

Aspekty użytkowania dronów w leśnictwie

Aspect of using in forestry

**Piotr Kardasz¹, Jacek Doskocz², Michał Kruszyński³, Ewa Kardasz⁴,
Michał Adamczyk⁵, Michał Cienciała⁶**

Streszczenie : Artykuł przedstawia wiele informacji na temat działania, zastosowań dronów oraz regulacji prawnych ich dotyczących. Przedstawiono przykład użycia dronów w leśnictwie, uzasadniając czemu taki system może być w dzisiejszych czasach stosowany.

Abstract : The article presents many information on the subject of applications and actions of the drones and legal regulations about them. The example of using drones in forestry has been presented in this article with justify why such a system can be implemented in present times.

Słowa kluczowe: drony, automatyczny system z użyciem dronów, leśnictwo, automatyzacja leśnictwa, zabezpieczenie lasów

Keywords: drones, autonomous system with the use of drones, forestry, automation of forestry, forests security

1. Wprowadzenie

Drony są to bezzałogowe statki latające, wykonujące loty bez pilota i pasażerów na pokładzie. Początkowo były one wykorzystywane w celach wojskowych, a obecnie ich zastosowanie rozpowszechniło się na inne dziedziny życia. Drony cywilne różnią się w znacznym stopniu od ich wojskowych odpowiedników. Są mniejsze i napędzane silnikiem elektrycznym, podczas gdy wojskowe napędzane są silnikiem spalinowym. Drony sterowane są zdalnie za pomocą fal radiowych lub autonomicznie (z wcześniej ustaloną trasą). Nie mają określonej wielkości ani rodzaju napędu [1]. Wyposażone są często w głowice optoelektroniczne, służące do obserwacji i monitorowania. Zaletą dronów jest to, że nie potrzebują dodatkowej infrastruktury, aby w szybki sposób dokonać rejestracji i monitoringu wyznaczonego terenu, czy obiektu, jak również wyjątkowo krótki czas reakcji jeśli chodzi o uruchomienie i przygotowanie jednostki do odbycia lotu. Dron zbudowany jest z układu ruchu, który stanowią: rama wykonana z tkaniny węglowej, silnik i śmigła i system zasilania oraz z elektronicznego układu sterowania i komunikacji. Do zasilania dronów stosuje się akumulatory litowo-polimerowe, które

nie zapewniają jednak długiego lotu. Bateria wyczerpuje się po maksymalnie 20 minutach, powodując spadek drona na ziemię i trzeba ją ponownie naładować [2]. Obecnie prowadzi się wiele projektów związanych z rozwojem technologii zasilania. Należą do nich: bateria wykonana z grafenu, anody z czystego litu czy ogniwa paliwowe [2]. Bardzo ważną rolę w dronie odgrywa elektroniczny system sterowania i komunikacji. Odpowiada on za lot drona w górę, w dół, obroty, za jego reakcję na pojawiające się siły i za stabilność lotu. Zastosowane kontrolery silników stosuje się, aby zapewnić maksymalne osiągi i najwyższy poziom bezawaryjności oraz kontrolę nad stanem baterii [4].

Ze względu na ogromną funkcjonalność drony wykorzystuje się obecnie w służbach cywilnych (policja, straż pożarna, straż graniczna), w wielu gałęziach przemysłowych, w celach badawczych, w rolnictwie, górnictwie, ratownictwie medycznym. Ułatwiają one również wykonywanie pomiarów geodezyjnych oraz meteorologicznych. Drony stosowane są także do monitorowaniu obiektów, studiowania oceanów i głębin, wykonywania zdjęć lotniczych

1. Piotr Kardasz – Wrocławska Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej we Wrocławiu, Wydział Automatyki i Robotyki, ul. M. Lutra 4, 54-239 Wrocław

2. Jacek Doskocz – Klaster Badań Rozwoju i Innowacji Piłsudskiego 74, 50-020 Wrocław

3. Michał Kruszyński – Międzynarodowa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu, Sołtysowicka 19b,

4. Ewa Kardasz - Fundacja Badań Rozwoju i Innowacji Legnicka 65 54-206 Wrocław, Polski Instytut Eko Energii Sp. zo.o. Piłsudskiego 74 50-020 Wrocław

