9 tej dyrektywy ustanawia fundamentalną zasadę: generalny zakaz wykonywania oprysków z powietrza. Użycie drona do aplikacji środków ochrony roślin jest jednoznacznie interpretowane jako oprysk z powietrza. Dyrektywa przewiduje możliwość uzyskania odstępstwa (derogacji) od tego zakazu, jednak państwa członkowskie mogą na to zezwolić tylko w wyjątkowych, ściśle określonych przypadkach. Zgoda może być wydana, jeżeli wnioskodawca udowodni, że zastosowanie metody lotniczej przynosi jednoznaczne korzyści dla środowiska lub zdrowia ludzi w porównaniu z metodami naziemnymi lub gdy metody naziemne nie są w ogóle możliwe do zastosowania (np. w terenie górzystym, w uprawach wysokich w późnych fazach wzrostu). W Polsce organem odpowiedzialnym za wydawanie takich zezwoleń jest Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa (PIORiN). Proces uzyskania zgody jest odrębny od procedury w ULC i wymaga złożenia szczegółowego wniosku uzasadniającego konieczność zastosowania metody lotniczej. Jak wskazują badania, ta restrykcyjna polityka wynikająca z troski o potencjalny znoś pestycydów jest głównym czynnikiem hamującym rozwój rynku dronów opryskowych w Unii Europejskiej (Toscano in. 2024).

Analiza regulacji prawnych wskazuje, że legalne wykorzystanie dronów do oprysków w rolnictwie jest procesem złożonym i obciążonym wysokimi barierami wejścia. Operator musi nie tylko posiadać zaawansowaną wiedzę z zakresu prawa lotniczego i oceny ryzyka SORA, ale również uzyskać odrębne zgody od instytucji rolnych, udowadniając wyższość metody lotniczej nad naziemną. Perspektywy na uproszczenie tych procedur leżą w tworzeniu przez EASA (Agencja Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego) i krajowe urzędy lotnicze standardowych scenariuszy (STS) lub predefiniowanych ocen ryzyka (PDRA), które mogłyby objąć typowe operacje opryskowe i zwolnić operatorów z konieczności przechodzenia pełnej ścieżki SORA.

Przełomem w wykorzystaniu dronów opryskowych stał się fakt wprowadzenia nowych przepisów prawnych w formie odstępstwa **LBSP/SPEC/O/2025-02**, dzięki którym Polska została pierwszym krajem w Unii Europejskiej dopuszczającym możliwość wykonywania dronem rolniczym (o masie do 105 kg) oprysków w kategorii otwartej A3 bez konieczności każdorazowego uzyskiwania pozwolenia. Dotyczy to konkretnie lotów w kategorii Open A3, czyli z dala od ludzi, nad obszarami niezamieszkanymi i zachowując odpowiednie odległości od budynków. Według przepisów należy bezwzględnie unikać latania nad ludźmi, którzy nie biorą udziału w operacji lotniczej, a operatorzy muszą być zarejestrowani, ukończyć szkolenie online i zdać test A1/A3, a w przypadku podkategorii A2 dodatkowo zdać egzamin teoretyczny

i praktyczny. Nowe przepisy mają na celu wsparcie rolnictwa wykorzystującego drony rolnicze (drony ciężkie), ułatwiając dostęp rolnikom czy producentom rolnym do nowoczesnych technologii. Jest to wyraźny sygnał, że Polska staje się liderem w zakresie przepisów dotyczących lotów bezzałogowych statków powietrznych wykorzystywanych w rolnictwie. Nowe przepisy wprowadzają istotne uproszczenie polegające na tym, że operator planujący wykonać operację z wykorzystaniem BSP o masie do 105 kg (MTOM) w celach rolniczych, ochrony zwierząt lub prezentacji sprzętu z wyłączeniem lotów sportowych i rekreacyjnych, może skorzystać ze wspomnianego odstępstwa i przeprowadzić operację w kategorii Open A3 bez potrzeby składania indywidualnych wniosków o zgodę na każdy lot. Ze względów technicznych konieczne jest spełnienie konkretnych warunków, które szczegółowo określa dokument LBSP/SPEC/O/2025-02. Pilot musi udowodnić posiadanie odpowiednich kompetencji (co najmniej certyfikat NSTS-01, NSTS-02 lub STS-01), przejść specjalistyczne szkolenie (naziemne i praktyczne) w zakresie operowania ciężkimi dronami zgodnie z procedurą odstępstwa, a także musi wykazać, że dron spełnia wymagania techniczne (m.in. posiada systemy bezpieczeństwa Geocage i RTH). Pilot podczas misji musi przestrzegać szczególnych zasad odległości, wysokości lotu i procedur bezpieczeństwa (np. maksymalna wysokość operacji to 30 m nad poziomem gruntu). Jego obowiązkiem jest również zgłoszenie misji poprzez aplikację DroneTower i wykonanie zgłoszenia lotu poprzez przejście procedury „Check-in”, co stanowi formę powiadomienia służb ruchu lotniczego. Dron podczas prowadzenia misji musi znajdować w zasięgu wzroku (VLOS), należy zachować minimum 30 metrów od zabudowań, ludzi i obiektów niekontrolowanych, a prowadzenie operacji w miejscach zgromadzeń osób jest zabronione.

