

Urządzenia polowe do pomiaru kierunkowego odbicia promieniowania elektromagnetycznego w zakresie optycznym

Field devices for bidirectional reflectance measurements in optical range

Jan PIEKARCZYK, Jerzy CIERNIEWSKI

Ground bidirectional reflectance distribution function (BRDF) measurements are necessary as a source of data for validation of BRDF models, support the development of new BRDF models, investigation the physical mechanisms of BRDF effects and their relationships with biophysical and geophysical parameters, calibrate reference panels and improve correction methods of satellite images. There are two main categories of instruments used to acquire ground BRDF data.

The first category is represented by FIGOS (Field Goniometer System) designed and built in Remote Sensing Laboratories at the University of Zurich, Switzerland and the Sandmeier Field Goniometer constructed by the Systems Engineering Division at NASA Ames Research Center. In both goniometers the sensor is mounted on the sled which moves on a zenith arc and azimuth rail. The sensor is pointing to the same central target area for all viewing positions.

Another category of devices capable of acquiring ground BRDF data are field systems with rotating head. Examples are the PARABOLA (Portable Apparatus for Rapid Acquisition of Bidirectional Observations of Land and Atmosphere) constructed

in Goddard Space Flight Center NASA or the CIMEL ROBOT from Cimel Electronique, France. PARABOLA is a motor-driven radiometer capable of measuring radiance from different viewing directions. The rotating head points to different ground locations and footprints dimensions, depending on view angle. The PARABOLA system can be deployed using different mounting platforms: large van boom, pickup trucks, tripods, tower tram and hot-air balloon.

In the Department of Soil Science and Remote Sensing of Soils at Institute of Physical Geography and Environmental Planning, Adam Mickiewicz University in Poznań, Poland bidirectional reflectance measurements have been carried out for several years. Data collected during the field experiments are used for testing the mathematical models which predict the distribution of electromagnetic radiation from rough soil surfaces. Bidirectional reflectance from soil surfaces is measured by a six-channel field luminancemeter CIMEL 313-21. The head of this instrument can be mounted on two different systems. The first is a goniometric support and the second is „robot” that enables to rotate the head in zenith and azimuth planes.

Wstęp

O odbiciu spektralnym od obiektów nielambertowskich decyduje w bardzo dużym stopniu jego dwukierunkowość, tj. kierunki z jakich są one oświetlane i obserwowane. Pojęcie „dwukierunkowe” oznacza, że odbicie to zależy jednocześnie od kierunków opisanych pozycją kątową dwóch obiektów; źródła promieniowania oraz obserwującego te obiekty sensora (Cierniewski, 2001). Odbicie spektralne od powierzchni oświetlonej z jednego kierunku, ale obserwowane we wszystkich możliwych kierunkach, charakteryzuje dwukie-

runkowa funkcja rozkładu odbicia (BRDF – *Bidirectional Reflectance Distribution Function*). Dokładna znajomość dwukierunkowych charakterystyk spektralnych różnych rodzajów pokrycia powierzchni Ziemi jest przydatna przy interpretacji obecnie dostępnych obrazów satelitarnych pozyskiwanych za pomocą czujników szerokokątnych oraz czujników o małym polu widzenia, ale rejestrujących obrazy skośne jak skaner AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) satelitów serii NOAA, HRV (*High Resolution Visible*) satelitów SPOT oraz czujników skanujących stożkowo ATSR (*Along-Track Scanning Radiometer*) sateli-

ty ERS-1. Korekcja danych teledetekcyjnych rejestrowanych w różnych warunkach obserwacji i oświetlenia będzie miała większe znaczenie gdy na orbitach okołoziemskich zostaną umieszczone nowe satelity wyposażone w czujniki rejestrujące obrazy tego samego fragmentu Ziemi pod różnymi kątami (Sandmeier, 1998). W ramach działającego od grudnia 1999 roku amerykańskiego programu pod nazwą Earth Observing System (EOS), sensor o nazwie Moderate Resolution Imaging Spectrometer — (MODIS) obserwuje powierzchnię Ziemi pod różnymi kątami zenitalnymi w zakresie $\pm 50^\circ$. Inny czujnik, Multi-angle Imaging Spectroradiometer (MISR), pozwala na zarejestrowanie kilku obrazów tego samego fragmentu Ziemi pod różnymi kątami widzenia w granicach $\pm 58^\circ$.