5. Michał Adamczyk - Fundacja Badań Rozwoju i Innowacji Legnicka 65 54-206 Wrocław,

6. Michał Cienciała – Politechnika Wroclawska Wydział Mechaniczny, Wybrzeże Wyspiańskiego 27 50-370 Wrocław

czy do dostarczania przesyłek. O sposobie zastosowania drona decyduje przede wszystkim jego wielkość, czas lotu oraz wartość udźwigu. Największym zainteresowaniem cieszą się urządzenia o średniej wielkości od dwóch do trzech metrów oraz mikrodrony (quadroptery). Dron średniej wielkości wykorzystywany jest najczęściej do robienia zdjęć, monitorowania upraw rolnych, patrolowania granic, obserwacji zwierząt przemieszczających się w trudnodostępnych dla człowieka terenach. Jednostki bezpilotowe są idealnymi urządzeniami do patrolowania dużych obszarów, dzięki czemu mogą być wykorzystywane do ochrony mienia czy granic państwowych. Mogą też wykonywać zdjęcia lotnicze przeznaczone do celów geodezyjnych, archeologicznych, reklamowych itp. Dzięki niewielkim rozmiarom i dużej manewrowości mogą wykonywać loty między przeszkodami, budynkami, a nawet wlatywać do pomieszczeń przez uchylone bramy, okna czy drzwi. Modele wyposażone w kamery termowizyjne oraz noktowizyjne (wykorzystujące podczerwień aktywną lub wzmacniające światło gwiazd) mogą znaleźć zastosowanie jako maszyny poszukiwawcze w akcjach ratunkowych, przy codziennym patrolowaniu wybranego terenu oraz mogą operować przez całą dobę nad terenami zalesionymi. Przekazują one obraz w czasie rzeczywistym, co umożliwia natychmiastową reakcję odpowiednich służb w razie zagrożenia, wypadku, sytuacji kryzysowej wymagającej interwencji. Użytkowanie dronów jest ograniczone regulacjami prawnymi.

2. Regulacje prawne

W polskim prawie można znaleźć bardzo niewiele uregulowań dotyczących dronów. Ustawa „Prawo lotnicze” z 30 czerwca 2011r. mówi o „Modelach latających oraz bezzałogowych statkach powietrznych o maksymalnej masie startowej nie większej niż 25 kg używanych wyłącznie w operacjach w zasięgu wzroku”. Zgodnie z ustawą:

- W przypadku drona o wadze nie przekraczającej 25 kg, możliwe jest prowadzenie lotów rekreacyjnych oraz sportowych w zasięgu wzroku operatora. Do wykonywania takich lotów nie jest potrzebna licencja, pozwolenia ani ubezpieczenie.
- Do wykonywania lotów komercyjnych w zasięgu wzroku bezzałogowcami o masie nie przekraczającej 25 kg, konieczne jest świadectwo kwalifikacji operatora, lekarskie badania lotnicze oraz ubezpieczenie OC.
- Loty statków o masie powyżej 25 kg muszą być zgłoszone do ULC w celu uzyskania zgody na loty.
- Loty poza zasięgiem wzroku pilota mogą odbywać się jedynie w specjalnie wydzielonych strefach.

Prawo w innych państwach różni się w znacznym stopniu od polskiego. W Wielkiej Brytanii dozwolone są loty:

- dronami o masie do 20 kg,
- w odległości nie mniejszej niż 150m od miast, skupisk ludzkich oraz 30m od ludzi,
- z wykupionym ubezpieczeniem OC,

- w przypadku lotów komercyjnych konieczna jest rejestracja i zgoda oraz dopuszczenie pilota,
 - poza zasięgiem wzroku tylko w określonych strefach.
- W Stanach Zjednoczonych obowiązują następujące przepisy:
- możliwe jest wykonywanie lotów dopiero po otrzymaniu zezwolenia wydawanego przez lokalne władze lotnicze,
 - specjalne ułatwienia w przyznawaniu licencji przysługują służbom, takim jak Straż Pożarna, Policja oraz środowiska naukowe,
 - nie ma możliwości prowadzenia lotów komercyjnych.