Od 2024 r. w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach prowadzone są badania nad wykorzystaniem dronów opryskowych w rolnictwie. Badania skupiają się głównie na znoszeniu cieczy roboczej w różnych warunkach pogodowych oraz nad optymalną wysokością nanoszenia cieczy na rośliny (wydajność vs efektywność). Prowadzone doświadczenia w roślinach wysokorosnących (chmiel, tytoń) oraz na poligonach doświadczalnych jasno pokazują, że zastosowanie dronów do wykonywania zabiegów agrolotniczych, głównie w postaci aplikacji środków ochrony roślin, niesie za sobą wiele korzyści, takich jak precyzja, efektywność i minimalizacja negatywnego wpływu na środowisko naturalne oraz bezpieczeństwo osoby wykonującej oprysk. W tabeli 2 ukazano różnice w znosach cieczy roboczej pomiędzy wykonywanym opryskiem metodą tradycyjną a dronem po pierwszym roku prowadzonych badań.

Tabela 2

## Różnice w znosie cieczy roboczej

| Wyniki uśrednione                                                     | Dolne<br>partie liści | Środkowe<br>partie liści | Górne<br>partie liści | Procentowa<br>objętość cieczy,<br>która trafia poza<br>roślinę właściwą | Różnica w krotności<br>cieczy, która<br>trafia poza roślinę<br>opryskiwaną (metoda<br>tradycyjna vs<br>alternatywna) |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Znos (procentowa<br>różnica pomiędzy<br>znosem a rośliną<br>właściwą) | 22,10%                | 23,80%                   | 11,30%                | 19%                                                                     | 1                                                                                                                    |
|                                                                       | 1,6%<br>(325%)        | 2,3%<br>(678%)           | 2,3%<br>(700%)        | 2%                                                                      | 9,5 × mniej cieczy<br>przy zastosowaniu<br>metody alternatywnej                                                      |
|                                                                       | 0,9%<br>(467%)        | 1,2%<br>(1000%)          | 1,6%<br>(1331%)       | 1,20%                                                                   | 16 × mniej cieczy<br>przy zastosowaniu<br>metody alternatywnej                                                       |
|                                                                       | 0,2%<br>(1200%)       | 0,3%<br>(1833%)          | 0,5%<br>(2120%)       | 0,30%                                                                   | 63 × mniej cieczy<br>przy zastosowaniu<br>metody alternatywnej                                                       |

Źródło: opracowanie własne

## Podsumowanie

W wykorzystaniu dronów opryskowych kluczowe jest podejście do kwestii bezpieczeństwa. Każdy zabieg powinien być poprzedzony dobrym przygotowaniem, poczynając od zaplanowania odpowiedniego dnia do wykonywania oprysków, odpowiedniego przygotowania cieczy roboczej, zaplanowania misji do wykonania oprysku i bezpiecznego przeprowadzenia misji z wykorzystaniem chemii.

Aby bezpiecznie przeprowadzać zabiegi ochrony roślin z wykorzystaniem dronów, należy respektować następujące zalecenia:

## 1. Przestrzeganie przepisów prawa lotniczego:

- upoważnienie pilotów/operatorów do przeprowadzenia misji agrolotniczych – piloci powinni posiadać odpowiednie uprawnienia i certyfikaty, które uprawniają do przeprowadzenia lotów opryskowych;
- kwalifikacja drona opryskowego do przeprowadzenia oprysku – wydanie pozwolenia na zastosowanie danej maszyny do prowadzenia oprysków (podobnie jak z opryskiwaczami naziemnymi);
- potwierdzenie wykonania wytycznych od podmiotów odpowiedzialnych za wprowadzenie na rynek do zastosowań rolniczych środków ochrony roślin, a następnie odpowiednich pozwoleń na wykonywanie oprysków cieczami niezarejestrowanymi do zabiegów agrolotniczych;
- wykonywanie lotów w strefach powietrznych ograniczonych, w których loty dronami są ograniczone lub zakazane. Piloci wykonujący loty muszą posiadać

odpowiednie kwalifikacje uprawniające do wykonywania lotów w strefach ograniczonych.

