

BUDOWA I ZASTOSOWANIE PLATFORMY WIELOSENSOROWEJ W BADANIU WYBRANYCH PARAMETRÓW ŚRODOWISKA

PAWEŁ CZAPSKI*, MARIUSZ KACPRZAK*, TOMASZ KORNILUK*, JAN KOTLARZ*, KATARZYNA KUBIAK**, ANNA MAZUR*, KAROL MROWIEC*, TOMASZ OSZAKO**, JANUSZ PIENIAŻEK*, AGNIESZKA POŚPIESZCZYK*, MIŁOSZ TKACZYK**, KONRAD WODZIŃSKI*, NATALIA ZALEWSKA*

*Instytut Lotnictwa, Centrum Technologii Kosmicznych**
*Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ochrony Lasu***

Streszczenie

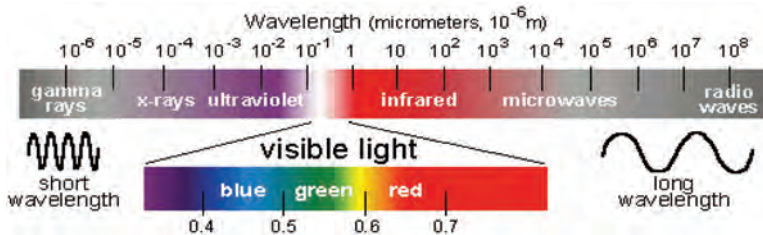
Publikacja stanowi przegląd metod zdalnego badania i detekcji obiektów, od etapu planowania misji fotolotniczej poprzez realizację nalotu, sprawdzenie jakości wykonanych zdjęć do uzyskania teledetekcyjnych wskaźników roślinności i ich analizy. W niniejszej pracy opisano budowę platformy wielosensorowej zbudowanej na potrzeby projektu HESOFF. Przedstawiono potencjalne obszary zastosowania technik wielospektralnych oraz opisano metodykę zdalnego badania wybranych parametrów środowiska. W publikacji przedstawiono główne założenia i wstępne wyniki projektu HESOFF oraz zaprezentowano koncepcje Systemu Informacji Przestrzennej stworzonego dla trzech obszarów badawczych.

Słowa kluczowe: GIS, kamera wielospektralna, lot fotogrametryczny, wskaźniki roślinności, NDVI, stan drzew, biomasa roślinna.

WPROWADZENIE

W Pracowni Przetwarzania Danych Instytutu Lotnictwa prowadzone są interdyscyplinarne prace badawcze łączące wiedzę z dziedzin takich jak: elektronika, informatyka, telekomunikacja, analiza obrazu oraz teledetekcja. Znaczna część prowadzonych działań związana jest z akwizycją i przetwarzaniem danych rastrowych. Rozwój techniki, a w szczególności znaczne zwiększenie mocy obliczeniowych jednostek komputerowych i rewolucja cyfrowa w obszarze fotografii (zastąpienie błony fotograficznej detektorami cyfrowymi) wpłynęły na rozwój dziedziny nauki zwanej teledetekcją. Jest to badanie właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych różnych obiektów bez bezpośredniego kontaktu z przedmiotem badanym. Początkowo teledetekcja opierała się głównie na widzialnym zakresie promieniowania elektromagnetycznego (zakresy: czerwony, zielony i niebieski), obecnie powszechne jest stosowanie kilku, kilkunastu, a nawet kilkuset kanałów spektralnych z zakresem: 0,4-12,5 [µm]. Na rysunku (rys. 1) przedstawione zostało widmo promieniowania elektromagnetycznego Materiałem źródłowym w pracach teledetekcyjnych są najczęściej zdjęcia lotnicze i satelitarne. W ciągu ostatnich dziesięciu lat znacznie wzrosło wykorzystanie zdalnie sterowanych statków powietrznych,

pojawiło się również zapotrzebowanie na lekkie systemy wielosensorowe rejestrujące wąskie zakresy promieniowania elektromagnetycznego, odpowiedzią na wymagania rynku jest platforma wielosensorowa stworzona w Instytucie Lotnictwa.



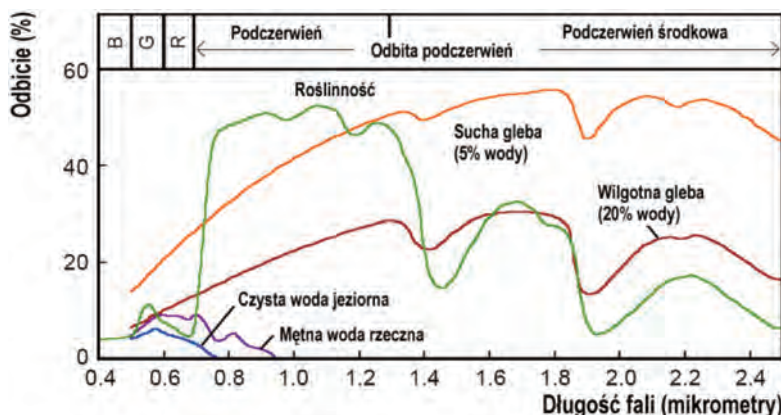
Rys. 1. Spektrum promieniowania elektromagnetycznego, źródło: <http://www.uh.edu/~jbutler/physical/chapter14notes.html>

Odpowiednio dobrana kombinacja różnych kanałów spektralnych umożliwia skuteczną detekcję, a także wyodrębnienie istotnych cech badanego podmiotu. Metody teledetekcyjne są z powodzeniem stosowane do pozyskiwania informacji o obiektach oddalonych tysiące kilometrów od sensora, mogą być one stosowane zarówno do badania form pokrycia ziemi jak i badania odległych planet. Ich niezwykle istotną cechą jest nieinwazyjność, nie zachodzi potrzeba fizycznego wnikania w strukturę badanego obiektu. Informacją źródłową w obrazowaniach wielospektralnych jest wartość radiometryczna piksela, która wynika głównie z wielkości refleksyjności obiektu (fragmentu bądź grupy obiektów) reprezentowanego przez dany piksel.

ZASTOSOWANIE TECHNIK WIELOSPEKTRALNYCH

Pierwsze prace związane z masowym pozyskiwaniem zdjęć do zastosowań cywilnych rozpoczęły się wraz z budową satelity LANDSAT (lata 70', dwudziestego wieku). Wystrzelenie tego satelity było przełomem w badaniu powierzchni naszej planety. Skaner wielospektralny (MSS) pozyskiwał obrazy w czterech zakresach spektralnych: $0,5-0,6$ [μm], $0,6-0,7$ [μm], $0,7-0,8$ [μm], $0,8-1,1$ [μm], rozmiar pojedynczej sceny wynosił 185×185 [km] przy rozmiarze piksela 79×79 [m]. Obecnie stosowane systemy satelitarne dostarczają zobrazowań wielospektralnych w wielu zakresach spektralnych z rozdzielczością pojedynczych metrów. Współczesne oprogramowanie stosowane w teledetekcji umożliwia prowadzenie zaawansowanych analiz z uwzględnieniem zniekształcającego wpływu atmosfery na wartości radiometryczne poszczególnych obiektów. Pełen proces przygotowania obrazów wielospektralnych do prowadzenia analiz ilościowych i jakościowych obejmuje ponadto: usunięcie dystorsji radiometrycznych, kalibrację detektorów, korekcję słoneczną oraz korekcje topograficzną [1]. Odpowiednio przygotowane obrazy są wykorzystywane do ekstrakcji istotnych informacji o otaczającej nas przestrzeni. Cechy rozpoznawcze możemy podzielić na bezpośrednie i pośrednie. Za bezpośrednie należy uznać: kształt obiektu, jego wielość, ton, barwę oraz teksturę. Cechami pośrednimi są natomiast: cień, sąsiedztwo, położenie oraz uwarunkowania kulturowe i fizjograficzne. Interpretacja w oparciu o cechy obiektu wymaga znacznego udziału operatora i przeprowadzenia odpowiedniej analizy obszaru opracowania. Osoba prowadząca fotointerpretację musi zapoznać się z cechami obiektów, które podlegają detekcji. Przed przystąpieniem do prac badawczych należy przyjąć jednoznaczną definicję obiektów badanych i ustalić jakie są typowe kształty, jaka jest typowa wielkość, oraz barwa oraz przede wszystkim ustalić jak obiekt wyglądał w czasie pozyskiwania materiału zdjęciowego. W celu automatyzacji procesów należy stosować wiele odpowiednio wąskich zakresów spektralnych.