3. Zastosowanie dronów w leśnictwie

Drony w leśnictwie mogą być wykorzystywane do monitorowania roślin i zwierząt występujących na danym obszarze leśnym, do badania kierunku i przebiegu migracji zwierząt w obrębie lasu czy rezerwatu przyrody. Korzystne jest wykonywanie nalotów po ponowie (świeży śnieg) w celu wyznaczenia przemieszczania się zwierząt na dużych obszarach, kiedy są najbardziej widoczne, z uwagi na czystą pokrywę śnieżną i brak liści na drzewach liściastych. Można też wyznaczać liczbę zwierząt i ptaków na obszarze monitorowanym przez drony oraz określić powierzchnię i kształt ptasich gniazd. Drony mogą być stosowane do kartowania siedlisk leśnych, czyli wyznaczania na mapie granic wydziałów siedliskowych, uwzględniając zwłaszcza: klasyfikację gleb i siedlisk oraz dane geologiczne, hydrologiczne, drzewostanowe. Drony są przydatne do kontroli stanu rezerwatów i drzewostanów, pomagają one określić ilości zalegającego martwego drewna w lasach. [8].

Drony okazały się użyteczne podczas akcji szczepienia lisów, podczas której zaplanowano loty dronami, osłonę meteorologiczną, monitorowanie zużycia szczepionek, tworzenie pełnej dokumentacji [8].

W Polsce dla Słowińskiego Parku Narodowego został zakupiony pierwszy dron octocopter, który ma posłużyć do oceny stanu populacji jelenia na terenie parku. Jest on wyposażony w kamerę termowizyjną, noktowizyjną i aparat fotograficzny. Dron z uwagi na możliwość dotarcia w trudno dostępne miejsca może patrolować obszary bagnisk czy trzcinowisk, gdzie przebywają jelenie. W dalszym etapie będzie on wykorzystywany do liczenia innych zwierząt zamieszkujących nie tylko Słowiński Park Narodowy, ale również lasy w przyległych nadleśnictwach w Ustce, Choczewie, Damnicy i Lęborku [9].

Drony są wykorzystywane do tropienia kłusowników. W przypadku zlokalizowania kłusownika dron wysyła szybką informację do strażnika ochrony przyrody o miejscu jego przebywania. Problem kłusownictwa jest powszechny szczególnie w Afryce, Azji (Indie, Nepal) i Ameryce Południowej, gdzie dotyczy on słoni, nosorożców i tygrysów. Już siedem krajów Afryki zwróciło się z prośbą o opracowanie programów zwalczania kłusownictwa. Kłusownicy zazwyczaj działają w nocy, co umożliwia wy-

korzystanie dronów, które mogą latać w nocy, są ciche i umożliwiają szybki przekaz informacji zanim dojdzie do zabicia zwierzęcia. W pobliżu strefy zagrożenia lokalizuje się mobilne centrum kontroli naziemnej, z którego można uruchamiać drony, a następnie nimi sterować. Autopiloty pozwalają na patrolowanie przez drony wcześniej zaplanowanych obszarów oraz przekazywania informacji tylko w przypadku wykrycia anomalii (kłusownik). Kamery termowizyjne przesyłają obraz do systemu kontroli naziemnej, będącej w stałym kontakcie z bezzałogowcem. Pełny zapis wszystkich zebranych przez drony danych jest przechowywany do dalszej analizy. Gdy potencjalny kłusownik zostaje zlokalizowany, operatorzy dronów przekazują informację do pobliskich strażników, których zadaniem jest następnie ujęcie kłusownika. Projekt wykorzystujący drony do walki z kłusownictwem nosorożców w południowej Afryce działa od 2012 r. i w ciągu 2 lat spadła tam liczba zabitych nosorożców do 65% w stosunku do roku poprzedniego [10].

Na interesujący pomysł wpadła brytyjska firma BioCarbon. Projekt zakłada efektywne zalesianie dużych powierzchni przez drony. Na ograniczenie procesu zalesiania wpływa pracochłonność, stąd aby ograniczyć ilość roboczogodzin niezbędnych podczas sadzeniu drzew proponowane jest tego typu rozwiązanie. Zakłada się sadzenie drzew w trzech etapach. W pierwszym dron miałby przelatywać nad wylesionym terenem i tworzyć jego dokładną mapę 3D, uwzględniającą topografię terenu, jego bioróżnorodność i dostępność substancji odżywczych. W kolejnym etapie algorytmy sztucznej inteligencji mają określić, w których miejscach najlepiej będzie posadzić drzewa i opracują trasę wykorzystaną w etapie trzecim. Ostatni etap obejmuje sadzenie drzew, które polega na tym, że dron wystrzeliwuje z działa pneumatycznego pociski zawierające nasiona, które następnie są rozłupywane przy uderzeniu, zostawiając pod ziemią nieuszkodzone nasionko. Inżynierowie twierdzą, iż sadzenie drzew za pośrednictwem dronów pochłonie zaledwie 15% wydatków związanych z zalesianiem wykonywanym tradycyjnymi metodami przy znacznie skróconym czasie. Szacuje się, że w ciągu roku udałoby się posadzić za pomocą tej metody, co najmniej miliard drzew [14].