2. Przestrzeganie przepisów BHP:

- zapoznanie się z konstrukcją, obsługą i konserwacją drona służącego do wykonywania oprysków. Piloci muszą dokładnie zapoznać się z instrukcją obsługi maszyny i przestrzegać wytycznych i zaleceń producenta;
- przestrzeganie zaleceń producenta dotyczących długości czasu lotu i zaleceń dla maksymalnego rozładowania baterii. Piloci powinni regularnie sprawdzać stan pakieta baterii i ładować zgodnie z zaleceniami producenta;
- piloci podczas planowania misji agrolotniczej powinni na bieżąco weryfikować warunki pogodowe, aby uniknąć sytuacji, w których znoszenie cieczy lub jej działanie mogłoby być inne niż zaplanowane podczas misji.

3. Zachowanie bezpieczeństwa lotów dla ochrony środowiska naturalnego:

- stosowanie środków ochrony roślin lub innych zabiegów agrolotniczych musi być poprzedzone sprawdzeniem, czy dany środek został dopuszczony do użytku do zastosowań agrolotniczych i powinny być stosowane zgodnie z ulotką;
- w celu uniknięcia zanieczyszczenia środowiska podczas wykonywania zabiegów należy unikać lub maksymalnie ograniczyć prowadzenie misji w pobliżu cieków i zbiorników wodnych;
- w celu uniknięcia zanieczyszczenia środowiska glebowego należy dostosować ilość aplikowanej cieczy do potrzeb danej rośliny, aby uniknąć nadmiernego stosowania środków i negatywnego wpływu na organizmy żywe.

4. Zapewnienie bezpieczeństwa osób trzecich:

- podczas wykonywania oprysków należy bezwzględnie zapewnić bezpieczeństwo osobom postronnym, zwierzętom oraz mieniu. Podczas prowadzenia misji zarówno autonomicznej, jak i manualnej należy obserwować otoczenie na obszarze zaplanowanej misji, a w razie potrzeby przerwać ją w sposób bezpieczny;
- piloci i osoby znajdujące się w obszarze działań dronów opryskowych muszą być zaopatrzeni w odpowiednią odzież i maski ochronne dostosowane do wykonywanego oprysku.

Komercyjnie dostępne drony opryskowe w dużej mierze są wyposażone w różne systemy bezpieczeństwa, takie jak automatyczne lądowanie w przypadku awarii czy utraty sygnału, jednak ze względu na gabaryty dronów opryskowych podczas prowadzenia misji warto wykupić ubezpieczenie OC i/lub AC, które pokryje ewentualne szkody wyrządzone przez drona (ubezpieczenie OC na korzystanie z dronów powyżej 25 kg jest obowiązkowe). Ponadto drony opryskowe warto poddawać regularnym przeglądom technicznym przez wykwalifikowany personel. Prawo lotnicze (dronowe) dotyczące zarówno lotów sportowych, jak i komercyjnych zmienia się bardzo dynamicznie, w głównej mierze ze względu na postęp w technologii, dlatego też piloci wykonujący misje opryskowe powinni regularnie uczestniczyć w szkoleniach,

które pozwolą na zdobywanie niezbędnej wiedzy i umiejętności lub przynajmniej obligatoryjnie na bieżąco śledzić zmiany w przepisach dotyczących lotów dronami.

Bezpieczeństwo jest priorytetem przy zastosowaniu ciężkich bezzałogowych statków powietrznych, jakimi są drony opryskowe. Przestrzeganie przepisów, właściwa obsługa, konserwacja oraz ciągle doskonalenie umiejętności jako pilota są kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa zarówno dla użytkownika, jak i środowiska.