Zaawansowane techniki automatycznej i półautomatycznej detekcji i klasyfikacji prowadzone są na obrazach wielospektralnych. Opierają się one głównie na analizie charakterystyk spektralnych, które są swego rodzaju „metryką badanego podmiotu”. Odbicie spektralne jest właściwe dla danego obiektu i zakresu spektralnego. Na rysunku (rys. 2) zaprezentowane zostały krzywe spektralne wybranych form pokrycia terenu: roślinność, sucha gleba, wilgotna gleba, czysta i mętna woda rzeczna. Ze względu na różne właściwości, wartość refleksyjności podlega znacznym zmianom. Ich znajomość i dysponowanie możliwie pełną biblioteką spektralną jest podstawą wszelkich prac interpretacyjnych.



Rys. 2. Charakterystyki spektralne dla wybranych form pokrycia terenu, źródło:

http://telesip.gik.pw.edu.pl/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=39&Itemid=71

Obszar zastosowań technik wielospektralnych jest niezwykle szeroki. Są one szczególnie użyteczne we wszelkiego rodzaju badaniach i analizach środowiska. Dzięki zastosowaniu odpowiedniej kombinacji zakresów spektralnych możliwe jest obliczenie różnorodnych wskaźników, które mogą być użyte wprost do oceny wybranych parametrów środowiska. Najpopularniejsze i najczęściej wykorzystywane to:

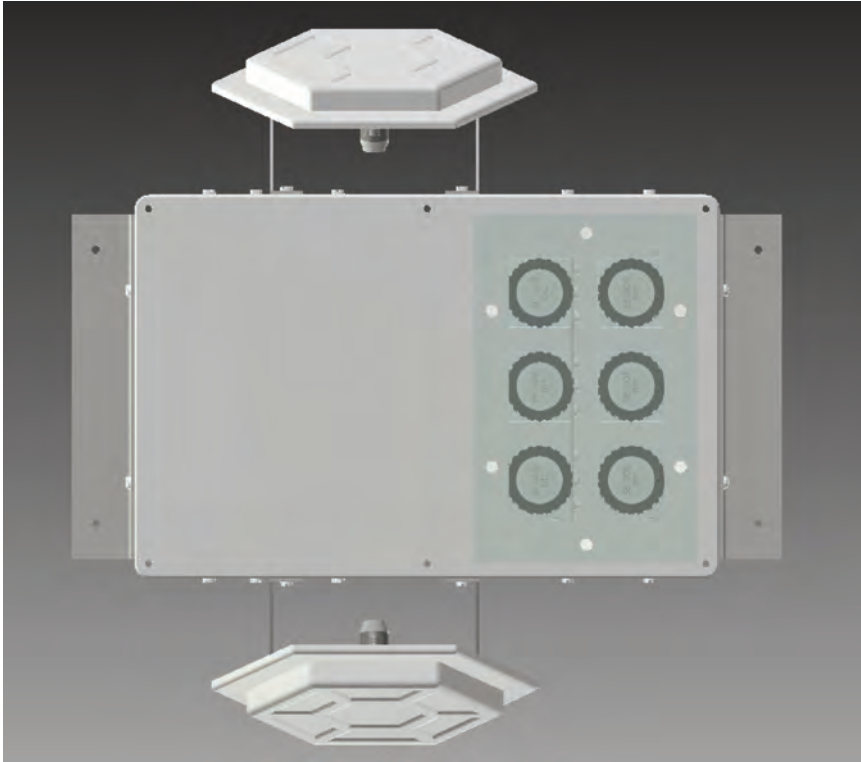
- NDVI – znormalizowany, różnicowy wskaźnik roślinności liczony z wykorzystaniem zakresu czerwonego (R) i bliskiej podczerwień (NIR). Wartość tego wskaźnika interpretowana jest jako „wigor roślin”. Zastosowanie tego wskaźnika umożliwia oszacowanie wielkości i jakości biomasy roślinnej na danym obszarze.
- ARVI – pewna modyfikacja wskaźnika NDVI, w obliczeniach wykorzystane jest odbicie paśmie niebieskim, wskaźnik ten jest mniej wrażliwy na wpływ atmosfery niż NDVI.
- NDWI – znormalizowany wskaźnik wody liczony z wykorzystaniem wartości odbicia w zakresie czerwonym i bliskiej podczerwień. Wskaźnik ten jest bardzo wrażliwy na zmiany zawartości wody wewnątrz struktury roślin, uwzględnia jednak również wpływ wilgotności gleby.
- WI – „Indeks wody” zawartej w liściach, w obliczeniach wykorzystany jest iloraz refleksyjności w dwóch zakresach podczerwień około 0,97 i 0,90 [μm].
- LCI – Indeks zawartości chlorofilu w strukturze komórkowej roślin obliczany jest z wykorzystaniem kanałów: 680, 710 i 850 [μm]. Służy do oceny zawartości chlorofilu, a więc w bezpośredni sposób może zostać wykorzystany do badania stanu roślinności.
- PRI – Wskaźnik odbicia fotochemicznego, obliczony z wykorzystaniem znormalizowanej różnicy odbicia w zakresie: 530 i 570 [μm]. Jest wrażliwy na zmiany w cyklu produkcji roślinnej, pozwala wskazać jej intensywności.

Oprócz wymienionych wskaźników, istotną grupę stanowią „proste wskaźniki”, związane z zawartością pigmentu w liściach roślin, m.in. zawartość karotenoidu może być badana z wykorzystaniem odbicia w kanale 530 [µm]. Zaawansowane analizy środowiska prowadzone w oprogramowaniu GIS umożliwiają wyświetlanie wielu warstw i integrację wyników pochodzących z różnych źródeł. Dzięki kompleksowo prowadzonemu badaniu danego obszaru możliwe jest m.in. stworzenie szczegółowej mapy pokrycia terenu. Najważniejszym produktem zaawansowanych analiz wielospektralnych jest mapa z wyodrębnionymi obszarami i obiektami o zadanych parametrach. Ponadto metody wielospektralne są wykorzystywane do wspomagania oceny jakości biotycznych i abiotycznych elementów środowiska takich jak: wody, gleby, roślinność. W ramach prac powszechnie realizowanych na całym świecie prowadzone są prace związane z corocznym monitoringiem upraw i prognozowaniem przyszłych plonów. Zdjęcia i analizy wielospektralne są szczególnie przydatne w instytucjach, organizacjach i firmach, które cyklicznie monitorują duże obszary. Wielospektralne cyfrowe zdjęcia lotnicze i satelitarne są kamieniem milowym dla rozwoju teledetekcji. Oprócz zagadnień typowo środowiskowych, analizy wielospektralne mogą z powodzeniem być wykorzystane w obszarach związanych z bezpieczeństwem i obronnością państwa. Zastosowanie odpowiednich zakresów spektralnych i ciągły monitoring danego obszaru pozwala na wykrycie istotnych zmian i detekcję niebezpiecznych zjawisk, np. wycieku paliw ciekłych z pokładu statku lub też wykrycie nielegalnych składowisk odpadów chemicznych. Najważniejszymi parametrami warunkującymi przydatność i użyteczność zdjęć lotniczych i satelitarnych są: częstotliwość pozyskania (rozdzielczość czasowa), rozdzielczość geometryczna i rozdzielczość spektralna czyli wykorzystane zakresy promieniowania elektromagnetycznego. W zależności od rozmiaru terenowego piksela (GSD) mogą być prowadzone badania w skali makro, dla obszaru całego państwa lub kontynentu (piksel powyżej 15 metrów), mikro dla badań lokalnych (piksel o wielkości kilku metrów) oraz badania szczegółowe dla konkretnych obiektów przy rozdzielczości terenowej na poziomie kilkudziesięciu centymetrów. Potencjał obrazowania wielospektralnego jest bardzo duży, wraz z rozwojem sensorów, zwiększeniem czułości matryc przy jednoczesnym wzroście ich rozdzielczości będzie możliwa jeszcze skuteczniejsza detekcja, w tym wykrywanie obiektów znajdujących się pod powierzchniową warstwą ziemi. Możliwe to będzie jeśli na obszarze odpowiadającym co najmniej wielkości piksela terenowego obiekt ten będzie wchodził w interakcje z warstwami, którymi jest przykryty tzn. zachodzące reakcje chemiczne wpłyną na zmiany właściwości gleb. Te subtelne różnice w charakterystykach spektralnych powierzchniowych warstw będą wykryte i doprowadzą do detekcji elementów podpowierzchniowych. Dodatkowo bardzo ważną kwestią jest możliwość wykorzystania technik wielospektralnych w przestrzeni kosmicznej, m.in. do badania planet znajdujących się w Układzie Słonecznym. Informacja o ich powierzchni zapisana w postaci wartości radiometrycznych jest porównywana z dostępną bazą sygnatur spektralnych. W oparciu o dane referencyjne podejmowana jest próba detekcji składu chemicznego. Wielospektralne optyczne metody badań są obecnie najpowszechniej stosowane dla obiektów znajdujących się w kosmosie.