Użycie dronów w leśnictwie według badań przeprowadzonych w maju 2013 roku przez McKinsey Global Institute pozwoli na wykonywanie inwentaryzacji i badań obszarów leśnych z niespotykanym dotąd stopniem dokładności oraz znacznie rozszerzy zakres badań. Zdjęcia wykonane przez drony mogą służyć do oceny zdrowotności drzew, w tym do wykrywania i oceny stopnia zasiedlenia drzew przez owady oraz oceny stanu koron. Na terenach górskich drony mogą one ułatwić wykonywanie szlaków zrywkowych i instalację kolejek linowych [11].

Na podstawie zdjęć wykonanych dronem można ocenić stan zdrowotny drzew, dynamikę zmian fenologicznych i stopień zamierania, zidentyfikować chorobę grzybową i występowanie szkodnika. Oceny stanu zdrowotnego drzew na podstawie ich korony, dokonuje się w oparciu o ocenę procesu defoliacji czy odbarwienia aparatu asymilacyjnego

oraz intensywności kwitnienia. Defoliacja określa stopień redukcji aparatu asymilacyjnego drzewa w odniesieniu do drzewa wzorcowego. Wykonane za pomocą drona zdjęcia w bliskiej podczerwieni można porównać z oceną naziemną. W badaniach Autorów [13] na podstawie zdjęć wykonanych przy użyciu drona wykryto 21 drzew martwych lub wskazujących na objawy chorobowe. Wskazuje to na przydatność dronów do oceny żywotności pomników przyrody, a zachowując wykonane zdjęcia jako dokumentację można wzbogacić aspekt dziedzictwa kulturowego. Zdjęcia wykonane za pomocą dronów można również wykorzystać do szacowania szkód łowieckich, czyli takich które powodują zwierzęta leśne na uprawach rolnych. W przypadku kontroli naziemnej są one trudne do oszacowania, z uwagi na nieregularny kształt powierzchni, pozostający po żerowaniu zwierzyny. Zdjęcia lotnicze wykonane za pomocą drona przez Autorów pracy [13] pozwoliły szybciej i z większą wiarygodnością wyznaczyć wszystkie miejsca żerowania zwierzyny (szkody wyrządziły dziki) oraz trasy jej wędrówek. Zaobserwowano też, że uprawy nie były zabezpieczone przed zwierzyną. W Polsce szacowane były również szkody łowieckie spowodowane przez buchtujące dziki na łąkach w pobliżu jeziora Karpino. Nalot trwał około 22 minut i objął obszar około 40 ha, podczas którego dron z wysokości 110 m wykonał 520 zdjęć [12].

W pracy [13] omówiono możliwość lokalizacji pożarów za pomocą dronów podczas wykonywanych rutynowych patroli naziemnych dużych kompleksów leśnych, w których nie ma możliwości obserwacji horyzontu ponad drzewami. Metoda ta jest stosowana w Kanadzie, USA i Rosji. Wykorzystanie dronów do wczesnego ostrzegania o pożarach lasów zostało przetestowane przez kilka agencji federalnych w USA. Poprzez gromadzenie danych o pożarach lasów, opinia publiczna może otrzymywać powiadomienia o zbliżającym się niebezpieczeństwie i strażacy mogą lepiej planować jego ugaszenie [15]. Autorzy pracy [13] określili, że miejsce pożaru można zlokalizować za pomocą dronów z dokładnością od 50 do 70 m, a czas potrzebny na wyznaczenie miejsca pożaru wynosi od 7 do 15 minut, zależnie od odległości między punktami pomiarowymi [13].

