

Wpłynęło 12.04.2013 r.  
Zrecenzowano 21.05.2013 r.  
Zaakceptowano 13.07.2013 r.

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

## **Możliwości wykorzystania teledetekcji bliskiego zasięgu do tworzenia map upraw na potrzeby rolnictwa precyzyjnego**

**Damian ŚLIWIŃSKI<sup>AEF</sup>, Maria ŚMIETANKA<sup>AE</sup>,  
Aleksander SZEPTYCKI<sup>AE</sup>**

*Institut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Warszawie*

### **Streszczenie**

Rolnictwo precyzyjne jest intensywnie rozwijającym się systemem upraw w Polsce i na świecie. Dzieje się tak dlatego, że w porównaniu z tradycyjnym pozwala ono na osiąganie różnorodnych korzyści: ograniczenie kosztów produkcji, poprawę jakości i wielkości plonów oraz zmniejszenie szkodliwego oddziaływania rolnictwa na środowisko. W niniejszej pracy podjęto próbę rozwoju narzędzi rolnictwa precyzyjnego, mających za zadanie rozpoznawanie potrzeb i stanu upraw. Wykorzystana zostanie do tego celu teledetekcyjna metoda badań. Na podstawie zdjęć lotniczych wykonanych w zakresie światła widzialnego i bliskiej podczerwieni określany będzie stan roślin. Obecny poziom rozwoju techniki uniemożliwia jednak zdalne, szczegółowe rozpoznawanie, jakie czynniki są odpowiedzialne za ograniczenie rozwoju roślin i za ich zniszczenia. Dlatego wykonywane będą uzupełniające badania naziemne umożliwiające określenie potrzeb nawozowych roślin lub ewentualnie rozpoznawanie rodzaju choroby czy szkodnika występującego w uprawie. Do wykonywania zdjęć pól uprawnych opracowano i wykonano platformę wyposażoną w aparat fotograficzny. Ma ona niewielkie rozmiary i masę, co umożliwia jej przeniesienie na paralotni lub innym, małym statku powietrznym. Wyposażona jest w GPS umożliwiający rejestrację miejsca wykonania zdjęć oraz aparat fotograficzny, zamocowany w niej za pomocą dwóch wahliwych ramek, służących do ustawiania jego osi optycznej w pionie, dzięki silnikom krokowym podłączonym do ramek. Pion natomiast wyznaczany jest za pomocą czujnika AHRS (ang. „attitude and heading reference system”).

**Słowa kluczowe:** teledetekcja, rolnictwo precyzyjne, ochrona roślin



## Wstęp

Rolnictwo precyzyjne jest systemem upraw umożliwiającym uzyskanie surowców, które można zaliczyć do bezpiecznej żywności [WÓJCICKI 2007]. System ten jest kompromisem między klasyczną formą uprawy, a rolnictwem ekologicznym. Zawiera on wiele zalet obu systemów upraw i eliminuje ich wady. Jego rozwój zarówno na świecie, jak i w Polsce, przebiega bardzo dynamicznie [CICHOCKI 2007].

W rolnictwie tradycyjnym wielkość dawki stosowanego nawozu jest ustalana dla całego pola. Na dużych polach może wystąpić istotne zróżnicowanie pod względem potrzeb nawozowych. W takim przypadku część roślin jest niedożywiona i nie da maksymalnego możliwego w danych warunkach plonu, inne rośliny nie będą w stanie wykorzystać dostarczonego im nawozu i jego nadmiar będzie przenikał z pola do zbiorników wodnych. W rolnictwie precyzyjnym roślinom o lepszych możliwościach wzrostu dostarcza się więcej nawozu, przez co dają one większy plon. W obszarach pól o ograniczonych warunkach rozwoju roślin, np. z powodu zbyt małej wilgotności gleby na wzniesieniach, dawka stosowanego nawozu jest zmniejszana. Dostarczony tam w nadmiarze nawóz nie rekompensowałby braku wody i nie zwiększyłby plonu, a jego bezproduktywne zużycie zwiększałoby tylko koszty.