Dwukierunkowe charakterystyki spektralne wykorzystywane do korekcji obrazów satelitarnych uzyskuje się za pomocą radiometrów naziemnych lub skanerów lotniczych (Privette i in., 2000; Asner i in., 1998; Sandmeier, Deering, 1999; Gastellu-Etchegorry i in., 1999). Według Sandmeier'a (2000) dwukierunkowe dane spektralne zebrane tymi sposobami są niezbędne do: (1) oceny poprawności działania modeli matematycznych opisujących kierunkowe odbicie od powierzchni Ziemi, (2) tworzenia nowych, bardziej precyzyjnych modeli BRDF, (3) badania fizycznych podstaw zjawiska BRDF, (4) badania zależności między czynnikami biogeofizycznymi a BRDF różnych powierzchni, (5) kalibracji dużych i małych wzorców bieli oraz (6) oceny poprawności dwukierunkowych pomiarów spektralnych wykonywanych z pułapu satelitarnego.

W literaturze szczególnie podkreśla się konieczność poznania dwukierunkowych charakterystyk różnych powierzchni lądowych Ziemi w celu bardziej dokładnego i wiarygodnego szacunku ich albedo, które jest kluczowym parametrem wykorzystywanym w modelach opisujących zmiany klimatu (Gastellu-Etchegorry i in., 1999; Asner i in., 1998). Błąd, który może wystąpić jeśli za albedo przyjmie się wartość odbicia zmierzoną z jednego kierunku, może być bardzo duży. Kimes i Sellers (1985) stwierdzili, że szacowanie albedo powierzchni roślinnych na podstawie pomiarów wykonywanych tylko w kierunku nadiru może być obarczone błędem wynoszącym 55%. Również zmiana geometrii układu Słońce–obiekt powoduje duże różnice wielkości szacowanego albedo. Według Stewarda (1971) zwiększenie kąta zenitalnego Słońca z 26° do 86° powoduje 2,3-krotny wzrost albedo od powierzchni leśnych.

Polowe pomiary dwukierunkowych charakterystyk spektralnych

Dwukierunkową funkcję rozkładu odbicia (BRDF) bardzo trudno zmierzyć w warunkach polowych. Pomiary kierunkowego odbicia muszą być wykonywane przy różnych położeniach Słońca tak, aby dwukierunkowa charakterystyka danej powierzchni uwzględniała wszystkie możliwe kierunki oświetlenia, występu-

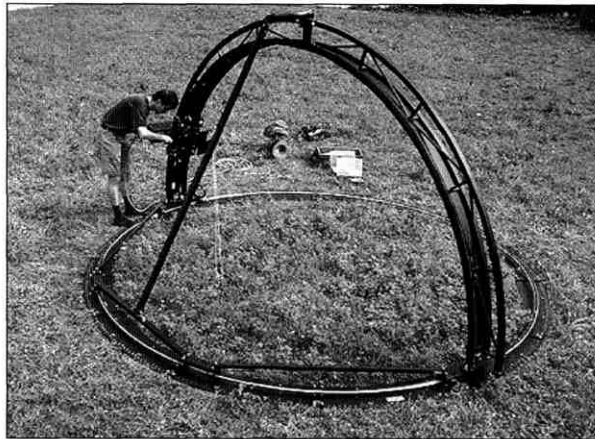
jące w naturalnych warunkach. Ponadto luminancja tych powierzchni powinna być mierzona z możliwie jak największej liczby kierunków w przestrzeni półkolistej, w której znajduje się mierzony obiekt. Ze względu na dużą zmienność naturalnych warunków oświetlenia, pomiary te muszą być wykonywane w bardzo krótkim czasie.