Drony wykorzystywane są również do monitorowania nielegalnego wycięcia drewna w Azji, Afryce i Ameryce Południowej. Postępujące zjawisko wylesiania i degradacji lasów na całym świecie może być bardziej precyzyjne mierzone i monitorowane z wykorzystaniem bezzałogowców [15]. Drony są przydatne do mapowania i monitorowania zmian użytkowania gruntów. Pozwalają one na identyfikację roślin rosnących na danym obszarze. Przykładowo podczas monitorowania lasu tropikalnego zidentyfikowano za pomocą zdjęć palmę olejową, a nawet stosunkowo małe rośliny takie jak kukurydza. Dzięki temu można było zlokalizować miejsca wylesiania terenów leśnych (lasów tropikalnych) na rzecz użytków rolnych w tych rejonach. Ze względu na znikome koszty eksploatacji drona, wybrane obszary mogą być wielokrotnie badane w celu monitorowania ewentualnych zmian i działań dotyczących użyt-

kowania gruntów [17].

Drony wykorzystuje się do monitoringu zwierząt na danym obszarze. Prowadzi się przykładowo monitoring flamingów w Zjednoczonych Emiratach Arabskich, orangutanów na Sumatrze i kaszalotów w Nowej Zelandii [17].

Drony służą do kontroli zdrowia roślin i drzew przez wczesne wykrywanie i ocenę ilości szkodników, a także określenie poziomu wilgotności i ilości martwego drewna. Można je zastosować do pomiaru wzrostu roślin, rodzaju roślinności i produkcji biomasy, co umożliwia zaplanowanie zalesiania (ilość nasadzeń, lokalizacja, gęstość) [18].

4. Ryzyko związane z wykorzystaniem dronów w leśnictwie

Wykorzystanie dronów w leśnictwie niesie ze sobą zagrożenie związane z hałasem. Zwierzęta przyzwyczajone są do hałasu związanego z szumem lasu, rzędu 20 dB, natomiast drony powodują większy hałas rzędu 70-80 dB. Zwierzęta, z uwagi na to, że teren lasu jest słabo zaludniony, są bardzo płochliwe. Stąd każdy niezidentyfikowany dźwięk zakłóca ich normalne funkcjonowanie, jest powodem do ucieczki, odbierany jest jako zagrożenie.

Innym niebezpieczeństwem jest możliwość upadku drona na ziemię i możliwość zranienia zwierzyny, jak również przebywających na terenie lasu ludzi. Upadek drona wiąże się z rozładowaniem baterii lub z utratą kontroli nad urządzeniem, z niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi (niska temperatura powietrza, opady), uderzeniem w przeszkodę (drzewo, budynek, linia wysokiego napięcia). Zagrożenia te można przewidzieć, dlatego powinny zostać podjęte działania zapobiegające ich powstaniu. Stan baterii oraz inne dane telemetryczne, w tym temperatura otoczenia mogą być kontrolowane zdalnie przez system. W razie przekroczenia, któregoś z parametrów powinien zostać wszczęty alarm. Dzięki temu możliwe będzie podjęcie działań, takich jak awaryjne przywołanie drona. Za omijanie przeszkód odpowiedzialne są natomiast czujniki i oprogramowanie, które na podstawie toru lotu oraz wykrywanych przeszkód na bieżąco aktualizują trasę. Do zasilania dronów wykorzystuje się akumulatory litowo-poli-merowe, które rozładują się po czasie około 20 minut i trzeba je ponownie ładować. Stąd czas lotu jest uzależniony od ich wytrzymałości. Obecnie prowadzi się wiele projektów związanych z rozwojem technologii zasilania. Bierze się pod uwagę zastosowanie baterii z grafenu, anod z czystego litu czy ogniów paliwowych. Z uwagi na to, że w bezałogowych aparatach latających wydłużenie czasu lotu jest w wielu przypadkach czynnikiem krytycznym, podejmowane są próby zastosowania tam ogniów paliwowych.

Kolejnym zagrożeniem jest utrata kontroli nad urządzeniem w sytuacji awaryjnej (utrata kontaktu wzrokowego lub łączności). Rozwiązaniem tego problemu jest możliwość wykorzystania autopilota, który umożliwia automatyczną nawigację i stabilizację lotu drona wzdłuż zdefiniowanej przed lotem trasy.

W dalszej części obliczono na podstawie badań wielkość rzeczywistego obszaru, który może monitorować dron w ciągu 1 lotu dla wyznaczonej trajektorii lotu.