Budowa i wykorzystanie platformy wielosensorowej

W ramach prowadzonego w Instytucie Lotnictwa projektu HESOFF została zbudowana platforma wielosensorowa. Ogólnie dostępne na rynku rozwiązania do akwizycji danych wielospektralnych nie spełniały głównych założeń dotyczących operacyjności i funkcjonalności, m.in. blokowały dostęp do pozyskanych zdjęć w trakcie akwizycji nowych danych. Skonstruowana w Pracowni Przetwarzania Danych platforma wielosensorowa umożliwia jednoczesne pozyskiwanie, archiwizowanie, analizowanie i przesyłanie obrazów. System akwizycji posiada własne źródło zasilania i działa niezależnie od jego nośnika, tzn. z powodzeniem może zostać

zamontowany na: zdalnie sterowanym statku powietrznym, w klasycznym samolocie załogowym, sterowcu. Na rysunku został przedstawiony render z programu AutoCAD prezentujący platformę wielosensorową.



Rys. 3. Render platformy wielosensorowej, źródło: opracowanie własne

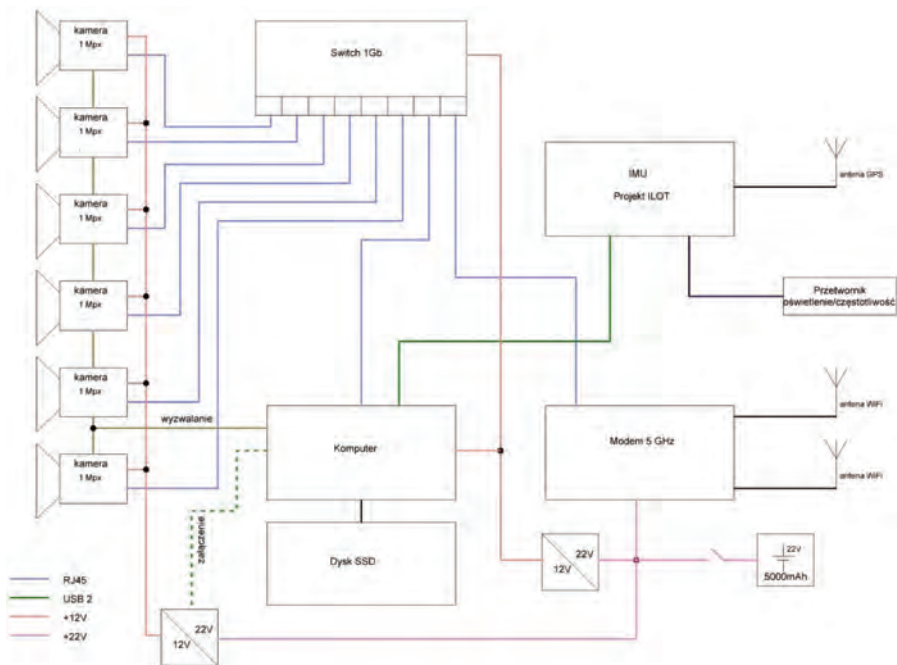
Platforma multisensorowa ma za zadanie rejestrować zdjęcia z pokładu dowolnego środka mobilnego i zapisywać je na dysku w celu późniejszej ich analizy na ziemi. System powinien także mieć możliwość przetwarzania zdjęć tuż po ich pozyskaniu. Do każdego zdjęcia muszą być przypisane współrzędne GPS oraz dane o kątowym wychyleniu kamery. W skład systemu wchodzi zestaw sześciu kamer z wymiennymi obiektywami, kąt rozwarcia każdego z obiektywów to około 26° , rozdzielczość pojedynczego sensora to 1,3 Mpx. Stworzona platforma wielosensorowa rejestruje odbite od obiektów promieniowanie słoneczne, stworzony system należy więc zaliczyć do grupy systemów pasywnych.

Główne założenia koncepcyjne dotyczące platformy wielosensorowej:

- Jednoczesna akwizycja co najmniej sześciu zakresów spektralnych;
- Rejestracja z częstotliwością co najmniej 1Hz;
- Czas działania, co najmniej 1,5 godziny;
- Autonomiczność, tzn. uniwersalność stosowania i umożliwienie montażu na dowolnej platformie mobilnej;
- Rejestracja współrzędnych geograficznych i katów pochylenia kamery w momencie pozyskiwania zdjęcia;
- Możliwość zdalnej konfiguracji głównych parametrów takich jak:
 - Czas ekspozycji, indywidualny dla każdej kamery,

- Czułość matrycy indywidualnie dla każdej kamery,
- Częstotliwość robienia zdjęć,
- Liczba zdjęć w pojedynczej serii.
- Możliwość implementacji algorytmów do wstępnej analizy zdjęcia i obliczania wskaźników teledetekcyjnych w czasie zbliżonym do rzeczywistego (Near Real-Time; NRT)
- Umożliwienie zdalnego dostępu do zdjęć;
- Podgląd ostatnio wykonanego zdjęcia;
- Możliwie krótki czas obsługi na ziemi.

Platforma wielosensorowa jest zespołem wielu urządzeń współdziałających ze sobą. Na rysunku (rys. 4) przedstawiony został schemat połączeń poszczególnych elementów składowych stworzonego systemu wielosensorowego.



Rys. 4. Schemat blokowy platformy multisensorowej, źródło: opracowanie własne

Za główny element składowy platformy należy uznać komputer, który kontroluje pracę wszystkich podzespołów. Pracuje on pod nadzorem systemu operacyjnego Linux. Zdjęcia zapisywane są na dysku twardym typu SSD, który ma niskie zużycie energii i podwyższoną odporność na wstrząsy dzięki wyeliminowaniu elementów mechanicznych. Na komputerze zostało zainstalowane autorskie oprogramowanie sterujące pracą platformy, w całości opracowanie i napisane w Pracowni Przetwarzania Danych Instytutu Lotnictwa.

Zadania realizowane w wykorzystaniu stworzonego oprogramowania to:

- Wyzwalanie fotografowania;
- Zapis zdjęć na dysku;
- Zdalne rozpoczęcie/zatrzymanie akwizycji danych;
- Zdalne ustawienie parametrów pracy kamer;
- Zapisywanie danych o położeniu geograficznym kamery i jej pochyleniu w czasie pozyskiwania zdjęcia;

- Implementacja różnych algorytmów do przetwarzania danych rastrowych;
- Zapis wyników analiz spektralnych jako osobne zdjęcie;
- Obliczanie położenia środka zdjęcia na podstawie współrzędnych kamery i dostępnego modelu terenu;

Zainstalowana usługa serwera SSH umożliwia bezpieczne, zdalne logowanie do platformy, dzięki temu operator platformy wielospektralnej uzyskuje:

- Bezpośredni dostęp do komputera platformy ze stacji naziemnej;
- Zdalną kontrolę wszystkich parametrów platformy;
- Zdalną aktualizację oprogramowania.

