



## Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych jako elementów mobilnego systemu monitorowania zagrożeń pożarowych

Norbert TUŚNIO<sup>1\*</sup>, Izabela KRZYSZTOFIK<sup>2</sup>, Janusz TUŚNIO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Szkoła Główna Służby Pożarniczej, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa

<sup>2</sup> Politechnika Świętokrzyska, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

\* autor korespondencyjny, e-mail: norbertt@tlen.pl

Artykuł wpłynął do redakcji 11.06.2012. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 30.01.2014

**Streszczenie.** W artykule opisano koncepcję mobilnego systemu do obserwacji terenu w celu wykrywania ognisk pożarów. Podstawową funkcję w tym systemie spełnia bezzałogowy statek powietrzny wyposażony w wyspecjalizowane kamery telewizyjne i termowizyjne sygnalizujące obecność obszarów o podwyższonej temperaturze, które mogą zostać zidentyfikowane jako ogniska pożaru. System posiada możliwość dwukierunkowej komunikacji drogą radiową ze stanowiskiem dowodzenia i po drobnych modyfikacjach może być wykorzystany do monitorowania zdarzeń związanych z ochroną ludzi i mienia, a także z zapewnieniem bezpieczeństwa w warunkach zagrożenia klęskami żywiołowymi i terroryzmem. Ze względu na niewielkie dopuszczalne przepisami wysokości lotu uwzględniony zostanie układ sygnalizujący zagrożenie wynikające ze zbliżania się do napowietrznych linii wysokiego napięcia, który ułatwi bezkolizyjne ich ominięcie.

**Słowa kluczowe:** robotyka, bezpilotowiec, pożary, powódzie

## 1. WSTĘP

Jednostki ochrony przeciwpożarowej, a w szczególności jednostki organizacyjne Państwowej Straży Pożarnej, wypełniają ustawowy cel ochrony przeciwpożarowej, którym jest realizacja przedsięwzięć chroniących życie i zdrowie ludzi oraz zwierząt, a także mienie i środowisko naturalne (przyrodnicze) przed pożarem lub innym miejscowym zdarzeniem wynikającym z rozwoju cywilizacyjnego i naturalnych praw przyrody poprzez działania profilaktyczne zapobiegające powstawaniu i rozprzestrzenianiu się pożaru lub innego miejscowego zdarzenia, poprzez zapewnienie sił ratowniczych (ludzi i zwierząt wykorzystywanych w działaniach ratowniczych) oraz zapewnienie środków ratowniczych pod postacią sprzętu i pojazdów ratowniczych do prowadzenia działań ratowniczych podczas pożarów lub innych miejscowych zdarzeń, które w niektórych sytuacjach i okolicznościach mogą przybrać rozmiary klęski żywiołowej.

Aby kierujący działaniami ratowniczymi (KDR) mógł szybko i trafnie podjąć decyzję o metodach, wariantach i formach prowadzenia działań ratowniczych i aby te działania były szybko, sprawnie, skutecznie i bezpiecznie realizowane, musi posiadać bardzo dużo informacji nie tylko o siłach i środkach ratowniczych, ale w szczególności o istniejącej sytuacji zdarzenia, aby móc także przewidywać prognozowany jego rozwój i rozprzestrzenianie. Obecna technika i wiedza pożarnicza pozwala dość dobrze radzić sobie z takimi niebezpiecznymi zdarzeniami, ale często niepełna lub opóźniona informacja o istniejącym zdarzeniu potęguje niekontrolowane rozmiary zdarzenia, podnosząc koszty działań ratowniczych oraz straty w mieniu i środowisku, a niekiedy doprowadzając do utraty życia lub zdrowia poszkodowanych lub nawet samych ratujących.

Podczas wielu niebezpiecznych zdarzeń, prowadzenie rozpoznania podczas działań ratowniczych najczęściej sprowadza się do rozpoznania naziemnego, które ograniczane jest m.in. dużą powierzchnią strefy zagrożenia, wysokim oddziaływaniem promieniowania cieplnego lub wysokim skażeniem tej strefy nawet dla samych ratujących, terenem trudno dostępnym, czy warunkami nocnymi lub zadymieniem. W nielicznych przypadkach niebezpiecznych zdarzeń siły ratownicze wspomagane są prowadzeniem rozpoznania z powietrza za pomocą tradycyjnych statków latających (samoloty lub śmigłowce) nienależących do Państwowej Straży Pożarnej.

Koncepcja zastosowania w ratownictwie bezzałogowych statków powietrznych (BSP) do prowadzenia rozpoznania jest już znana na świecie i przynosi ogromne efekty w postaci znacznego ograniczenia strat spowodowanych narażeniem ludzkiego życia w wyniku wystąpienia niebezpiecznego zdarzenia.