5. Określenie rzeczywistej wielkości obszaru, który może monitorować dron w ciągu 1 lotu

5.1 Parametry drona

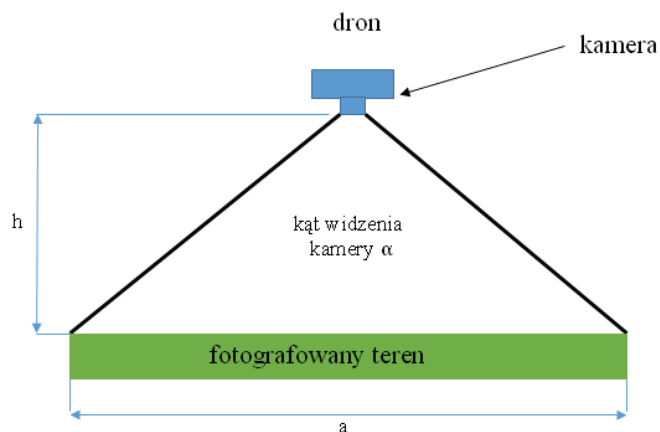
Parametry drona zestawiono w Tabeli 1. Przyjęto wysokość na jakiej poruszał się dron równą 10 m, jakość obrazu równą 1080 p oraz ustawienia kamery prosto w dół.

Parametry drona		
Parametr	Wartość	Jednostka
Max. prędkość lotu	25	mph
	11,176	m/s
Sensor	0,4347826087	-
Matryca	14	MP
Liczba zarejestrowanych klatek	30	/s
Kąt widzenia	140	°
Prędkość wznoszenia	6	m/s
Prędkość opadania	3	m/s
Częstotliwość wykonania zdjęć	0,37	m
Obszar objęty zdjęciem	40,21	m
Ostrość	6,4	m
Czas wznoszenia	1,7	m
Czas opadania	3,3	m

Obliczenia wykonano na podstawie <http://dofsimulator.net/pl/>.

5.2 Wielkość obszaru ujętego na jednym zdjęciu

Pole powierzchni, którą obejmie jedno zdjęcie wykonane za pomocą drona zależy od wysokości h obiektywu kamery nad powierzchnią oraz kąta widzenia obiektywu α , co przedstawia Rys. 1.



Rys 1 Graficzny obraz zasięgu obszaru widocznego na zdjęciu wykonanym przez drona

Wielkość obszaru wyznaczono ze wzoru:

$$P = a^2$$

$$\tan \alpha = \frac{\left(\frac{a}{2}\right)}{h}$$

Po przekształceniu otrzymano zależność:

$$a = 2 \cdot h \cdot \tan \alpha$$

$$P = (2 \cdot h \cdot \tan \alpha)^2$$

5.3 Czas potrzebny na wykonanie zdjęć danego obszaru monitorowania

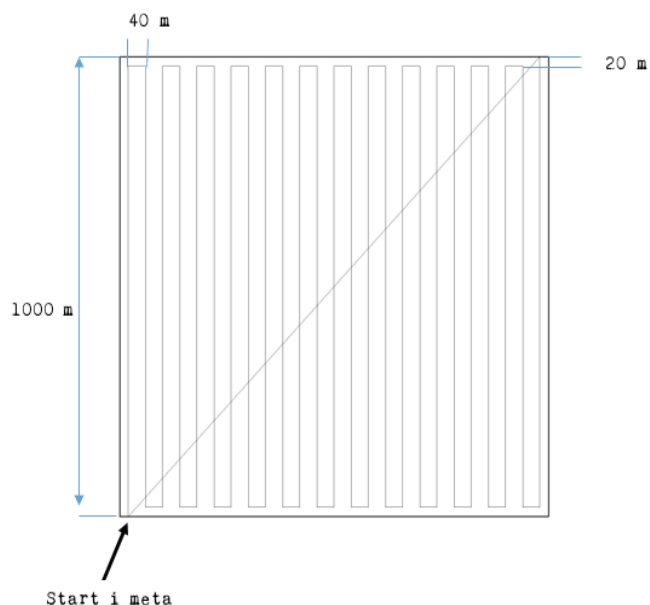
O tym jak szybko zostaną wykonane przez drona zdjęcia danego terenu decyduje prędkość lotu drona, wielkość powierzchni przeznaczanej do sfotografowania, wyznaczona trasa lotu drona (trajektoria) oraz czas pracy baterii zasilającej dron. Maksymalnie doświadczalnie wyznaczona prędkość z jaką porusza się dron wynosi 25 mph, czyli około 11,176 m/s. Przy tej prędkości wystarczy baterii na 17 minut lotu. Należy uwzględnić także czas wznoszenia się drona na odpowiednią wysokość (z prędkością 6 m/s) oraz czas opadania (z prędkością 3 m/s). Ponieważ przy jakości obrazu HD równej 1080 p rejestrowanych jest 30 klatek na sekundę to jedno ujęcie jest wykonywane co 0,37 m trasy drona.