Pobieranie zdjęć z platformy do stacji naziemnej możliwe jest dzięki zastosowaniu serwera FTP. Zdjęcia można pobierać w czasie rzeczywistym, tuż po ich wykonaniu. Platforma ma możliwość implementacji różnych algorytmów analizy zdjęć wielospektralnych. Obecnie zaimplementowano algorytm NDVI obliczający ten wskaźnik dla każdego wykonanego zdjęcia. Obliczenia zajmują 40 ms dla każdego zdjęcia, można więc mówić o obliczeniach w czasie rzeczywistym. Obecne zasilanie stanowi akumulator o pojemności 44 Ah i napięciu 24 V. Kamery wymagają źródła zasilania $U=12\text{ V} \pm 10\%$. Zmiana napięcia realizowana jest poprzez zastosowanie przetwornicy 24 V \rightarrow 12 V. Sterowana jest ona przez komputer, dzięki czemu możliwe jest włączenie zasilania kamer w momencie gdy platforma znajdzie się nad powierzchnią badawczą, bez zbędnego zużywania energii w czasie dolotu do miejsca akwizycji. Zaimplementowane rozwiązanie pozwala na zaoszczędzenie około 14W energii. Kamery komunikują się z komputerem za pomocą protokołu GigE Vision przez switch. Urządzenie IMU zasilane przez port USB komputera platformy pozwala na pozyskanie i zapis danych, takich jak: współrzędne geograficzne (WGS84) i kąty ustawienia platformy w czasie pozyskiwania każdego ze zdjęć: (odchylenie, przechylenie i pochylenie). Oprogramowanie platformy przelicza dane z IMU i na podstawie pliku z modelem terenu oblicza współrzędne środka zdjęcia i realizuje projekcje na dostępny podkład kartograficzny. Modem radiowy ustawiony w tryb mostu umożliwia zdalną komunikację z platformą. Obecnie trwają intensywne prace koncepcyjne dotyczące rozwoju systemu łączności platformy wielosensorowej.

Główne założenia koncepcyjne dotyczące systemu łączności:

Założono, że praca nowo projektowanego systemu nie będzie miała wpływu na funkcjonowanie innych urządzeń zainstalowanych na pokładzie bezzałogowego statku powietrznego, który jest potencjalnym nośnikiem platformy wielosensorowej. System łączności będzie posiadał odrębne źródło zasilania i osobny zespół antenowy. System łączności powinien umożliwić zestawienie łącza radiowego o przepustowości nie gorszej niż 1 MB/s przy odległości nieprzekraczającej 10 km, przy czym minimalna operacyjna odległość powinna być nie mniejsza niż 3 km. Środowisko pracy projektowanego systemu łączności sprawia, że jedna ze stron łącza radiowego nieustannie się porusza. Wpływa to niekorzystnie na stabilność łącza poprzez zjawiska takie jak zaniki sygnału oraz wielodrogowość sygnału spowodowaną licznymi odbiciami. Uwzględniając wymagania projektowanego systemu łączności i docelowe środowisko pracy stwierdzono, że należy zastosować urządzenia, które umożliwią pracę z modulacją OFDM. Modulacja OFDM pozwala na rozłożenie transmisji o dużej przepływności na kilka wolniejszych strumieni, umożliwiając tym samym pracę systemu w kanałach, w których występuje zjawisko wielodrogowości. Teoretycznie, najlepszym wyborem dla platform mobilnych byłyby urządzenia pracujące w standardzie WiMAX opartym na standardach 802.16 i ETSI HiperLAN. Standardy te stworzono dla szerokopasmowego radiowego dostępu na dużych obszarach dla poruszających się terminali i przy braku wymogu widoczności anten. Ponadto, warstwa fizyczna 802.16 umożliwia rozłożenie transmisji na 2048 wolniejszych strumieni. Niestety, z uwagi na ograniczenia prawne i niedostępność urządzeń na rynku pracujących w standardzie

WiMAX stwierdzono, że należy zastosować inne rozwiązanie. Z uwagi na dostępność urządzeń pracujących w standardzie 802.11 proponuje się wykorzystanie do tego celu ogólnodostępnych pasm WLAN 2.4GHz lub 5GHz. W standardzie 802.11, podobnie jak ma to miejsce w 802.16, także wykorzystuje się modulację OFDM. Niestety, liczba podnośnych jest ograniczona i wynosi maksymalnie 52. Standard 802.11 nie został zaprojektowany z myślą o poruszających się terminalach, tym niemniej zastosowanie ww. standardu pozwoli zminimalizować niepożądane zjawiska propagacyjne związane z wielodrogowością. Z uwagi na wymaganą kompatybilność elektromagnetyczną projektowanego systemu łączności z innymi systemami bezałogowego statku powietrznego (pasmo 2.4 GHz – sterowanie, częstotliwości GPS 1575.42 MHz i 1227.6 MHz) podjęto decyzję o wyborze pasma i urządzeń WLAN 5 GHz. Na rysunku (rys. 5) przedstawiono schemat blokowy systemu łączności z uwzględnieniem Mobilnej platformy i stacji naziemnej.



Rys. 5. Ogólna koncepcja systemu łączności radiowej, źródło: opracowanie własne

Platforma może mieć szerokie zastosowanie w wielu branżach, bardzo ważne jest to, że zespół kamer rejestrujących wąskie zakresy promieniowania elektromagnetycznego sprzęgnięty jest z komputerem. Takie rozwiązanie umożliwi prowadzenie analiz tuż po pozyskaniu zdjęcia. Wyeliminowany jest czas przenoszenia zdjęć z kamery wielospektralnej do jednostki komputerowej, na której będą prowadzone analizy. W chwili obecnej posiadamy w pełni funkcjonalny prototyp platformy, prace rozwojowe wciąż trwają.

Tab. 1. Główne parametry stworzonej platformy wielosensorowej

Parametr	Platforma ILOT
Rozdzielczość maksymalna (pojedynczy kanał)	1296x966
Rozdzielczość po kalibracji (pojedynczy kanał)	1200x804
Ilość kanałów	6 (możliwość rozbudowania)
Format zdjęcia	RAW (6 zdjęć + NDVI w 1 pliku)
Ilość klatek (w pełnej rozdzielczości)	max 5/sek
Ilość klatek (po kalibracji)	max 7/sek
Maksymalna liczba zdjęć (w pełnej rozdzielczości)	61 000
Wskaźnik NDVI	Liczony dla każdej klatki (Siódme zdjęcie w pliku)
Jednoczesna akwizycja zdjęć i ich podgląd	Tak
Prędkość transmisji danych	do 100Mb/s
Zdalna konfiguracja	Tak
Współrzędne kamery w trakcie pozyskiwania zdjęcia	Współrzędne GPS (WGS84) + dane katowe
Wymienne obiektywy	Tak
Średnica obiektywu	20mm
Piksel terenowy (GSD) dla wysokości h=200m	6.0cm
Masa platformy bez akumulatora	1690g
Zakresy spektralne	Zależne od użytych filtrów

Główne założenie projektu HESOFF

Zachodzące zmiany klimatyczne zaostrzają obserwowane w Europie od początku XIX wieku zjawisko zamierania wielu gatunków drzew leśnych. Pogarszający się stan zdrowotny drzewostanów liściastych w Polsce obserwowano od początku XX wieku. Zjawisko zamierania drzewostanów dębowych występuje na terenie tzw. „Płyty Krotoszyńskiej”, wśród ponad 100-letnich i młodszych drzewostanów dębowych. Do głównych objawów uszkodzenia należą: żółknięcie i niedorozwój liści, przerzedzenie koron i zamieranie gałęzi, wysięki soków spod warstw podpowierzchniowych kory pni, a po jej usunięciu widoczne przebarwienia w drewnie bielastym (brązowe lub ciemno brązowe). Zamieranie dębów i przyczyny tego zjawiska są wciąż badane: warunki siedliskowe, obecność mikroorganizmów patogennych i owadów – szkodników drzew liściastych. Za najbardziej prawdopodobne uznawane są:

- Zmiany klimatu;
- Zanieczyszczenia gleb;
- Choroby dębów wywołane przez *Phytophthora* spp.;
- Zmiany aktywności biologicznej gleby;
- Zmiany w składzie i liczności drobnoustrojów w tkankach roślin.