Zamiast funkcji BRDF korzysta się z innej wielkości — dwukierunkowego wskaźnika odbicia BRF (Cierniewski, 2001). Parametr ten wyraża stosunek luminancji badanego obiektu przypadającej na jednostkę kąta bryłowego, do luminancji wzorca powierzchni lambertowskiej (Milton, 1988 za Cierniewskim, 2001). Obecnie stosowane są dwie metody wykonywania polowych pomiarów spektralnych, których celem jest uzyskanie dwukierunkowych charakterystyk spektralnych różnych powierzchni. Pierwsza z nich polega na zamontowaniu radiometru na goniometrze. Wykonywane są wówczas pomiary radiometryczne pod różnymi kątami tego samego fragmentu powierzchni. W badaniach teledetekcyjnych obecnie wykorzystuje się dwa takie urządzenia: jedno, o nazwie FIGOS, skonstruowane w Remote Sensing Laboratories na Uniwersytecie w Zurichu, drugie pod nazwą SFG zbudowane w USA w Systems Engineering Division w NASA Ames Research Center. W drugiej metodzie dwukierunkowych pomiarów odbicia spektralnego umieszczony nad badaną powierzchnią czujnik radiometru obracając się zmienia kąt obserwacji w płaszczyznach zenitalnej i azymutalnej. Przykładem takiego rozwiązania jest system PARABOLA opracowany i skonstruowany w NASA Goddard Space Flight Center lub obrotowa kamera CCD-line z German Aerospace (Sandmeier, 2000).

Polowe systemy goniometryczne

Systemy goniometryczne FIGOS (Field Goniometer System) i SFG (Sandmeier Field Goniometer) mają bardzo podobne konstrukcje. Składają się one z trzech głównych elementów: usytuowanego pionowo łuku, koła leżącego na powierzchni gruntu, na którym wsporniany łuk jest rozpięty oraz sanek, na których zamontowany jest czujnik (ryc. 1).

Wszystkie zasadnicze elementy konstrukcji są wykonane z aluminium. Waga całego systemu wynosi 230 kg, a jego złożenie na polu zajmuje dwóm pracownikom około 90 min. Dla zwiększenia stabilności łuk jest wsparty ramieniem, które przemieszcza się wraz z nim po kole i służy jednocześnie do podtrzymywania przewodów łączących głowicę radiometru z komputerem. Promień łuku i koła wynosi 2 metry. Sanki przesuwając się po łuku zmieniają zenitalny kąt obserwacji czujnika, a łuk przesuwając się na kole zmienia azymutalny kąt obserwacji. Przy każdej pozycji zenitalnej i azymutalnej środek pola widzenia radiometru pokrywa się ze środkiem koła przestrzeni półkolistej wyznaczonej przez łuk. Radiometr obserwuje cały czas ten sam fragment badanej powierzchni. Głowica ra-



Ryc. 1. FIGOS (Field Goniometer System) — goniometryczny system do dwukierunkowego pomiaru odbicia spektralnego w warunkach polowych (wg Sandmeier, 2000).

Fig. 1. FIGOS – Field Goniometry System for bidirectional reflectance measurements.

diometru jest zamontowana z boku szyny tworzącej łuk. Dzięki temu podczas pomiarów wykonywanych w głównej płaszczyźnie słonecznej łuk nie zacięcia mierzonej powierzchni. Pole widzenia radiometru wynosi 3° , ma kształt kolistej i obejmuje powierzchnię o średnicy 10,5 cm przy obserwacji prowadzonej w kierunku nadiru. Gdy obserwacja jest prowadzona pod kątem zenitalnym wynoszącym 75° czujnik widzi powierzchnię w kształcie elipsy, której dłuższa oś ma 41 cm.