Podobnie jest z innymi zabiegami przeprowadzanymi na polach. Jeśli do oprysków wykonywanych w celu zwalczania chorób czy szkodników zastosowana będzie zbyt mała dawka substancji czynnej tracona jest część plonu, a to, co uda się zebrać, jest gorszej jakości. Zbyt duże nasilenie tych zabiegów może również pogorszyć jakość plonu, ale przede wszystkim niepotrzebnie zwiększają się koszty poniesione na środki chemiczne. W rolnictwie precyzyjnym stosuje się rozpoznanie, które obszary pola są objęte chorobą lub atakiem szkodników. Następnie odpowiednie zabiegi prowadzone są tylko w miejscach zagrożonych. Może to zmniejszyć powierzchnię, na jakiej należy wykonać opryski, a przez to ilość pracy potrzebną do wykonania tego zabiegu i ilość zużytych materiałów.

Niekorzystnym skutkiem niedostosowania dawek nawozów i środków ochrony roślin do danego fragmentu pola w tradycyjnym rolnictwie jest zwiększanie ilości substancji zanieczyszczających i szkodliwych uwalnianych do środowiska. Są to tzw. koszty zewnętrzne, bardzo trudne do obliczenia i często nieobciążające konkretnego rolnika, ale rozłożone na społeczeństwo przez pogorszenie jakości wody pitnej, użytkowej czy wód powierzchniowych wykorzystywanych do celów rekreacyjnych. Rolnictwo precyzyjne dąży do optymalizacji wykorzystania nawozów i do minimalizacji ilości środków ochrony roślin.

Mimo tak wielu zalet, zwłaszcza w ochronie roślin [DORUCHOWSKI 2005], rolnictwo precyzyjne ciągle jest mało rozpowszechnione w Polsce. Główną przyczyną takiego stanu są koszty inwestycyjne. W każdym gospodarstwie taki system uprawy zmniejsza koszty zabiegów agrotechnicznych, jednak kwota oszczędności w małych gospodarstwach może być mniejsza od ceny zakupu urządzeń i pracy potrzebnej do szkolenia się. Dodatkowymi barierami jest rozdrobnienie

rolnictwa, brak specjalizacji i mały rozwój współpracy między gospodarstwami [DRESZER 2005]. Różne są oceny wielkości gospodarstw, przy których opłacalne jest rolnictwo precyzyjne. MUZALEWSKI [2008] uważa, że systemy satelitarne sterowania maszynami rolniczymi mogą być racjonalnie wykorzystane w gospodarstwach o minimum 100 ha powierzchni. WÓJCICKI [2007] przypuszcza, że korzystając z wzajemnych usług system rolnictwa precyzyjnego mogą stosować już rozwojowe gospodarstwa rodzinne o powierzchni 30–40 ha. W opisanej pracy podjęto próbę dostarczenia potencjalnym użytkownikom jeszcze jednego narzędzia do optymalizacji zabiegów, a dokładniej do precyzyjnego wyznaczenia ich intensywności oraz obszaru, na jakim należy je wykonać.

Producenci maszyn rolniczych oferują sprzęt do precyzyjnej aplikacji nawozów i środków ochrony roślin. Aby różnicowanie dawek miało sens ekonomiczny i środowiskowy potrzebne są mapy zapotrzebowania na dane środki chemiczne. Mapy takie można wykonać na podstawie map plonów i map glebowych, lecz ciągle brakuje aktualnej informacji o stanie rozwoju i zdrowotności roślin.

Poniżej opisano, będący w trakcie realizacji, interesujący, zdaniem Autorów, pomysł szybkiego wykonywania map stanu roślin podczas wegetacji.

### **Założenia badawcze**

W Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym podjęto próbę wykorzystania metod teledetekcji do szacowania stanu upraw na podstawie analizy obrazu danego obszaru w połączeniu z badaniami terenowymi. W tym celu wykorzystane będą zdjęcia lotnicze. Wykonywane one będą w podczerwieni i świetle widzialnym. Odbicie promieni podczerwonych od powierzchni roślin zmienia się bardzo szybko pod wpływem czynników stresowych, dlatego użycie fal o takiej długości pozwala wcześniej niż z wykorzystaniem światła widzialnego stwierdzić osłabienie roślin.