Jedyna, aktualnie potwierdzona, biologiczna przyczyna zamierania dębów, to silne uszkodzenia korzeni wywołane przez inwazyjne patogeny glebowe z rodzaju *Phytophthora* należących do grupy lęgniowców – Oomycetes. Mikroorganizmy te uszkadzają nawet 90% korzeni drobnych, powodując usychanie koron i zamieranie całych drzew. Projekt HESOFF koncentruje się na integracji innowacyjnych technologii z nowoczesnymi metodami kultywacji lasu. Założenia projektu HESOFF obejmują wykorzystanie i ocenę działania fosforynów, jako stymulatorów odporności drzew przeciwko patogenom z rodzaju *Phytophthora* oraz wprowadzenie do praktyki leśnej nowych metod monitoringu w ochronie kompleksów leśnych poprzez analizę zdjęć multispektralnych wykonanych z wykorzystaniem statku powietrznego. Aplikacja nawozów fosforynowych do tkanek drzew stymuluje ich naturalną odporność, ułatwiając adaptację drzew do zmieniających się warunków środowiska i wspomaga ich mechanizmy obronne przeciwko szkodnikom i chorobom wywołanym przez *Phytophthora* spp. Zastosowanie metod teledetekcyjnych pozwala na dostarczenie danych o drzewostanach leśnych w dużej i małej skali, nawet dla pojedynczego drzewa. Kamera multispektralna umożliwia pomiar parametrów fizjologicznych drzew i wykorzystanie ich do oceny zdrowotności kompleksów leśnych. Zastosowanie statku powietrznego umożliwia ujednoczenie i integrację systemu monitoringu wielkoobszarowego lasów w Polsce.

Projekt przewiduje wykonanie działań o charakterze demonstracyjnym:

- zastosowanie samolotu bezzałogowego z kamerą wielospektralną jako technologii do monitoringu wielkopowierzchniowej zdrowotności kompleksów leśnych na terenie Polski. Ze szczególnym uwzględnieniem pomiarów fluorescencji chlorofilu jako miernika kondycji aparatu fotosyntetycznego w liściach drzew;
- zastosowanie preparatów fosforynowych w leśnictwie jako elicytorów odporności drzew przeciwko inwazyjnym gatunkom *Phytophthora*;
- wykorzystanie zdjęć lotniczych wykonanych przy pomocy samolotu bezzałogowego do oszacowania rzutu koron drzew na badanych powierzchniach;
- umożliwienie opracowania operatu oddziaływania fosforynów na środowisko leśne (gleba – roślina) oraz na populację inwazyjnych fitopatogenów z rodzaju *Phytophthora*;
- uzyskanie wyników służących do stworzenia nowych, praktycznych wskazówek dla polskiej praktyki ochrony lasu;
- zastosowanie fosforynów jako elicytorów naturalnej odporności drzew pozwoli ograniczyć w polskim leśnictwie używanie chemicznych środków ochrony roślin.

W wyniku prowadzonych prac zostanie stworzone narzędzie do prowadzenia monitoringu wskaźników roślinności, ponadto zaproponowana metoda dla oceny stanu zdrowia drzew na „Płycie Krotoszyńskiej” będzie mogła zostać wykorzystana przez naukowców do oceny biomasy roślinnej na innym obszarze.

Pozyskiwanie zdjęć wielospektralnych

Zgodnie z głównymi założeniami projektu HESOFF, podjęte zostały działania związane z akwizycją zdjęć wielospektralnych. Należy przestrzegać pewnych standardów niezależnie od tego jaki system akwizycji posiadamy i jaką platformę nośną wykorzystujemy w trakcie pozyskiwania zdjęć. Oczywiście należy mieć świadomość, że przy zastosowaniu lekkiej platformy bezzałogowej dużo trudniej niż przy użyciu klasycznego samolotu fotogrametrycznego zachować osiowość szeregów i zerowe kąty przechylenia, jest to spowodowane w głównej mierze podmuchami wiatru, które negatywnie wpływają na stabilność lotu. Każdy nalot nad powierzchniami badawczymi należy poprzedzić kameralnymi pracami przygotowawczymi, a jeśli istnieje taka potrzeba należy przeprowadzić również prace terenowe, np. pomiar punktów osnowy i wyłożenie znaczników terenowych. W przypadku wykonywania nalotu zdalnie sterowanym statkiem powietrznym należy przygotować miejsce startu i lądowania spełniające kryteria bezpieczeństwa. Bezpośrednie przygotowania do lotu każdorazowo obejmują działania takie jak: integracja platformy wielosensorowej z platformą nośną (montaż, odpowiednie rozmieszczenie czujników, poziomowanie), kalibracja kamer i manualne nastawienie ostrości z uwzględnieniem wysokości fotografowania, test poprawności działania systemu, lot testowy i pozyskanie zdjęć próbnych. Po przeprowadzeniu wszystkich działań przygotowawczych odbywa się procedura startu i akwizycji danych wzdłuż przygotowanej wcześniej trasy nalotu [11].

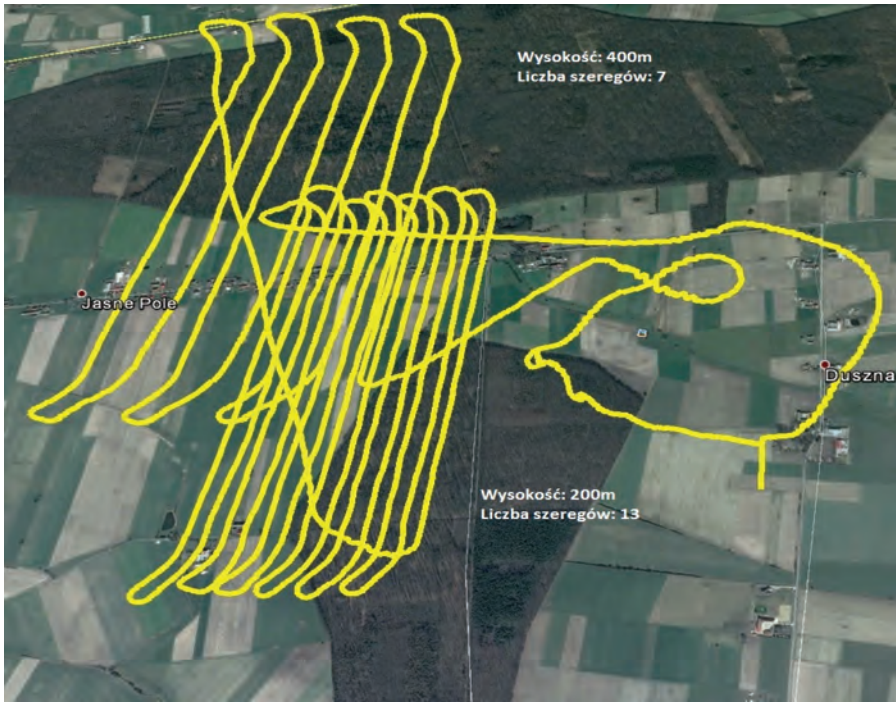
Planowanie misji fotolotniczej obejmuje:

- Określenie powierzchni i kształtu obszaru opracowania;
- Zdefiniowanie wymaganych zakresów spektralnych;
- Przygotowanie projektu nalotu;
- Pomiar osnowy polowej (jeśli opracowanie zdjęć zakłada wykorzystanie znaczników terenowych);

Najważniejsze parametry nalotu fotogrametrycznego to:

- Wielkość piksela terenowego (GSD);
- Wysokości lotu z uwzględnieniem parametrów kamery tj. fizycznej wielkości matrycy i ogniskowej kamery;
- Pokrycie poprzeczne i podłużne: p i q [%];
- Zasięg terenowy pojedynczego zdjęcia;
- Powierzchnia pojedynczego zdjęcia;
- Baza podłużna i poprzeczna: B_x i B_y ;
- Prędkość przelotowa platformy nośnej;
- Częstotliwość pozyskiwania zdjęć ;
- Liczba szeregów;
- Planowana liczba zdjęć w szeregu;
- Całkowita liczba pozyskanych zdjęć;
- Całkowity czas lotu;

Na rysunku (rys. 6) została zaprezentowana przykładowa trasa lotu zdalnie sterowanego statku powietrznego. W trakcie czterdziestominutowego pozyskiwania danych wykonane zostały zdjęcia na wysokości 200 i 400 [m], odpowiednio 13 i 7 szeregów o pokryciu poprzecznym 60%.