Tabela 1. Podstawowe wymagania techniczne i eksploatacyjne BSP

Table 1. Basic technical and operational requirements of UAV

| Lp.                          | Parametr                              | Wartość                                | Uzasadnienie wartości   |
|------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| <b>Zmienne decyzyjne</b>     |                                       |  |   |
| 1                            | Udźwig                                | 5 kg                                   | GPS, kamera światła dziennego i termowizyjna, czujnik temperatury, czujnik promieniowania jonizacyjnego, wykrywacz pola elektromagnetycznego (linie wysokiego napięcia), zasilanie, transmisja. |
| 2                            | Długość lotu                          | 3 h                                    | Średni czas patrolowania.   |
| 3                            | Zasięg energetyczny                   | 200 km                                 | Obszar patrolowania lasów i powodzi.  |
| 4                            | Zasięg radiowy                        | 15 km                                  | Obszar patrolowania powiatu.  |
| 5                            | Pułap operacyjny                      | 200-1000 m                             | W zależności od potrzeb (istnieje możliwość lotu na wysokościach do 3000 m).  |
| 6                            | Prędkość przelotowa                   | 0-100 km/h                             | Najmniejsza wartość możliwa do uzyskania, obserwacja obrazu z kamer.  |
| <b>Zmienne parametryczne</b> |                                       |  |   |
| 7                            | Liczba operatorów                     | 2                                      | Przepisy bhp, odpowiedzialność za sprzęt.   |
| 8                            | Czas przygotowania do pierwszej misji | 10 min                                 | Szybkie podjęcie działań.   |
| 9                            | Wymiary po demontażu                  | dł. 2,5 m<br>szer. 1,5 m<br>wys. 1,5 m | Możliwość transportu skrzyni na samochodzie do 3,5 t.   |
| 10                           | Sposób startu                         | start pionowy                          | Szybkie podjęcie działań.   |
| 11                           | Sposób lądowania                      | lądowanie pionowe                      | Bezpieczne lądowanie.   |

Monitorując dany teren, BSP powinien bardzo długo móc pracować (utrzymywać się) w powietrzu, mieć długi zasięg lotu, dużą wysokość lotu, posiadać kamerę wizyjną i kamerę termowizyjną wykorzystywaną w warunkach słabej widoczności (noc, mgła) oraz podczas spalania bezzłomowego, mieć możliwość sterowania bezprzewodowego przez człowieka z ziemi, jak też działać samodzielnie zgodnie z programem z możliwością przeprogramowania

lotu i sensorów pomiarowych w trakcie lotu, posiadać wysoką odporność na zakłócenia sterowania parametrami lotu podyktowanymi obcą emisją radiową lub warunkami meteorologicznymi, mieć możliwość transmisji obrazu i danych w czasie rzeczywistym do naziemnego stanowiska dowodzenia, mieć zamontowane urządzenia startu i lądowania naziemnego oraz lądowania awaryjnego na ziemi i wodzie w przypadku utraty kontroli nad maszyną, mieć możliwość przesyłania obrazu w trójwymiarze, wykrywania promieniowania radioaktywnego, a także możliwość zaznaczania trasy lotu.

W tabeli 1 określono wstępnie podstawowe wymagania techniczne i eksploatacyjne bezzałogowego statku powietrznego do zastosowania w działaniach Państwowej Straży Pożarnej. Założono, że budowa aparatu będzie modułowa. W zależności od potrzeb będzie uzbrajany w odpowiednie urządzenia. Do jego zadań należałaby obserwacja obszaru: powodzi, wypadku albo objętego pożarem. Aparat pracowałby w dwóch trybach: patrol i akcja. Utylitarnym zastosowaniem aparatu byłaby działalność prewencyjna w okresie zagrożenia pożarowego łąk i lasów, a także możliwość poszukiwania ludzi np. w czasie powodzi.

## **2. ZASTOSOWANIE BSP W OCHRONIE PRZECIWOŻAROWEJ LASÓW**

Bezpilotowy statek powietrzny (BSP) w wielu państwach na świecie znalazł już zastosowanie zarówno w obszarze militarnym, jak i cywilnym, w tym związanym z ochroną lasów przed pożarami oraz obszarem czysto ratowniczym związanym z prowadzeniem rozpoznania podczas gaszenia pożarów lasu.

Pierwszy z obszarów, w którym BSP znalazłby w Polsce zastosowanie, to rozpoznawanie zagrożeń, czyli działania związane z patrolowaniem obszarów leśnych w celu wczesnego wykrycia pożaru, zawiadomienia o jego powstaniu, a także podjęcia działań ratowniczych.