Jako platformę, na której umieszczona będzie aparatura do wykonywania zdjęć wybrano paralotnię z napędem plecakowym. Jest to kompromis między drogimi nalotami z wykorzystaniem samolotów z kamerami fotogrametrycznymi a ograniczeniami oferowanych nalotów z wykorzystaniem bezzałogowych statków latających, tzw. dronów [Robokopter 2012]. Pierwsza możliwość jest dla rolnictwa precyzyjnego zbyt droga i wymaga wykonywania nalotów z dużych wysokości w warunkach bezchmurnej pogody. Z kolei bezzałogowe statki powietrzne mogą latać jedynie na małych wysokościach i zgodnie z prawem, tylko w zasięgu wzroku operatora, co ogranicza ich zastosowanie. Paralotnia z napędem plecakowym jest statkiem powietrznym mogącym poruszać się tak, jak samoloty osobowe, tj. w całej przestrzeni powietrznej niekontrolowanej, a ponieważ ma zasięg kilkudziesięciu kilometrów może wykonywać kilkugodzinne loty. Do startu i lądowania wystarczy płaska powierzchnia trawiasta, z możliwością rozbiegu ok. 30 m.

W rozpoznawaniu stanu roślin istotne są specyficzne parametry wykonywanych zdjęć. Ze względu na szybkość rozwoju różnego rodzaju chorób czy gradacji szkodników czas wykrycia postępujących zniszczeń ma bardzo duży wpływ na

ograniczanie związanych z tym strat, dlatego opracowywana metoda musi umożliwiać dużą częstotliwość wykonywania zdjęć i krótki czas ich realizacji. W przypadku identyfikacji sygnałów wskazujących na zagrożenie uprawy konieczne jest podjęcie działań interwencyjnych, ograniczających potencjalne straty, najczęściej różnego rodzaju oprysków. Czas między identyfikacją takich sygnałów, a zabiegiem ochronnym powinien być jak najkrótszy i obejmować: zaprojektowanie nalotu, wykonanie zdjęć i ich geometryzację, interpretację informacji obrazowej i wykonanie map aplikacyjnych. Dodatkowo, żeby realne było uzyskanie opłacalności finansowej takich działań, zwłaszcza w dość rozdrobnionych gospodarstwach polskich, potrzebny jest po pierwsze stosunkowo niski koszt w odniesieniu do jednostki powierzchni, po drugie możliwość osiągnięcia tego niewielkiego kosztu również w warunkach małych obszarów upraw. Dokładność przestrzenna wykonywanego opracowania nie powinna przekraczać zdolności różnicowania dawek oprysków, bo byłaby to niewykorzystana informacja, która jedynie podnosiłaby koszt całej operacji.

Planując badania, przyjęto za cel opracowanie mapy, na której minimalna odległość między punktami o różnej zalecanej dawce będzie wynosiła 1,0 m. Na potrzeby projektu skonstruowano urządzenie do wykonywania zdjęć z powietrza. Ma ono niewielkie rozmiary i masę, dzięki czemu może być przenoszone przez małe statki powietrzne.