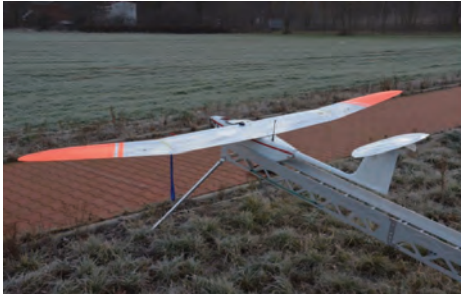
Rys. 6. Przykładowa trasa lotu realizowana z wykorzystaniem samolotu bezzałogowego, źródło: opracowanie własne

W przypadku stosowania zdalnie sterowanych statków powietrznych należy mieć na uwadze ich udźwignięcie i dość ograniczony czas pracy. W tej grupie rozpatrujemy wielowirnikowce, które w warunkach operacyjnych mogą pozyskiwać dane przez około 20-30 minut i płatowce, które najczęściej umożliwiają lot o długości 90-120 minut z prędkością 20 m/s. Przy silnie wiejącym wietrze, równoległym do szeregów fotogrametrycznych prędkość samolotu wzrasta lub się zmniejsza nawet o 50%. Skutkuje to w zależności od zwrotu kierunku lotu zwiększeniem lub zmniejszeniem pokrycia podłużnego względem zakładanej wartości. Samolot podatny jest na wszelkie podmuchy i porywy wiatru a jego autopilot nie jest w stanie zapewnić odpowiednio precyzyjnego lotu wzdłuż szeregów w przypadku niekorzystnych warunków meteorologicznych. Stosowanie samolotów załogowych eliminuje problem udźwignięcia i czasu lotu (czas lotu zostaje wydłużony do 3 h), ale wiąże się z uzyskaniem odpowiednich pozwoleń od Urzędu Lotnictwa Cywilnego (ULC) na przeprowadzenie modyfikacji (montaż kamer na zewnątrz samolotu). Ze względu na wyższą prędkość przelotową niż w przypadku samolotu bezzałogowego należy odpowiednio zwiększyć wysokość w celu zachowania odpowiedniej jakości zdjęć. Należy również pamiętać, że przygotowanie lotu z udziałem samolotu załogowego wymaga przebrnięcia przez szereg procedur. Należy złożyć plan lotu do służb kontroli ruchu lotniczego, przygotować nawigacyjny plan lotu oraz zarezerwować przestrzeń powietrzną, jeśli jest to wymagane. Na rysunku (rys. 7) został zaprezentowany samolot zdalnie sterowany i lekki samolot załogowy.

Przy zastosowaniu platformy wielosensorowej stworzonej na potrzeby projektu HESOFF, już na etapie pozyskiwania zdjęć kontrolowane są ich główne/najbardziej istotne parametry, m.in. wysokość fotografowania i kąty przechyłu, dodatkowo sprawdzana jest jakość zdjęć i ich ostrość. Po zakończonej misji fotolotniczej odbywa się pełne sprawdzenie materiału zdjęciowego,

weryfikowana jest wielkość pokrycia podłużnego i poprzecznego pomiędzy szeregami, sprawdzana jest jakość radiometryczna poszczególnych zdjęć (m.in. oświetlenie poszczególnych scen) oraz wykonywane jest wstępne mozaikowanie w celu oceny kompletności materiału.

a)



b)



Rys. 7. Potencjalne platformy nośne: a) samolot zdalnie sterowany; b) załogowy samolot Cessna 152, źródło: opracowanie własne

WSTĘPNE WYNIKI PRAC W PROJEKCIE HESOFF

Metodyka obliczania wskaźników telemetrycznych

Jako powierzchnię testową dla wypracowania metodyki obliczania wskaźników telemetrycznych przyjęto powierzchnię badawczą położoną w nadleśnictwie Krotoszyn. Przed obliczaniem wskaźnika odczytywane ze zdjęć natężenie refleksyjności światła słonecznego zostawało poddawane przekształceniu uwzględniającemu następujące parametry: transmitancję: $T_o(\lambda, \delta\lambda)$ materiału optycznego obiektywu w zadanym przedziale długości fali światła, czułość matrycy kamery: $A(\lambda, \delta\lambda)$ w tym przedziale, stopień oświetlenia terenu przez światło słoneczne w momencie wykonywania zdjęcia w kanale optycznym fali λ , czas ekspozycji dla kanałów optycznych oraz parametr *gain* (wzmocnienie) dla poszczególnych kanałów. Należy tu zauważyć, że dla wskaźników telemetrycznych takich jak NDVI, reprezentowanych przez wyrażenia czysto algebraiczne decydujący o prawidłowym przetworzeniu zdjęć do analizy obrazu był względny stosunek powyższych parametrów opisujących poszczególne kanały optyczne, a nie ich wartości bezwzględne. Zauważmy iż nie posiadając bezwzględnych wartości A dla fal 650 nm i 850 nm, a jedynie ich stosunek k w dalszym ciągu możemy prawidłowo przetworzyć zdjęcia przygotowując je do obliczania wskaźnika NDVI.

Przykładowo niech stosunek $A(850 \text{ nm}, \delta\lambda)$ do $A(650 \text{ nm}, \delta\lambda)$ wynosi k i niech $k < 1$. W trakcie przetworzenia wprowadzana zostaje zatem informacja iż konieczne jest wzmocnienie zarejestrowanego w paśmie 850 nm sygnału I_{850} ($1/k$) razy. Podstawiając nową wartość sygnału do wzoru na wskaźnik NDVI otrzymujemy:

$$NDVI = \frac{(I_{850} - k * I_{650})}{(I_{850} + k * I_{650})}$$

Jest to oczywiście tożsame z wartością wskaźnika dla zmodyfikowanych o odpowiednie wartości A dla poszczególnych kanałów. Identyczna sytuacja ma miejsce dla każdego z wymienionych tu parametrów. W efekcie pomimo, że zdjęcia były wykonywane w trakcie testów niektórych podzespołów platformy, obliczone wskaźniki (o ile wiadomy był wzajemny stosunek parametrów poszczególnych kanałów optycznych) są obliczone poprawnie. Wartości

wskaźników NDVI dla drzew objętych zabiegami oprysku nawozami fosforynowymi w odniesieniu do wartości wskaźników zmierzonych metodami tradycyjnymi przedstawia tabela:

Tab. 2. Wartości wskaźników NDVI (dla środka drzewa oraz dla całej korony drzewa) w odniesieniu do wskaźników mierzonych w Instytucie Badawczym Leśnictwa

lp.	FRT	TRL	FRL	Defoliacja [%]	Witalność	Syn	FRSA	NDVI (środek drzewa)	NDVI (dla całej korony)
3	1871	1323.03	1141.66	50	2.0	1.750	288.65	24.40%	26.76%
4	566	298.5298	206.09	45	1.5	1.425	52.51	30.00%	29.59%
9	1879	1007.58	784.74	30	2.0	1.450	214.26	56.40%	55.62%
12	3310	1620.535	1410.93	60	2.5	2.150	371.72	55.60%	57.21%
13a	5867	2441.866	2283.30	15	0.5	0.475	553.88	49.00%	47.23%
14	2345	1513.3874	1314.63	25	1.5	1.125	303.03	64.10%	63.47%
16	2522	1331.1505	1082.09	45	2.0	1.675	274.46	34.20%	37.91%
23	9446	5369.052	4710.04	30	1.0	0.950	1111.00	65.10%	64.81%
24	2739	1550.8491	1325.86	35	1.5	1.275	282.42	63.90%	63.54%
27	4484	1866.5346	1562.67	45	1.5	1.425	390.84	50.70%	50.88%
31	4024	1597.5033	1340.06	45	2.0	1.675	294.82	50.90%	60.05%
32	7669	3675.368	3448.19	40	2.0	1.600	704.83	47.40%	46.85%
34	3743	2137.49	1838.67	30	1.5	1.200	423.36	52.20%	52.15%
36	4332	2229.4	1899.79	60	3.0	2.400	443.02	49.60%	49.39%
40	4392	2662.6107	2392.84	65	2.5	2.225	536.03	60.40%	59.07%
43	8053	3038.919	2740.88	40	2.5	1.850	611.46	64.40%	63.90%
45	4722	2702.6747	2291.82	45	2.0	1.675	485.96	49.00%	48.57%
48	4960	1993.639	1728.63	15	0.5	0.475	412.02	66.80%	66.49%
52	5479	2148.907	1882.44	55	2.5	2.075	412.03	58.50%	59.43%
53	4862	3000.2547	2595.79	50	2.0	1.750	570.07	56.10%	56.71%
56	1608	1032.9063	856.47	30	1.0	0.950	200.13	67.90%	67.48%
57	5553	2468.431	2144.10	35	1.0	1.025	520.82	65.60%	65.78%
	38.43%	35.11%	34.33%	-29.05%	-22.84%	-27.26%	34.71%	Korelacja z NDVI	
	36.87%	32.22%	31.10%	-24.16%	-19.37%	-23.49%	31.47%	Korelacja z NDVI R3	

Objaśnienia: FRT – Ilość zakończeń korzeni drobnych, TRL – Całkowita długość korzeni, FRL – Długość korzeni drobnych, FRSA – Powierzchnia korzeni drobnych.