W pierwszej etapie obliczeń założono, że teren, który musi sfotografować dron stanowi kwadrat o powierzchni 1000 m na 1000 m, a wysokość lotu drona nad gruntem wynosi 10 m. Stąd czas wznoszenia jest następujący:

$$t_1 = \frac{10 \text{ m}}{6 \text{ m/s}} = 1,7 \text{ s}$$

Wyznaczona trajektoria ruchu drona przedstawiona na Rys. 2 zakłada, że pomiędzy kolejnymi „kolumnami” zdjęcia nakładają się minimalnie. Stąd trasa wykonana przez drona wyniesie:

$$S_{1000} = 2 \cdot 980 \text{ m} + 23 \cdot 960 \text{ m} + (12 + 12) \cdot 40 \text{ m} + 1386,22 \text{ m} = 263$$



Rys.2 Trasa przelotu drona na wysokości 10 m nad obszarem o powierzchni 1000 m x 1000 m

Natomiast czas potrzebny do jej pokonania będzie równy:

$$t_2 = \frac{26386,22 \text{ m}}{11,176 \text{ m/s}} = 2360,97 \text{ s}$$

Uwzględniając czas opadania drona równy:

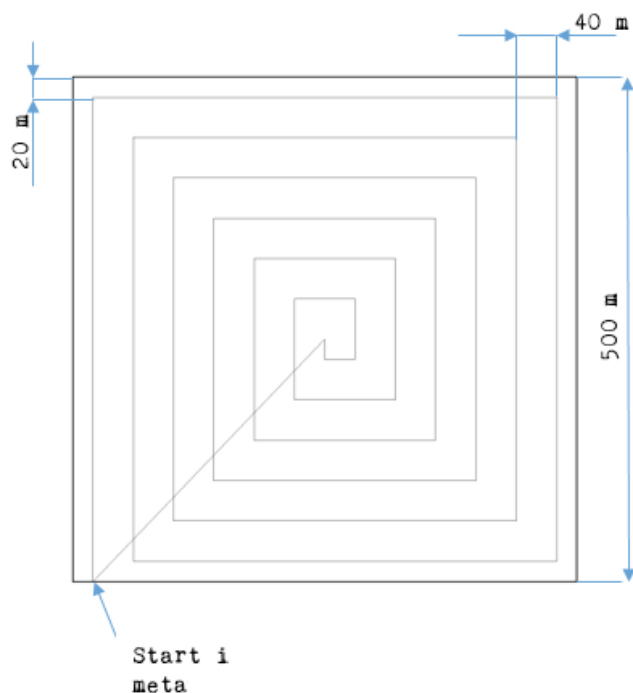
$$t_3 = \frac{10 \text{ m}}{3 \text{ m/s}} = 3,3 \text{ s}$$

Cały przelot drona wyniesie:

$$t_{\text{całk}} = t_1 + t_2 + t_3 = 2369,971725 \text{ s} \approx 39,5 \text{ min}$$

Oznacza to, że nie jest możliwe wykonanie takiego przelotu bez wymiany baterii.

W związku z tym zmniejszono obserwowany teren do kwadratu o wymiarach 500 m na 500 m oraz zmieniono trajektorię ruchu drona, co przedstawia Rys. 3.



Rys.3 Trasa przelotu drona na wysokości 10 m nad obszarem o powierzchni 500 m x 500 m

Przyjęto czas wznoszenia i opadania drona zgodny z wcześniejszymi obliczeniami, z uwagi na tę samą wysokość lotu. Zakładając trajektorię przedstawioną na Rys 3 dron ma do pokonania następującą trasę:

$$s_{500} = 480\text{m} + 2 \cdot (460\text{ m} + 420\text{ m} + 380\text{ m} + 340\text{ m} + 300\text{ m} + 260\text{ m} + 220\text{ m} + 180\text{ m} + 140\text{ m} + 100\text{ m} + 60\text{m}) + 30\text{ m} + 20\text{ m} + 332,42\text{m} = 6582,42\text{ m}$$

którą pokona w czasie:

$$t_2 = \frac{6582,42\text{ m}}{11,176\text{ m/s}} = 588,98\text{ s}$$

Na cały przelot dron potrzebuje zatem:

$$t_{\text{całk 500}} = 1,7\text{ s} + 3,3\text{ s} + 588,98\text{ s} = 593,98\text{ s} \approx 9,9\text{ min}$$

Oznacza to, że dron może wykonać przelot nad całym terenem i wrócić do miejsca startu z zapasem baterii.