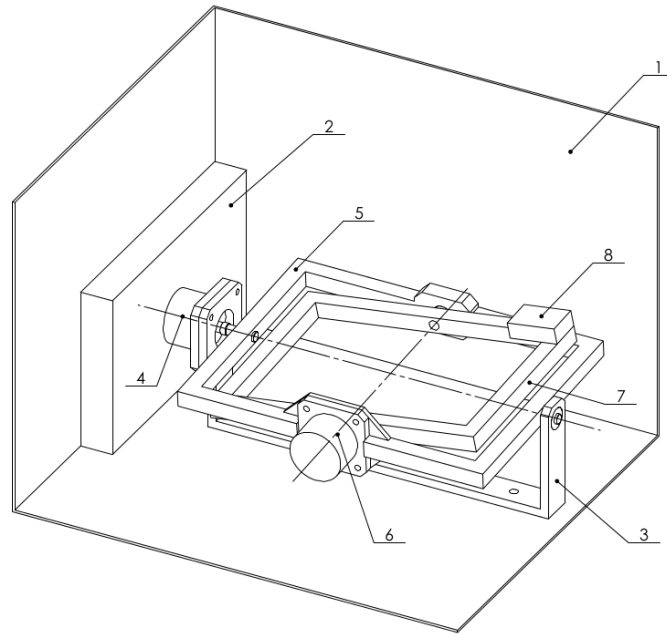
W opracowaniu procedury wykonywania zdjęć wzorowano się na nalotach fotogrametrycznych. Wykonywane są one przez samoloty projektowane specjalnie do tego celu w taki sposób, aby ich lot był bardzo stabilny, tzn. żeby przechyły w czasie lotu były jak najmniejsze i żeby było możliwe uzyskanie dużej dokładności w utrzymywaniu samolotu na zaplanowanej trasie.

Pierwszym etapem planowanej procedury jest zaprojektowanie trasy lotu oraz punktów wykonania zdjęć. Trasę taką należy utworzyć w oprogramowaniu do systemów informacji geograficznej GIS i zapisać w urządzeniu. Na tej podstawie będzie ono informować pilota o pożądanym kierunku lotu do punktu początkowego zaplanowanej trasy, następnie prowadzić pilota zgodnie z zaplanowaną trasą i informować o zakończeniu nalotu. W trakcie lotu nad miejscem, w którym zaplanowane jest wykonanie zdjęcia, urządzenie ustawi aparat tak, żeby jego oś optyczna była odchylona od pionu nie więcej niż  $3^\circ$ , automatycznie wykona zdjęcie i zapisze współrzędne geograficzne aparatu oraz jego orientację w momencie wykonania zdjęcia. W przypadku braku możliwości spełnienia podanych warunków, z powodu np. zbyt dużego odejścia od planowanego kursu czy odchylenia urządzenia od pionu poza zakres regulacji, pilot zostanie skierowany na pętlę umożliwiającą ponowną próbę wykonania zdjęcia. Dopuszczalna odległość od zaplanowanych miejsc wykonywania zdjęć będzie jednym z parametrów planu trasy.

### **Budowa urządzenia**

W skonstruowanym urządzeniu użyto cyfrową lustrzaną małoobrazkową z matrycą o rozdzielczości 18 mln pikseli, z wymiennym obiektywem. Rozmiary i pa-

rametry urządzenia pozwalają na zamocowanie obiektywu zbliżonego właściwościami fizycznymi do stałogniskowego o ogniskowej 50 mm. Aparat będzie robił zdjęcia w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni do ok. 1100 nm. Jest to zakres czułości standardowej matrycy CCD, który jednak w aparatach do robienia fotografii w świetle widzialnym jest ograniczany filtrem podczerwieni. W celu rozszerzenia zakresu również na podczerwień filtr zostanie usunięty z aparatu wykorzystanego w projekcie. Przeprowadzone zostaną badania czułości tego aparatu na podstawie porównania z pomiarami spektrometrem hiperspektralnym. Budowę urządzenia przedstawiono na rysunku 1.



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 1. Urządzenie do wykonywania zdjęć lotniczych: 1 – obudowa, 2 – aparatura sterująca, 3 – wspornik ramek, 4 – silnik krokowy obracający ramką zewnętrzną, 5 – ramka zewnętrzna, 6 – silnik krokowy obracający ramką wewnętrzną, 7 – ramka wewnętrzna, 8 – czujnik AHRS

Fig. 1. Device for aerial images capturing: 1 – cover, 2 – control devices, 3 – frames support, 4 – stepper motor rotating the outer frame, 5 – outer frame, 6 – stepper motor rotating the internal frame, 7 – internal frame, 8 – AHRS sensor