W Polsce zgodnie z rozporządzeniem [1] „Właściciele, zarządcy lub użytkownicy lasów, których lasy samoistnie lub wspólnie tworzą kompleks leśny o powierzchni ponad 300 ha organizują obserwację i patrolowanie lasów w celu wykrywania pożarów oraz alarmowania o ich powstaniu, zgodnie z przepisami o zabezpieczeniu przeciwpożarowym lasów”. Kolejne rozporządzenie [2] doprecyzowuje wyżej wymieniony zapis prawny w taki sposób, że „W lasach o powierzchni powyżej 300 ha zaliczonych do I lub II kategorii zagrożenia pożarowego, w okresach oznaczonego dla tych lasów 1., 2. lub 3. stopnia zagrożenia pożarowego lasów, jest wymagane prowadzenie obserwacji mającej na celu wczesne wykrycie pożaru, zawiadomienie o jego powstaniu, a także podjęcie działań ratowniczych”. Dalej to samo rozporządzenie [2] wymienia trzy sposoby obserwacji lasów w celu wczesnego wykrycia pożaru lasu:

- 1) ze stałych punktów obserwacji naziemnej;
- 2) przez naziemne patrole przeciwpożarowe;
- 3) przez patrole lotnicze.

Jednym z tych trzech sposobów obserwacji jest patrolowanie lotnicze. Jeżeli obserwacja lasu jest prowadzona np. przez patrole lotnicze, wówczas nie jest wymagane prowadzenie obserwacji ze stałych punktów obserwacji naziemnej lub przez naziemne patrole przeciwpożarowe dla kompleksów leśnych o powierzchni do:

- 1) 1000 ha – zaliczonych do I kategorii zagrożenia pożarowego;
- 2) 2000 ha – zaliczonych do II kategorii zagrożenia pożarowego.

Prowadzenie obserwacji nie jest również wykluczone w lasach zaliczonych do III kategorii zagrożenia pożarowego. Treść rozporządzenia [2] mówi, że w uzasadnionych wypadkach, w lasach zaliczonych do III kategorii zagrożenia pożarowego prowadzi się obserwację przez naziemne patrole przeciwpożarowe lub przez patrole lotnicze, które zostały uzgodnione z właściwym miejscowo komendantem wojewódzkim Państwowej Straży Pożarnej. W odniesieniu do lasów użytkowanych przez jednostki organizacyjne podległe albo nadzorowane przez Ministra Obrony Narodowej – powiadamia się Wojskową Ochronę Przeciwpożarową.

Patrolowanie lotnicze w Polsce obecnie realizuje wyłącznie Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe (PGL LP) w stosunku do lasów przez siebie zarządzanych, czyli lasów stanowiących własność Skarbu Państwa. Do tego celu PGL LP co roku angażuje ok. 10 samolotów i śmigłowców patrolowych rozlokowanych w prawie 30 leśnych bazach lotniczych występujących na terenie większości regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych. Koszt poniesiony przez PGL LP na prowadzenie lotów patrolowych i gaśniczych wynosi co roku ok. 15 mln PLN. Na świecie co rok ubywa ok. 0,5% całkowitej powierzchni lasów, z czego połowa za przyczyną pożarów. W ostatnich dwóch dekadach notuje się wzrost liczby pożarów lasów, zarówno na świecie, jak i w Polsce. Obszary leśne w naszym kraju są zagrożone pożarami w ok. 80%. W Polsce średnia roczna liczba pożarów lasów wynosi 9900 i według statystyk unijnych zajmujemy pod tym względem trzecie miejsce za Portugalią i Hiszpanią, a ósme pod względem średniej rocznej powierzchni spalonych drzewostanów (6816 ha). Patrole lotnicze wykrywają w Polsce ok. 2,5% ogólnej liczby pożarów. BSP jest alternatywą dużo tańszą w stosunku do tradycyjnego patrolowania lotniczego, bardziej niezawodną i bezpieczną, a także możliwą do zastosowania w patrolowaniu lasów nie stanowiących własności Skarbu Państwa, czyli lasów osób fizycznych, lasów osób prawnych, lasów gminnych czy komunalnych występujących bardzo często w sąsiedztwie z lasami Skarbu Państwa w tych samych kompleksach leśnych. W Polsce aż ok. 60% pożarów lasów powstaje w lasach prywatnych właścicieli – spaleni ulega aż ok. 80% ich powierzchni.

Drugim z obszarów ratownictwa, w którym BSP znalazłby w Polsce zastosowanie, jest prowadzenie rozpoznania z powietrza podczas już istniejących pożarów lasów. Prowadzenie rozpoznania z powietrza podczas takich zdarzeń, jak pożar lasu, w szczególności przy dużych jego powierzchniach, daje kierującemu działaniami ratowniczymi (KDR) olbrzymią przewagę nad tradycyjnym prowadzeniem rozpoznania za pomocą sił naziemnych. Prowadzenie rozpoznania z powietrza za pomocą BSP wyposażonego w kamerę światła dziennego i kamerę termowizyjną pozwala KDR na bardzo szybką ocenę sytuacji pożarowej nawet w przypadku pożarów podpowierzchniowych czy przy bardzo dużym zadymieniu lub też w porze nocnej, nie narażając na niebezpieczeństwo strażaków prowadzących tradycyjne rozpoznanie naziemne. Zastosowanie BSP podczas pożarów lasu wyklucza angażowanie wielu strażaków do prowadzenia rozpoznania naziemnego, którzy w tym samym czasie mogą prowadzić działania gaśnicze.