Zgodnie z oczekiwaniami nastąpiły pozytywne korelacje wskaźnika NDVI (w obu obliczanych wersjach) z ilością zakończeń korzeni drobnych, całkowitą długością korzeni, długością korzeni drobnych i powierzchnią korzeni drobnych. Korelacje te zawierające się w przedziale 34%-39% są prawdopodobnie rezultatem wpływu stanu korzeni poszczególnych drzew, w szczególności korzeni drobnych, na transport do liści korony drzewa wody. Należy tu zwrócić uwagę, że sam wskaźnik NDVI jest wrażliwy na obecność w strukturze biomasy nie tylko chlorofilu, lecz również wody. Analiza wskazuje na negatywną korelację wskaźnika NDVI z defoliacją i witalnością drzewa. Również korelacja z będącą kombinacją defoliacji i witalności wskaźnikiem Syntetycznych uszkodzeń drzewostanów (SYN) jest negatywna. Jest to wynik zgodny z przewidywaniem, choć korelacja ta jest słabsza niż w przypadku korelacji ze wskaźnikami dotyczącymi korzeni. Niższą wartość korelacji należy tu tłumaczyć większym błędem w ocenie witalności i defoliacji (ocena wykonywana jest metodą oceny wzrokowej leśnika).

Koncepcja Systemu Informacji Przestrzennej

Bardzo ważnym zadaniem w programach finansowanych ze środków Unii Europejskiej jest rozpowszechnianie wyników badań. W celu zapewnienia możliwie pełnego dostępu do rezultatów prac prowadzonych w projekcie HESOFF, został utworzony dedykowany System Informacji Przestrzennej. Użytkownicy indywidualni i instytucjonalni mają dostęp do bazy danych geograficznych wykorzystywanych do oceny stanu drzew na obszarze badanym. Na specjalnym serwerze przechowywane są dane rastrowe, wektorowe i wysokościowe:

Warstwy rastrowe

a) Podkład referencyjny stanowi ortofotomapa o rozdzielczości. GSD=25 cm, została ona wykonana zgodnie z wytycznymi technicznymi dotyczącymi sporządzania materiałów karto-

graficznych, charakteryzują się więc możliwie wysoką dokładnością geometryczną. Źródłowe warstwy rastrowe zostały pozyskane z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, jest to siedem arkuszy ortofotomapy: 1 dla obszaru Piaski, 4 dla obszaru Krotoszyn i 2 dla obszaru Leszno, nadleśnictwo Karczma Borowa, zdjęcia zostały wykonane w wersji RGB oraz CIR.

b) Na serwerze znajdują się również mozaiki zdjęć pozyskanych z misji lotniczych wykonywanych regularnie nad powierzchniami badawczymi. Mozaiki zostały wykonane z wykorzystaniem darmowego oprogramowania, georeferencja została przeprowadzona w oparciu o warstwę referencyjną (ortofotomapa z CODGiK) z wykorzystaniem narzędzia Georeferencer będącego składnikiem oprogramowania QuantumGIS.

c) Trzecią grupę warstw rastrowych stanowią warstwy NDVI wykonane na podstawie mozaik zdjęć wykonanych w zakresie czerwonym i bliskiej podczerwieni. Przy pomocy dostępnych narzędzi dokonano ich dopasowania, a następnie wykonano odpowiednie obliczenia. Zostały wytworzone warstwy NDVI dla wysokości 200 i 400 [m].

Warstwy wektorowe

a) Warstwy wektorowe zostały pozyskane przez pracowników Instytutu Badawczego Leśnictwa (IBL) od poszczególnych nadleśnictw, są to zasięgi kompleksów leśnych, a także warstwa punktowa z poszczególnymi drzewami (współrzędne pomierzone turystycznym odbiornikiem GPS). Ze względu na ograniczoną dokładność pomiarów GPS na obszarach leśnych warstwa ta została wyłączona z serwera i zastąpiona warstwą wytworzoną na podstawie terenowego uczytelnienia zdjęć lotniczych.

b) Trzy warstwy punktowe ze współrzędnymi drzew dla obszaru: Piaski, Krotoszyn i Leszno wytworzone na podstawie pomiarów terenowych i interpretacji zdjęć lotniczych stanowią najlepszy materiał do prowadzenia badań ilościowych i jakościowych. Każde drzewo jest reprezentowane przez punkt, dodatkowo posiada warstwę atrybutów, w której wpisane są parametry takie jak: NDVI, FRT, TRL, FRL, FRSA i Syn. Tabela atrybutów z niektórymi wskaźnikami została przedstawiona na poniższym rysunku.

	id	Typ	Wsp_X	Wsp_Y	NDVI_10_13	NDVI_04_14	NDVI_12_13	FRT_10_13	TRL_10_13	FRL_10_13	FRSA_10_13	Syn_10_13
33	56	Z	17.564155	51.706715	67.900000	NULL	NULL	1608	1032.9063	856.4665	200.1279	1.75
36	48	Z	17.564379	51.705948	66.800000	NULL	NULL	4960	1993.639	1728.6318	412.019	0.475
32	57	Z	17.564292	51.706812	65.600000	NULL	NULL	5553	2488.431	2144.1001	520.82	0.95
47	23	Z	17.564953	51.702357	65.100000	NULL	NULL	9446	5368.052	4710.044	1110.9977	1.675
37	49	Z	17.564595	51.705385	64.400000	NULL	NULL	8053	3038.919	2740.8811	611.4581	1.85
49	14	Z	17.565068	51.701581	64.100000	NULL	NULL	2345	1513.3874	1314.626	303.6343	1.125
46	24	Z	17.565019	51.702224	63.900000	NULL	NULL	2739	1550.8491	1325.8644	282.8197	1.275
40	40	Z	17.564603	51.705143	60.400000	NULL	NULL	4392	2662.6107	2392.8395	536.0322	2.225
35	52	Z	17.564247	51.706258	58.500000	NULL	NULL	5479	2148.907	1862.4441	412.0254	1.125
53	9	Z	17.564812	51.701063	56.400000	NULL	NULL	1879	1007.58	784.74	214.26	1.45
34	53	Z	17.564274	51.706361	56.100000	NULL	NULL	4862	3000.2547	2595.7909	570.0688	2.075
52	12	Z	17.564941	51.701456	55.600000	NULL	NULL	3310	1620.535	1410.9333	371.7205	2.15
42	34	Z	17.564661	51.704629	52.200000	NULL	NULL	3743	2137.49	1838.67	423.36	1.2
44	31	Z	17.564684	51.704258	50.900000	NULL	NULL	4024	1597.5033	1340.0635	294.8219	1.675
45	27	Z	17.564712	51.703795	50.700000	NULL	NULL	4484	1866.5346	1582.6671	390.8437	1.425
41	36	Z	17.564655	51.704704	49.600000	NULL	NULL	4332	2229.4	1899.79	443.02	2.4
38	45	Z	17.564571	51.705555	49.000000	NULL	NULL	4722	2702.6747	2291.8223	485.9603	1.675
50	13000	Z	17.564927	51.701573	49.000000	NULL	NULL	5867	2441.866	2283.304	553.8782	0.475
43	32	Z	17.564655	51.704397	47.400000	NULL	NULL	7669	3675.368	3448.1934	704.8331	1.6
48	16	Z	17.563031	51.701866	34.200000	NULL	NULL	2522	1331.1505	1082.0866	274.4556	1.675
54	4	Z	17.565165	51.700406	30.000000	NULL	NULL	566	286.5288	206.0856	52.5057	1.425
45	3	Z	17.565000	51.700419	24.400000	NULL	NULL	1871	1323.03	1141.66	288.65	1.75

Rys. 8. Tabela atrybutów warstwy punktowej (obszar Krotoszyn), źródło: opracowanie własne

Warstwy wysokościowe

a) Dla obszaru płyty Krotoszyńskiej pobrany został model terenu SRTM o rozdzielczości przestrzennej około 90 metrów, dokładność wysokościowa wynosi +/-15 metrów, model ten zostanie wykorzystany do obliczenia zasięgu terenowego poszczególnych zdjęć.