6. Podsumowanie

Jak wynika z wcześniejszych rozważań wykorzystanie dronów w leśnictwie umożliwia wykonywanie obserwacji nawet trudnodostępnych terenów w sposób elastyczny i w krótkim czasie, zapewniając szybko dostępny obraz. Zakładając odpowiednią trajektorię ruchu dron może dokładnie oszacować obszar o powierzchni 250 000 m² w ciągu 10 minut. Ciche i energooszczędne silniki elektryczne są nie tylko przyjazne środowisku, ale także zmniejszają wpływ szumu na ludzi i zwierzęta. Drony wyposażone w

wysokiej rozdzielczości aparat lub czujniki stanowią alternatywę dla żmudnych badań terenowych i kosztownych obserwacji prowadzonych przez załogowe śmigłowce lub samoloty.

Literatura

- [1] Catterall C. *The Hot Air Ballon Book*. Chicago Review Press, 16.
- [2] Bogusz p., Korkosz M., Wygonik P., Dudek M., Lis B. *Analiza wpływu źródła zasilającego na właściwości bezszczotkowego silnika prądu stałego z magnesami trwałymi przeznaczonego do napędu bezałogowego aparatu latającego*. Przegląd elektrotechniczny, nr 5, 2015.
- [3] Hejduk M. *Wykorzystanie bezałogowych statków latających – dronów w dostawach kurierskich*. Praca dyplomowa inżynierska, Wrocław, 2015.
- [4] Piotrowski P., Witkowski T., Piotrowski R. *Bezałogowa zdalnie sterowana jednostka latająca*. Pomiar Automatyka i robotyka, r.19, nr 1, s. 49-55, 2015.
- [5] *Polska gospodarka leśna – efektywna czy zrównoważona? Analiza polskiego modelu gospodarki leśnej na podstawie modeli teoretycznych*
<http://kngap.uek.krakow.pl/wp-content/uploads/2011/06/Polska-gospodarka-le%C5%9Bna-%E2%80%93-e-fektywna-czy-zr%C3%B3wnowa%C5%BCna.pdf>
- [6] Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe. *Zasady hodowli lasu*, Wydano na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych Warszawa 2012
- [7] Czerepko J. *Stan ochrony i monitoring leśnego siedliska przyrodniczego*. Instytut badawczy leśnictwa zakład siedliskoznawstwa, Sękocin Stary, 2009.
- [8] <http://b4flight.pl/uslugi/srodowisko/>
- [9] <http://www.swiatdronow.pl/dron-dla-lesnikow-ze-slowinskiego-parku-narodowego>
- [10] <https://www.indiegogo.com/projects/air-shepherd-drones-stop-elephant-rhino-poaching#/>
- [11] *Z leśnego świata*, 2, 67, 2015.
- [12] <http://wles.up.poznan.pl/pl/seminarium-na-temat-wykorzystania-drona-do>
- [13] P. Szymański *Kierunki zastosowania bezałogowych statków powietrznych w leśnictwie i ochronie przyrody*, Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej Roczniki Geomatyki, t. XII, 1(63), s. 117-127, 2001.
- [14] <http://www.wired.com/brandlab/2015/07/re-planting-forest-one-drone-time/>
- [15] Harrimana L., Muhlhausen J. *A new eye in the sky: Eco-drones*. UNEP Global Environmental Alert Service. http://www.unep.org/pdf/UNEP-GEAS_MAY_2013.pdf
- [16] Koh L.P., Wich S.A. *Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation*. Tropical Conservation Science, 5(2), s. 121-132, 2012
- [17] Sánchez-Boul C., López-Pujol J. *The coming revolution: the use of drones in plant conservation*. Collectanea Botanica, vol. 33, s. 1- 4, 2014.
- [18] Brokjans A. *Use of drones in forestry: sustainable management from the air*. LIGNA 2015 <http://files.messe>

de/002/media/en/02informationenfuerbesucher/pressemitteilungen_1/drohneneinsatz.pdf

[19] Ustawa o lasach z dnia 28 września 1991 r. Dz.U. 1991 Nr 101 poz. 444.