Zamontowanie w BSP dodatkowego oprzyrządowania pozwalającego na śledzenie strażaków podczas pożaru lasu podnosi w sposób bardzo znaczący poziom ich bezpieczeństwa, a jednocześnie pozwala KDR śledzić rozprzestrzenianie się pożaru, które ma wpływ na dyslokację sił ratowniczych na tę część obwodu pożaru lub w miejsce nowych ognisk pożaru powstałych od ogni lotnych, które wymagają większego zaangażowania sił gaśniczych. Bieżący sygnał z BSP, poza przekazywaniem go do odpowiedniego stanowiska dowodzenia opartego na samochodzie operacyjnym lub samochodzie dowodzenia i łączności, może być również skierowany do właściwego miejscowo powiatowego (miejskiego) stanowiska kierowania komendanta powiatowego (miejskiego) Państwowej Straży Pożarnej lub stanowisk innych podmiotów.

BSP, poza możliwością przewozu go na miejsce działań na platformie samochodowej, mógłby startować z wyznaczonego stanowiska zlokalizowanego na terenie wybranej jednostki ratowniczo-gaśniczej komendy powiatowej (miejskiej) Państwowej Straży Pożarnej, będąc sterowany i kierowany na miejsce przyszłych działań gaśniczych. Na początek BSP wszedłby na wyposażenie tej komendy powiatowej (miejskiej) Państwowej Straży Pożarnej w Polsce, która w swoim rejonie operacyjnym (na terenie powiatu) posiada największą powierzchnię leśną zaliczoną do I kategorii zagrożenia pożarowego, czyli zagrożenia dużego w porównaniu z innymi powiatami.

Co prawda w treści rozporządzenia [3] przewidziano śmigłowce ratownicze – co najmniej jeden na 20 000 km<sup>2</sup> w ramach minimalnego wyposażenia Państwowej Straży Pożarnej w sprzęt, pojazdy i środki do działań związanych m.in. ze zwalczaniem pożarów, to jak na razie jest to mało realne.

W związku z powyższym, do czasu wyposażenia Państwowej Straży Pożarnej w odpowiednią liczbę śmigłowców ratowniczych, BSP wypełniałby w znaczącej części ich zadania związane z prowadzeniem rozpoznania z powietrza podczas wszelkich działań ratowniczych, nie tylko gaśniczych.

### **3. OKREŚLENIE TYPÓW I DOBÓR SENSORÓW OBSERWACYJNYCH**

Zastosowanie kamer termowizyjnych ma kluczowe znaczenie podczas prowadzenia akcji ratowniczych, poszukiwania osób oraz prowadzenia akcji gaszenia pożarów i lokalizacji miejsc niedogaszonych. Kamery termowizyjne stosowane są również w diagnostyce i wyszukiwaniu uszkodzeń obiektów technicznych. Kamery umożliwiają nieinwazyjną lokalizację wszelkich anomalii. W ramach projektu dokonany zostanie wybór kamery pod względem przydatności użycia w bezzałogowym statku powietrznym w trzech głównych obszarach zastosowań:

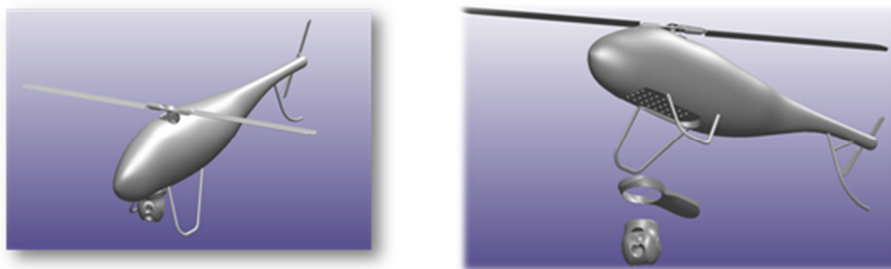
- obserwacja pożarów lasów i łąk,
- poszukiwanie zaginionych osób,
- pomiar temperatury.

Z uwagi na fakt specyficznego środowiska pracy, kamera musi umożliwiać pracę w szerokim zakresie temperatur ( $-40$  do  $+80^{\circ}\text{C}$ ) tak, aby zmiany podczas startu, lotu i lądowania w różnych warunkach meteorologicznych nie wpływały na pracę kamery. Zakres widmowy powinien być zawarty w przedziale największej emisji ciała ludzkiego ( $7,5\text{-}13\ \mu\text{m}$ ). Należy dokonać również doboru optymalnych parametrów obiektywów i sposobu regulacji ostrości (automatyczna lub obiektyw z dużą głębią ostrości). Z tego powodu kamera powinna mieć możliwość wymiany obiektywów. W projekcie zostanie dokonana analiza optymalnej rozdzielczości obrazu kamery, która powinna umożliwiać dokładną lokalizację zwierząt i ludzi z wysokości kilkudziesięciu metrów i na odległość kilkuset metrów (co najmniej  $640 \times 480$  pikseli). Ponieważ aparat będzie w ciągłym ruchu, uniemożliwi to wykonywanie ujęć statycznych. Aby zapewnić ostry obraz dobrej jakości, wymagane jest, aby czas ekspozycji pojedynczej ramki obrazu był możliwie krótki, co również będzie brane pod uwagę przy dobieraniu kamery. Równoległe z torem obrazu termowizyjnego pozyskiwany będzie obraz w paśmie światła widzialnego. Pod względem wymagań środowiska pracy, kamera światła widzialnego powinna posiadać zbliżone parametry jak kamera termowizyjna. Ocenia się, że największy udział masy w obciążeniu przypadnie na kamery i system ich sterowania, dlatego masa całkowita obu kamer musi być możliwie najmniejsza. Należy opracować sterowanie kamerami, które powinno umożliwiać zdalną zmianę położenia w płaszczyźnie poziomej i pionowej względem aparatu latającego.