Serwer GIS został zbudowany w oparciu o oprogramowanie typu Open Source, dostęp do danych może być realizowany z wykorzystaniem darmowego oprogramowania QuantumGIS. Istotny jest fakt, że wszystkie prace związane z tworzeniem serwera GIS były w całości prowadzone przez zespół badawczy Pracowni Przetwarzania Danych.

PODSUMOWANIE

Techniki wielospektralne są coraz powszechniej stosowane przez analityków związanych z wieloma branżami. System wielosensorowy zbudowany w Pracowni Przetwarzania Danych umożliwia akwizycje danych w wąskich zakresach spektralnych, platforma jest konfigurowalna, istnieje więc możliwość stosowania dowolnych filtrów z zakresu czułości matrycy. W ramach projektu HESOFF pozyskiwane są obrazy m.in. w zakresie: czerwonym, zielonym, niebieskim i bliskiej podczerwieni. Na podstawie tych danych obliczane są wskaźniki roślinności, które następnie korelowane są z obserwacjami naziemnymi. Wstępne wyniki prac prowadzonych w Pracowni Przetwarzania Danych wskazują na istotne zależności pomiędzy obserwacjami naziemnymi i wynikami uzyskanymi na podstawie przetworzenia zdjęć wielospektralnych. Przyszłe prace przewidują obliczenie dodatkowych wskaźników teledetekcyjnych i sprawdzenie ich przydatności w pośredniej ocenie stanu roślinności. Kompletny proces pozyskiwania i przetwarzania zdjęć w projekcie HESOFF, obejmuje tworzenie koncepcji platformy wielosensorowej i budowę kompletnego systemu wielosensorowego, realizację nalotów oraz wypracowanie algorytmów do analizy obrazów. Kończącym etapem działań jest tworzenie Systemu Informacji Przestrzennej. W ramach ostatniego z wymienionych działań, istotnym problemem okazał się brak odpowiednio dokładnego geometrycznie podkładu mapowego obejmującego obszar opracowania, ostatecznie zakupiono więc profesjonalną ortofotomapę cyfrową, wygenerowaną na podstawie zdjęć z metrycznej kamery fotogrametrycznej (RGB). Dalsze prace badawczo-rozwojowe w zakresie teledetekcji na obszarach leśnych mają doprowadzić do zminimalizowania konieczności prowadzenia kosztownych prac badawczych i wytworzenia skutecznej metody zdalnej ewaluacji drzewostanów z wykorzystaniem stworzonej platformy wielosensorowej. Obecny postęp prac związanych z analizą zdjęć wielospektralnych bardzo dobrze rokuje na przyszłość, platforma wielosensorowa jest w pełni operacyjna i umożliwia pozyskanie zdjęć o dobrej jakości geometrycznej i radiometrycznej, istnieje możliwość przystosowania systemu akwizycji do zastosowania w innych branżach niż leśnictwo.

LITERATURA

- [1] Osińska-Skotak, K. (2007). Znaczenie korekcji radiometrycznej w procesie przetwarzania zdjęć satelitarnych, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 17b, 577–590.
- [2] Ciołkosz, A., Miszański, J., Olędzki, J. R. (1986). Interpretacja zdjęć lotniczych. Wyd. 2, PWN, Warszawa.
- [3] Bernasik, J. (2003). Książka Elementy fotogrametrii i teledetekcji, *AGH - Akademia Górniczo-Hutnicza. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne*.
- [4] Brasier, C. M. (1999). Phytophthora pathogens of trees: their rising profile in Europe. Forestry Commission Information Note 30. HMSO, London. 6.
- [5] Fenn, M. E., Coffey, M. D. (1985). Further evidence for the direct mode of action of fosetyl-Al and phosphorous acid. *Phytopathology* 75: 1064-1068.
- [6] Goheen, E. M., Hansen, E. M., Kanaskie, A., McWilliams, M.G., Osterbauer, N., Sutton, W. (2002). Sudden Oak Death caused by *Phytophthora ramorum* in Oregon. *Plant disease*, 86 (4): 441.

- [7] Jung, T., Blaschke, H., Oßwald, W. (2000). Involvement of soilborne Phytophthora species in Central European oak decline and the effect of site factors on the disease. *Plant Pathology* 49: 706-718.
- [8] Erwin, D. C., Ribeiro, O. K. (1996). *Phytophthora diseases worldwide*. APS Press, Am. Phytopathol. Soc., St. Paul.
- [9] Zawila-Niedźwiecki, T. Teledetekcja i fotogrametria obszarów leśnych, *IBL – Instytut Badawczy Leśnictwa*.
- [10] Będkowski, K. (2014). Podstawy fotogrametrii i teledetekcji dla leśników, *SGGW*.
- [11] Kurczyński, Z. (2014). *Fotogrametria*, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [12] Duvenhorst, J. (1995). Photogrammetry in Forestry – Tool for Effective Inventory and Planning, *Photogrammetric Week '95*, 337-347.
- [13] Korpela, I., Tuomola, T., Välimäki, E. (2007). Mapping forest plots: an efficient method combining photogrammetry and field triangulation. *Silva Fennica* 41(3): 457-469.
- [14] Osińska-Skotak, K., Fijałkowska, A., Chudzyńska, Z. (2004). Wpływ korekcji geometrycznej na wyniki klasyfikacji zdjęć wielospektralnych, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 14.
- [15] Grenzdörffer, G. J., Engel, A., Teichert, B. (2008). The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1*.
- [16] Ali, S. S., Dare, P., Jones, S. D. (2008). Fusion of remotely sensed multispectral imagery and lidar data for forest structure assessment at the tree level, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7*.
- [17] Honkavaara, E., Markelin, L., Rosnell, T., Nurminen, K. (2011). Influence of solar elevation in radiometric and geometric performance of multispectral photogrammetry, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 67 (2012) 13-26.
- [18] Bieńkowski, Z. (1988). *Poradnik ultrakrótkofalowca*, Wydaw. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- [19] Praca zbiorowa. (2003). *ARRL Antenna Book – 20th Edition*, ARRL.

PAWEŁ CZAPSKI*, MARIUSZ KACPRZAK*, TOMASZ KORNILUK*, JAN KOTLARZ*, KATARZYNA KUBIAK**, ANNA MAZUR*, KAROL MROWIEC*, TOMASZ OSZAKO**, JANUSZ PIENIAŻEK*, AGNIESZKA POŚPIESZCZYK*, MIŁOSZ TKACZYK**, KONRAD WODZIŃSKI*, NATALIA ZALEWSKA*

DESIGN AND APPLICATION OF MULTISENSORY PLATFORM FOR THE STUDIES OF SELECTED ENVIRONMENT CHARACTERISTICS

Abstract

This paper is an overview of remote sensing methods including mission planning, flights over investigated area, quality evaluation of gathered images, and computing remote sensing indicators of investigated vegetation. In this paper description of the multisensory platform designed for the HESOFF project and preliminary project results is given. Potential applications of developed multisensory technology as well as remote sensing methodology of selected environment characteristics is also presented. We have also presented preliminary design of Geographic Information System for three investigated forest complexes.

Keywords: GIS, multispectral camera, photogrammetry flight, vegetation index, NDVI, state of health of trees, plant biomass.