## Literatura

1. Berner B., Chojnacki J.: Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych do opryskiwania upraw rolniczych. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2017, **2**: 23-25.
2. Berni J.A.J., Zarco-Tejada P.J., Suarez L., Fereres E.: Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2009, **47**(3): 722-738; DOI: 10.1109/TGRS.2008.2010457.
3. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/128/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania na rzecz osiągnięcia zrównoważonego stosowania pestycydów (Dz.U. UE L 309 z 24.11.2009, s. 71, z późn. zm.); <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0128>
4. Gabriell J.L., Zarco-Tejada P.J., Lopez-Herrera P.J., Perez-Martin E., Alonso-Ayuso M., Quemada M.: Airborne and ground level sensors for monitoring nitrogen status in a maize crop. *Biosystems Engineering*, 2017, **160**: 124-133; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.06.003>
5. Gong Y., Duan B., Fang S., Zhu R., Wu X., Ma Y.: Remote estimation of rapeseed yield with unmanned aerial vehicle (UAV) imaging and spectral mixture analysis. *Plant Methods*, 2018, **14**(1): 70; DOI: 10.1186/s13007-018-0338-z.
6. Hunt E.R., Cavigelli M., Daughtry C.S.T., McMurtrey J.E., Walthall C.L.: Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, 2005, **6**(4): 359-378; DOI: 10.1007/s11119-005-2324-5.
7. Mazur P., Chojnacki J.: Wykorzystanie dronów do teledetekcji multispektralnej w rolnictwie precyzyjnym. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2017, **1**: 25-28.
8. Miché A., Morelle K., Lehaire F., Widar J., Authélet M., Vermeulen C., Lejeune P.: Use of unmanned aerial system to assess wildlife (*Sus scrofa*) damage to crops (*Zea mays*). *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 2016, **4**(4): 266-275; DOI: 10.1139/juvs-2016-0014.
9. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 22 maja 2012 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo lotnicze (Dz.U. z 2012 r. poz. 933).
10. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 28 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo lotnicze (Dz.U. z 2022 r. poz. 1235).
11. Park J.K., Park J.: Crop Classification Using Imagery of Drone. *EERS 2015 International Conference on Environmental Engineering and Remote Sensing* (online). 2015, p. 91-94; DOI: 10.2991/eers-15.2015.22.
12. Primicerio J., Gennaro S.F.D., Fiorillo E., Genesio L., Lugato E., Matese A.: A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. *Precision Agriculture* (online first). 2012, **13**: 517-523; DOI: 10.1007/s11119-012-9257-6.
13. Reinecke M., Prinsloo T.: The influence of drone monitoring on crop health and harvest size (online). *IEEE. Conference NextComp IEEE Mauritius*. 2017; DOI: 10.1109/NEXTCOMP.2017.8016168

14. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 z dnia 4 lipca 2018 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie lotnictwa cywilnego i utworzenia Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego oraz zmieniające rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 2111/2005, (WE) nr 1008/2008, (UE) nr 996/2010, (UE) nr 376/2014 i dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/30/UE i 2014/53/UE, a także uchylające rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 552/2004 i (WE) nr 216/2008 i rozporządzenie Rady (EWG) nr 3922/91 (Tekst mający znaczenie dla EOG.) (Dz.U. z 2018 r. art. 3 pkt 30).
15. Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12 marca 2019 r. w sprawie bezzałogowych systemów powietrznych oraz operatorów bezzałogowych systemów powietrznych z państw trzecich (Dz.U. UE L 152 z 11.06.2019, s. 1, z późn. zm.).
16. Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych (Dz.U. UE L 152 z 11.06.2019, s. 45, z późn. zm.); <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX:32019R0947>
17. Rutt en A., Casaer J., Vogels M.F.A., Addink E.A., Vanden Borre J., Leirs H.: Assessing agricultural damage by wild boar using drones: wild boar damage assessment. *Wildlife Society Bulletin*, 2018, **42(4)**: 568-576; DOI: 10.1002/wsb.916.
18. S c h i r r m a n n M., Giebel A., Gleiniger H., Pflanz M., Lentschke J., Dammer K.H.: Monitoring agronomic parameters of winter wheat crops with low-cost UAV imagery. *Remote Sensing*, 2016, **8(9)**; DOI: <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/9/706>
19. T o s c a n o F., Fiorentino C., Capece N., Erra U.: Unmanned Aerial Vehicles for Precision Agriculture: A review. 2024, *IEEE Access* PP 99; DOI:10.1109/ACCESS.2024.3401018
20. Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (Dz.U. z 2012 r. poz. 933 z późn. zm.).
21. Urząd Lotnictwa Cywilnego, Kategoria otwarta – informacje; <https://www.ulc.gov.pl/pl/drony/kategoria-otwarta-informacje> (dostęp: 15.12.2025).
22. Y u N., Li L., Schmitz N., Tian L., Greenberg J.A., Diers B.W.: Development of methods to improve soybean yield estimation and predict plant maturity with an unmanned aerial vehicle based platform. *Remote Sensing of Environment*, 2016, **187**: 91-101; DOI: 10.1016/j.rse.2016.10.005.
23. W e s s e l i n g J., Kroes J., Oliveira T.C., Damiano F.: The impact of sensitivity and uncertainty of soil physical parameters on the terms of the water balance: Some case studies with default R packages. Elsevier. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2020, 170; <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105054>
24. W a n g X., Miao Y., Dong L., Zhichao C.: Developing Active Canopy Sensor-Based Precision Nitrogen Management Strategies for Maize in Northeast China. *Sustainability*, 2019, **11(3)**; DOI: 10.3390/su11030706
25. Wytyczne nr 7 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 9 czerwca 2021 r. w sprawie sposobów wykonywania operacji przy użyciu systemów bezzałogowych statków powietrznych w związku z wejściem w życie przepisów rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) nr 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych (Dz. Urz. ULC z 2021 r. poz. 34).
26. Wytyczne nr 24 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 30 grudnia 2020 r. w sprawie wyznaczania stref geograficznych dla systemów bezzałogowych statków powietrznych (Dz. Urz. ULC z 2020 r. poz. 78).
27. Wytyczne nr 15 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-01 dla operacji w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS) lub z widokiem z pierwszej osoby (FPV), wykonywanych z użyciem bezzałogowego statku powietrznego o masie startowej mniejszej niż 4 kg (Dz. Urz. ULC z 2020 r. poz. 69)
28. Wytyczne nr 16 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-02 dla operacji w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS) z użyciem bezzałogowego statku powietrznego kategorii wielowirnikowiec (MR), o masie startowej mniejszej niż 25 kg (Dz. Urz. ULC z 2020 r. poz. 70).