Platforma, do której będą przytwierdzone kamery, będzie posiadać automatyczną stabilizację żyroskopową oraz uchwyty umożliwiające szybką wymianę przymocowanego sprzętu.

Z uwagi na fakt planowanego udziału aparatu w wielkoobszarowych akcjach gaśniczych, istotnym parametrem, który powinien podlegać rejestracji, jest temperatura najbliższego otoczenia.

Aparat będzie wyposażony w czujnik temperatury przekazujący informacje do systemu sterowania o nadmiernej temperaturze otoczenia, która może przekroczyć znamionową temperaturę jego pracy. Poza czujnikiem temperatury planowane jest wyposażenie aparatu w czujnik promieniowania jonizacyjnego, który może być przydatny przy monitorowaniu promieniowania w okolicach ośrodków potencjalnie niebezpiecznych, takich jak granice sąsiadujące z elektrowniami jądrowymi i ośrodki badawcze wykorzystujące materiały radioaktywne. Głównymi kryteriami doboru detektorów będą: masa, warunki pracy i czułość. Ponadto na pokładzie aparatu latającego przewidziano zainstalowanie czujnika pola elektrycznego, który będzie wykorzystywany do wykrywania przeszkód na drodze w postaci linii wysokiego napięcia. Konstrukcja detektora pola elektrycznego przewidziana jest w ten sposób, aby sygnalizował on kierunek – zbliżanie się lub oddalanie od przeszkody. Istotnym rejestrowanym parametrem dodatkowym będzie pozycja współrzędnych geograficznych pobierana z zainstalowanego odbiornika GPS. Dane telemetryczne będą przekazywane w dodatkowym kanale transmisji cyfrowej aparat-operator. Rejestracji będą podlegać prędkość, długość i szerokość geograficzna oraz wysokość lotu.



Rys. 1. Wizualizacja BSP w układzie śmigłowca z jednym wirnikiem napędowym (po lewej) oraz wizualizacja przestrzeni ładunkowej BSP (po prawej). Istnieje możliwość umieszczania sensorów różnego typu – przedstawiono głowicę optoelektroniczną wyposażoną w kamerę światła dziennego oraz termowizyjną [4]

Fig. 1. Visualization of UAV system with a single rotor helicopter drive (left) and visualization of cargo space of UAV (right). It is possible to place various types of sensors – optoelectronic head equipped with a daylight camera and thermal imaging is shown [4]



Określony zostanie zbiór sensorów obserwacyjnych, które będą wykorzystywane w opracowywanym systemie. Przewiduje się rozważenie następującego zakresu czujników:

- kamery światła dziennego,
- kamery termowizyjne,
- urządzenia zdalnego pomiaru temperatury – np. pirometry,
- systemy detekcji skażeń,
- systemy detekcji promieniowania radiologicznego,
- sensory środowiskowe (temperatura, wilgotność).

Oprócz wymienionych czujników, system będzie wyposażony w wiele różnorodnych sensorów niezbędnych dla awioniki pokładowej BSP (żyroskopy, akcelerometry, magnetometry, czujniki ciśnienia, odbiorniki nawigacji satelitarnej). Przykładową wizualizację BSP pokazano na rysunku 1.

#### **4. SYSTEM ZAPOBIEGAJĄCY KOLIZJI Z LINIAMI ENERGETYCZNYMI**

Zaletą bezpilotowych statków powietrznych jest znaczna prędkość przemieszczania się oraz możliwość prowadzenia działań w terenie trudno dostępnym. Istniejące ograniczenia natury prawnej oraz prowadzenie skutecznych działań rozpoznawczych wymagają lotów na niewielkiej wysokości, nie przekraczającej kilkudziesięciu metrów. Sytuacja taka wiąże się jednak z ryzykiem kolizji z różnymi obiektami, a zwłaszcza z napowietrznymi liniami przesyłowymi wysokiego napięcia. Ryzyko kolizji z budowlami i wysokimi drzewami jest stosunkowo niewielkie, ponieważ ich wymiary geometryczne są znaczne i spostrzeżenie ich przez operatora systemu jest stosunkowo łatwe. Charakterystyczne dla współczesnej cywilizacji wielkie zapotrzebowanie na energię elektryczną spowodowało, że napowietrzne linie przesyłowe wysokiego napięcia są obecne niemal wszędzie w zasięgu wzroku. Stosunkowo dobrze widoczne są kratowe konstrukcje słupów, w mniejszym stopniu rozpoznawalne są słupy rurowe, same zaś przewody są bardzo słabo widoczne w warunkach obserwacji terenu przez operatora systemu za pomocą kamery.