Do pomiaru położenia i orientacji aparatury wykorzystany zostanie GPS działający w trybie RT-20. W celu uzyskania dokładności rzędu kilkudziesięciu centymetrów uwzględniana będzie poprawka różnicowa, wyznaczana przez stację bazową działającą w stacjonarnym trybie L1. Uznano, że jest to konieczne do uzyskania pożądanej ostatecznej dokładności mapy. Ze względu na wykonywanie zdjęć w czasie lotu z prędkością ok.  $35 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  i występowanie opóźnień związanych z ustawieniem do pionu osi aparatu i samego wykonania zdjęcia,

zmierzona pozycja będzie obarczona dodatkowym błędem. Kolejne odchylenia od rzeczywistych wartości będą następować podczas geometryzacji zdjęć. Sumaryczny błąd będzie oceniony na podstawie próbnych nalotów. W przypadku potrzeby jego zmniejszenia, do procesu geometryzacji potrzebne będzie wykorzystanie sfotografowanych punktów referencyjnych o precyzyjnie zmierzonych współrzędnych geograficznych.

Prototyp opisanej aparatury jest gotowy do testów. Konstrukcja została zgłoszona do ochrony patentowej. Paralotnię z zamocowaną aparaturą przedstawia zdjęcie 1.



Źródło: fot. M. Konieczny. Source: photo M. Konieczny.

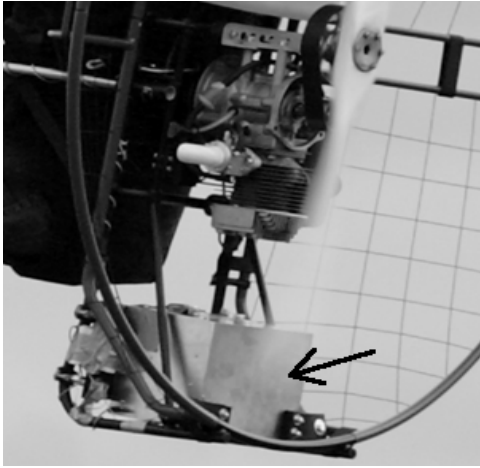
*Fot. 1. Paralotnia z pilotem, napędem plecakowym i zamocowanym do niego urządzeniem do wykonywania zdjęć*

*Photo 1. Paraglider with pilot, drive in a backpack and the device for image capturing*

Urządzenie zamocowane jest w dolnej części napędu plecakowego, co jest widoczne na zdjęciu 2.

Celem początkowej fazy testów jest połączenie urządzenia do napędu paralotniowego z zapewnieniem odpowiedniej amortyzacji tak, aby drgania z silnika nie przenosiły się na aparaturę. Wyeliminowanie ich jest konieczne, żeby aparat wykonywał zdjęcia o odpowiedniej ostrości.

Kolejnym zadaniem będzie optymalizacja komunikacji pilota z urządzeniem. Na podstawie próbnych lotów wybrane będą informacje, jakie należy przesyłać do pilota, aby był on w stanie utrzymać tor lotu zbliżony do zaplanowanego. Ze względu na mogące występować utrudnienia w postaci turbulencji czy silnego światła słonecznego istotny też będzie sposób prezentacji tych informacji oraz taki dobór symboli, aby były one łatwe do odczytu w krótkim czasie i w trudnych warunkach.



*Fot. 2. Urządzenie do robienia zdjęć lotniczych zamocowane do napędu plecakowego paralotni*

*Photo 2. Attaching of the device for picture capturing to a backpack drive of a paraglider*

Źródło: fot. M. Konieczny. Source: photo M. Konieczny.

Po wykonaniu zdjęć niezbędne będzie zrobienie z nich ortofotomapy, czyli wyznaczenie ich współrzędnych geograficznych. Wykorzystane do tego będą informacje o położeniu kamery w chwili wykonania zdjęcia i widoczne na nim elementy terenu o znanych lub możliwych do zmierzenia współrzędnych geograficznych. W zależności od wyników uzyskanych w testach, wyznaczone będą wymagane parametry lotu do uzyskania pożądanej jakości zdjęć. Parametrem możliwym do zmiany i mającym główny wpływ na dokładność zdjęć jest wysokość lotu. Jego obniżenie zwiększa dokładność wykonanych zdjęć, ale wiąże się ze zwiększeniem liczby zdjęć wymaganych do pokrycia określonego obszaru, a przez to z nakładami czasu i pracy potrzebnymi na opracowanie tych danych.