29. Wytyczne nr 17 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-03 dla operacji w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych kategorii stałopłat (A) o masie startowej mniejszej niż 25 kg (Dz. Urz. ULC z 2020 r. poz. 71).
30. Wytyczne nr 18 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-04 dla operacji w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych kategorii helikopter (H), o masie startowej mniejszej niż 25 kg. (Dz. Urz. ULC z 2020 r. poz. 72).
31. Wytyczne nr 19 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-05 dla operacji poza zasięgiem widoczności wzrokowej (BVLOS) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych o masie startowej mniejszej niż 4 kg, w odległości nie większej niż 2 km od pilota bezzałogowego statku powietrznego. (Dz. Urz. ULC z 2020 r. poz. 73).
32. Wytyczne nr 20 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-06 dla operacji poza zasięgiem widoczności wzrokowej (BVLOS) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych kategorii wielowirnikowiec (MR), o masie startowej mniejszej niż 25 kg, w odległości nie większej niż 2 km od pilota bezzałogowego statku powietrznego. (Dz. Urz. ULC z 2020 r. poz. 74).
33. Wytyczne nr 21 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-07 dla operacji poza zasięgiem widoczności wzrokowej (BVLOS) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych kategorii stałopłat (A), o masie startowej mniejszej niż 25 kg, w odległości nie większej niż 2 km od pilota bezzałogowego statku powietrznego. (Dz. Urz. ULC z 2020 r. poz. 75).
34. Wytyczne nr 22 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 29 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Scenariusza Standardowego NSTS-08 dla operacji poza zasięgiem widoczności wzrokowej (BVLOS) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych kategorii helikopter (H) o masie startowej mniejszej niż 25 kg, w odległości nie większej niż 2 km od pilota bezzałogowego statku powietrznego (Dz. Urz. ULC z 2020 r. poz. 76).
35. Villa T.F., Gonzalez F., Miljievic B., Ristovski Z., Morawska L.: An overview of small unmanned aerial vehicles for air quality measurements: Present applications and future prospectives. *Sensors*, 2016, **16**(7), 1072; <https://doi.org/10.3390/s16071072>
36. Odstępstwo nr LBSP/SPEC/O/2025-02 [https://ulc.gov.pl/\\_download/Wymagania\\_dla\\_operatora\\_S BSP.pdf](https://ulc.gov.pl/_download/Wymagania_dla_operatora_S BSP.pdf)

Adres do korespondencji:

*mgr inż. Tytus Berbec*  
*Zakład Biogospodarki i Agrometeorologii*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Pulawy*  
*tel. 81 47 86 758*  
*e-mail: tberbec@iung.pulawy.pl*

AUTOR

Tytus Berbec

ORCID

0000-0001-5183-5807