Prędkość poruszania się samolotów bezpilotowych nie przekracza na ogół 50 m/s, w związku z czym należy przyjąć, że wykrycie i lokalizacja przeszkody powinny nastąpić z odległości przynajmniej 500 metrów przed nią. Stanowi to wytyczną do konstrukcji układu wykrywającego i lokalizującego linię napowietrzną. Wykrycie linii przesyłowej następuje, gdy odebrany zostanie sygnał częstotliwości 50 Hz, do pełnej lokalizacji położenia kąтового linii potrzebna jest znajomość kierunku, z którego pochodzi sygnał emitowany przez linię oraz znajomość jej odległości od systemu monitorującego.

Z punktu widzenia bezpieczeństwa lotów w aspekcie możliwej kolizji obiektu latającego, napowietrzne linie przesyłowe są instalacjami o zróżnicowanych wymiarach geometrycznych, z których największe znaczenie mają wysokość zawieszenia linii, wysokość słupów, a także ich konstrukcja i odległości między nimi [9].

Wykrywanie i lokalizacja linii wysokiego napięcia możliwe są dzięki temu, że są one źródłem promieniowania elektromagnetycznego niskiej częstotliwości (w Polsce 50 Hz).

Realizacja celu obarczona jest wieloma trudnościami; podstawowym utrudnieniem jest fakt, że natężenie pola elektromagnetycznego bardzo szybko maleje w miarę oddalania się od osi linii (z kwadratem tej odległości). Ponadto wcześniejsze badania wykonawców projektu wykazały, że sygnał użyteczny jest bardzo silnie tłumiony przez różne zakłócenia, głównie niskiej częstotliwości, które są indukowane na skutek poruszania się układu pomiarowego w ziemskim polu magnetycznym.

Posiadający duże doświadczenie wykonawcy projektu zamierzają zastosować w systemie magnetometrii typu fluxgate lub magnetoinductive oraz ich aplikacje umożliwiające wykrycie linii przesyłowej. Układy magnetoindukcyjne są znane od niedawna, pierwszy patent ich dotyczący pochodzi z 1989 r. Czujnikiem jest uzwojenie nawinięte na rdzeniu ferromagnetycznym, który zmienia swą przenikalność magnetyczną pod wpływem zmian ziemskiego pola magnetycznego [7]. Uzwojenie jest elementem indukcyjnym w generatorze LR. Częstotliwość drgań oscylatora jest proporcjonalna do natężenia pola magnetycznego, które jest mierzone. Częstotliwość ta może ulegać zmianom w granicach 100% przy obrocie cewki z rdzeniem o 90° względem źródła pola magnetycznego. Częstotliwość drgań oscylatora może być monitorowana za pomocą systemu mikroprocesorowego, który umożliwia rejestrację zmian natężenia pola. Magnetometrii zbudowane na tej zasadzie są proste w użyciu, pobierają niewiele energii, ich koszty są niewielkie. Używane są w konstrukcjach różnych kompasów. Zakres ich pracy obejmuje temperatury od -20 do +70°C, powtarzalność jest w granicach 4 miligausów.

Magnetometrii „fluxgate”, stosowane w charakterze czujników w kompasach systemów nawigacji, powstały w 1928 r., a po udoskonaleniach używane były do wykrywania okrętów podwodnych i prac geofizycznych [7]. Najczęściej magnetometr taki posiada dwa uzwojenia, owinięte wokół wspólnego rdzenia ferromagnetycznego. Zasada działania układu opiera się na wykorzystaniu zmian indukcji magnetycznej w obecności zewnętrznego pola magnetycznego. Uzwojenie pierwotne zasilane jest przebiegiem o częstotliwości rzędu 10 kHz.

Wartość napięcia skutecznego na uzwojeniu wtórnym jest zależna od natężenia pola magnetycznego w otoczeniu punktu pomiaru.

Wyodrębnienie sygnału użytecznego wymaga nie tylko doboru właściwej metody pomiaru natężenia pola; konieczne jest też zastosowanie środkowoprzepustowych układów filtrujących o doskonałej stabilności częstotliwości środkowej i znacznej dobroci. Najwłaściwsze będzie zastosowanie najnowszej generacji filtrów z pojemnościami przełączanymi sterowanych generatorami kwarcowymi, np. [8].