Dodatkowe przesłanki do zmiany wysokości lotu to techniczne możliwości lotu paralotni z napędem. Z jednej strony bezpieczeństwo lotu na małych wysokościach jest mniejsze niż na dużych, z drugiej strony prędkość wznoszenia ok.  $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  powoduje, że na uzyskanie wysokości 1,0 km potrzeba ok. 15 min. Zmniejsza to zasięg lotu i może powodować dodatkowe trudności związane z obniżoną temperaturą i większą prędkością wiatru.

Po uzyskaniu ostatecznych zdjęć o odpowiedniej dokładności podjęte zostaną badania w celu ustalenia, jakie informacje o uprawach można na ich podstawie uzyskać oraz zostanie opracowane oprogramowanie do tworzenia komputerowych map, służących do wykonywania interwencyjnych zabiegów agrotechnicznych.

Obecnie trwają prace nad komunikacją pilota z urządzeniem i nawigacją przez kolejne punkty zaplanowanego nalogu.

## **Bibliografia**

CICHOCKI T. 2007. GPS w rolnictwie – Refleksje o przyszłości rolnictwa precyzyjnego [online]. Pierwszy Portal Rolniczy. [Dostęp: 04.12.2012]. Dostępny w Internecie: <http://www.ppr.pl/artukul-gps-w-rolnictwie-135653.php>

- DORUCHOWSKI G. 2005. Elementy rolnictwa precyzyjnego w ochronie środowiska. Inżynieria Rolnicza. Nr 6 s. 131–139.
- DRESZER K.A. 2005. Globalny system pozycjonowania i możliwości wprowadzenia go w polskim rolnictwie. Inżynieria Rolnicza. Nr 10 s. 57–63.
- MUZALEWSKI A. 2008. Zasady doboru maszyn rolniczych. Wyd. 2. Warszawa. IBMER. ISBN 978-83-89806-21-05 ss. 60.
- Robokopter 2012. Strona internetowa [online]. Warszawa. [Dostęp 15.11.2012]. Dostępny w Internecie: <http://www.robokopter.pl/pl/oferta/wynajem-urządzeń.html>
- WÓJCICKI Z. 2007. Rozwój rolnictwa zrównoważonego i precyzyjnego. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 15 s. 5–12.

*Damian Śliwiński, Maria Śmietanka, Aleksander Szeptycki*

## **THE POSSIBILITY OF USING SHORT RANGE REMOTE SENSING FOR CROP MAPPING IN PRECISION FARMING**

### **Summary**

Precision agriculture is an intensively developing farming system, either in Poland and over the world. In comparison to traditional agriculture, it enables to achieve a variety of benefits: reducing costs, improving the quality and increasing yields, reducing the harmful influence of agriculture on the environment. This paper presents an attempt to developing a tool for precision farming, designed to identify the needs of particular crops and potential risk of yield reduction. The method used in this research was the remote sensing. The state of plants will be estimated on the basis of aerial photographs taken in visible light and in near-infrared. However, at the current state of knowledge, it is not possible to get a detailed diagnosis of factors responsible for inhibition of plant growth and for their destruction. Therefore, additional field studies will be carried out to determine fertilization needs of plants or to diagnose specific diseases or pests present in the field. To capture images a platform equipped with a camera was designed and constructed. It has a small size and weight, what allows to be carried on by a paraglider or other small aircraft. It is equipped with GPS to record location of shots. Moreover, the camera is mounted on the tilting frame, so it is possible to adjust the optical axis vertically. This accomplished by step motors connected to the frame, and AHRS (Attitude and Heading Reference System) sensor.

**Key words:** remote sensing, precision agriculture, plant protection

Adres do korespondencji:

mgr Damian Śliwiński  
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy  
Mazowiecki Ośrodek Badawczy w Kłudzienku  
05-825 Grodzisk Mazowiecki  
tel. 22 755-60-41 wew. 110; e-mail: [d.sliwinski@itep.edu.pl](mailto:d.sliwinski@itep.edu.pl)