Zazwyczaj wysokość słupów wysokiego napięcia jest proporcjonalna do wartości napięcia linii i na ogół mieści się w granicach 30-65 metrów, przy czym większe wysokości dotyczą linii najwyższych napięć.

Wyznaczenie odległości linii wymaga znajomości napięcia, pod którym się ona znajduje, zakładając jednak, że istotnym zagrożeniem dla lotu rozważanego obiektu są linie wysokie (powyżej 30 m), wstępne prace i obliczenia można ograniczyć do linii 220 lub nawet 400 kV, przyjmując, że każdy manewr uniknięcia kolizji powinien doprowadzić do zwiększenia wysokości lotu powyżej przyjętej maksymalnej przewidywanej wysokości linii, czyli ok. 65 m [9]. Przy tak przyjętym założeniu wystarczająca jest znajomość kierunku, na którym znajduje się przeszkoda, rozpoczęcie manewru omijania następuje po sygnale układu potwierdzającego znalezienie się obiektu latającego w pobliżu rozpatrywanej instalacji. W przypadku linii wysokich (najwyższych napięć) celowe może się okazać rozważenie manewru polegającego na przelocie obiektu latającego poniżej przewodów linii stanowiącej przeszkodę.

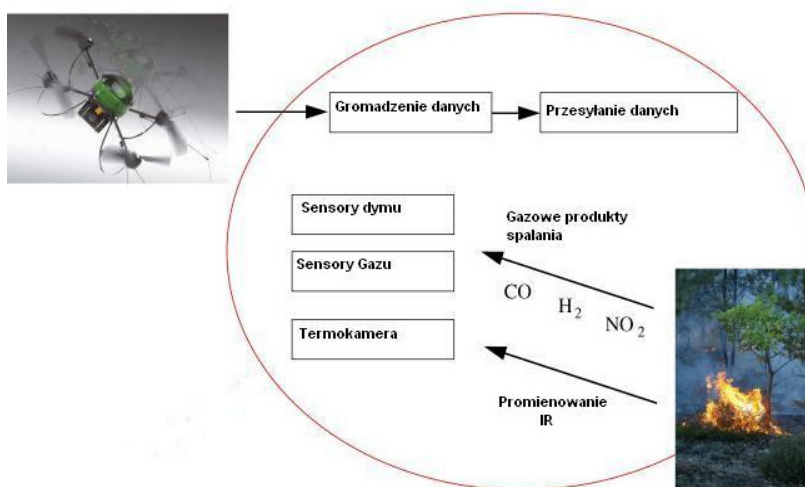
Przeznaczony do monitoringu terenu w aspekcie zagrożeń pożarowych bezzałogowy statek powietrzny wraz z zainstalowanymi na pokładzie kamerami jest częścią wielowymiarowego, najczęściej nieautonomicznego układu regulacji. Ze względu na zasygnalizowane w poprzednim punkcie zagrożenia kolizją z linią przesyłową, zadaniem znajdującego się na jego pokładzie układu pomiarowego jest wykrycie znajdującej się pod napięciem i przewodzącej prąd linii, przeprowadzenie lokalizacji jej położenia oraz poinformowanie operatora systemu lub spowodowanie stosownych działań autopilota w celu uniknięcia kolizji.

Rozwiązanie przedstawionego problemu wymaga znajomości właściwości dynamicznych bezzałogowego statku powietrznego, doboru właściwego układu pomiarów i regulacji oraz możliwości wykrycia celu i lokalizacji jego położenia kąтового. Należy przeprowadzić analizę dynamiki bezzałogowego statku powietrznego, której efektem będzie opracowanie dla niego odpowiedniej strategii działania i układów automatycznej regulacji dla autopilota dla stanu obserwacji i zagrożenia kolizją. W dalszej kolejności konieczne jest przeprowadzenie badań symulacyjnych pracy BSP wraz z opracowanym układem regulacji. Analiza przeprowadzonych badań zmierzać będzie do oceny jakości pracy BSP wyposażonego w zaprojektowane układy pomiarów i regulacji zgodnie z kryteriami obowiązującymi w teorii sterowania [5].

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

BSP jako system posiadający możliwość przesyłania obrazu w czasie rzeczywistym idealnie nadaje się do monitorowania zagrożenia pożarowego obszarów trudno dostępnych, takich jak lasy, torfowiska, tereny bagienne. Zaletą systemu jest możliwość szybkiego przemieszczania się z pominięciem tras komunikacyjnych. Monitorowanie zagrożeń pożarowych dzieli się na dwa elementy: wykrywanie i lokalizację ognisk spalania (wielogodzinne patrolowanie obszarów zagrożonych pożarem) oraz przesyłanie informacji w czasie rzeczywistym do stanowiska pracy operatora.

Informacja obrazowa z kamer pokładowych TV lub IR służy do bardzo szybkiego i precyzyjnego określenia sytuacji pożarowej (dym, spalanie płomieniowe i bezpłomieniowe) oraz miejsca pożaru (aktualna pozycja punktu obserwowanego przez głowicę optoelektroniczną BSP jest przesyłana do stacji kierowania i kontroli). Na rysunku 2 przedstawiono mechanizm wykrywania pożaru przez BSP.



Rys. 2. Mechanizm wykrywania pożaru przez BSP [6]

Fig. 2. The mechanism of fire detection by UAV [6]

Požary lasów mają dużą tendencję do szybkiego rozprzestrzeniania się. W sytuacji takiej ważną rolę odgrywają systemy BSP, które mogą być używane do przesyłania informacji obrazowych z przebiegu i postępu akcji gaszenia pożaru. Zdolność oceny sytuacji pożarowej przez kierującego działaniami ratowniczymi (KDR) jest dość ograniczona ze względu na bliskość drzew, natomiast pogląd na trójwymiarowo przedstawiony obraz z powietrza umożliwia bardziej efektywne podejmowanie decyzji, jak również rozplanowanie użycia sił i środków gaśniczych do gaszenia pożaru.

Rzeczywisty obraz może być przesyłany do dowódców poszczególnych odcinków gaśniczych (bojowych), co zwiększa komfort pracy oraz bezpieczeństwo ratowników i osób postronnych.

System BSP ma zastosowanie również w monitorowaniu stanu poziomu wód (rzek, jezior, rozlewisk) oraz terenów zagrożonych powodzią i podtopieniami. Za pomocą kamer znajdujących się na pokładzie BSP można sprawdzać poziom wody w akwenach, stan wałów przeciwpowodziowych oraz rozwój sytuacji, a w tym prędkość i kierunek przemieszczania się fali powodziowej. BSP znajduje zastosowanie przy kierowaniu działaniami ratowniczymi i prewencyjnymi.

Za pomocą przesyłanych współrzędnych lokalizuje się osoby poszkodowane lub zagrożone. Posiadanie takiego systemu pozwoliłoby na uniknięcie wielu katastrof. Zastosowanie go w Polsce mogłoby ograniczyć skutki powodzi, jaka miała miejsce w 1997 r. w dorzeczu Odry [6].

Budowa mobilnego systemu monitorowania zagrożeń pożarowych na terytorium Polski w oparciu o bezzałogowe statki powietrzne wymaga zrealizowania dodatkowych zadań:

1. Opracowanie cyfrowej mapy zagrożenia pożarowego lasów na podstawie danych satelitarnych.
2. Opracowanie scenariuszy i algorytmów realizowania misji.
3. Opracowanie modelu matematycznego BSP zawierającego sprzężenie dynamiki sterowanego automatycznie oraz przez operatora statku powietrznego z nałożonym sterowaniem.

## LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. nr 109, poz. 719).
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 marca 2006 r. w sprawie szczegółowych zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów (Dz.U. nr 58, poz. 405, z późn. zm.).
- [3] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 22 września 2000 r. w sprawie szczegółowych zasad wyposażenia jednostek organizacyjnych Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U. nr 93, poz. 1035).
- [4] Wizualizacje BSP stworzone przez firmę WB Electronics S.A. na potrzeby wniosku pt. „Budowa mobilnego systemu monitorowania zagrożeń pożarowych w oparciu o Specjalizowany Bezzałogowy Aparat Latający” złożonego w ramach II Konkursu Programu INNOTECH.

- [5] Koruba Z., Tuśnio J., A gyroscope-based system for locating a point source of low-frequency electromagnetic radiation, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, nr 2, s. 343-362, 2009.
- [6] Sałaga M., *Koncepcja zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w ochronie przeciwpożarowej lasów w Polsce*, praca dyplomowa, SGSP, Warszawa, 2010.
- [7] Caruso M.J., Smith C.H., Bratland T., Schneider R., *A New Perspective on Magnetic Field Sensing*, Honeywell, Inc. 5/98.
- [8] Linear Technology Corporation: LTC1068 Series Clock-Tunable, Quad.
- [9] Koruba Z., Tuśnio J., Koncepcja i algorytm manewru ochrony obiektu latającego przed kolizją z napowietrzną linią przesyłową wysokiego napięcia, *Problemy Mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa*, nr 4 (6), s. 69-79, 2011.

## **Application of Unmanned Aerial Vehicles as a Mobile Monitoring of Fire Hazard**

Norbert TUŚNIO, Izabela KRZYSZTOFIK, Janusz TUŚNIO

**Abstract.** This paper describes the concept of mobile system for observation of land in order to detect fire outbreaks. The primary function of this system meets the unmanned aerial vehicle equipped with a specialized television cameras and thermal imaging indicating the presence of areas with elevated temperatures, which may be identified as a fire. The system has the possibility of two-way radio communication with the position of command and after minor modifications, can be used to monitor events related to the protection of persons and property as well as ensuring security in conditions of vulnerability to natural disasters and terrorism. Due to the low altitude limit regulations will include a signaling system risks arising from the approximation of the overhead high voltage lines, which will help them bypass the collision.

**Keywords:** robotics, unmanned aerial vehicle, fires, floods