Ustawianie pozycji zenitalnej i azymutalnej głowicy radiometru może następować automatycznie, zgodnie z wcześniej ustalonym scenariuszem, lub może być zdalnie sterowane ręcznie i wówczas można ją ustawić pod jakimkolwiek kątem zenitalnym z zakresu od -75° do $+75^\circ$. Dokładność usytuowania czujnika na łuku wynosi $\pm 2^\circ$ i jest kontrolowana przez laser.

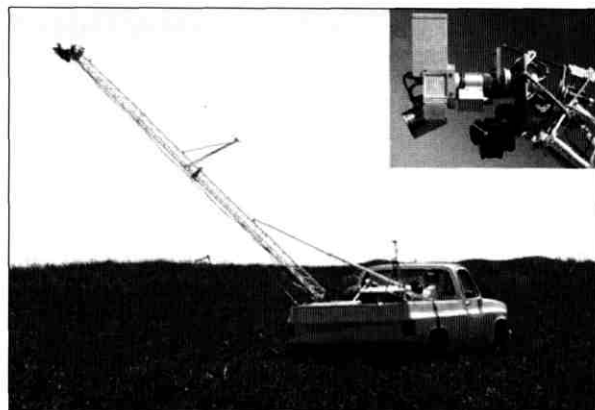
W badaniach polowych prowadzonych przy wykorzystaniu goniometrów stosuje się najczęściej zmianę kąta zenitalnego i azymutalnego obserwacji czujnika odpowiednio o 15° i 30° . W całej przestrzeni półkolistej odbicie spektralne od badanej powierzchni jest mierzone pod 11 kątami zenitalnymi widzenia przy 6 różnych kątach azymutalnych widzenia, co w sumie daje 66 pomiarów. W przypadku systemu FIGOS sekwencja 11 pomiarów przy jednym kącie azymutalnym obserwacji trwa około 3 minuty. Przy użyciu systemu SFG, ze względu na lepsze sterowanie zmianą pozycji czujnika, sekwencja taka jest krótsza i trwa ok. 1,5 minuty. Zwykle seria pomiarowa rozpoczyna się w głównej płaszczyźnie słonecznej, gdzie zmienność spektralna powierzchni nielambertowskich jest największa. W połowie każdej zenitalnej sekwencji pomiarowej, gdy czujnik obserwuje badaną powierzchnię w kierunku nadiru, wykonywany jest pomiar odbicia od wzorca bieli.

Oba wymienione systemy współpracują ze spektrometriami GER-3700 mierzącymi odbite promieniowanie w zakresie od 300 nm do 2500 nm w 704 pa-

smach o szerokości 1,5 nm, 6,2 nm i 8,6 nm w zakresach odpowiednio 300–1050 nm, 1050–1840 i 1950–2500 nm.

Polowe systemy rotacyjne

System do rejestracji dwukierunkowych danych spektralnych o nazwie PARABOLA (*Portable Apparatus for Rapid Acquisitions of Land and Atmosphere*) składa się z głowicy radiometru, mechanizmu umożliwiającego jej obrót i składanego wysięgnika, do którego jest ona przymocowana (ryc. 2) (Deering i in., 1990). W zależności od tego jaki typ powierzchni jest badany wysięgnik z głowicą może być zamontowany na samochodzie, statywie trójnożnym, przenośniku podwieszanym lub balonie.



Ryc. 2. PARABOLA (*Portable Apparatus for Rapid Acquisitions of Land and Atmosphere*) — polowy system z obrotową głowicą do pozyskiwania dwukierunkowych danych spektralnych (zdj. Donald Deering).

Fig. 2. PARABOLA (*Portable Apparatus for Rapid Acquisitions of Land and Atmosphere*) a field system with rotating head for acquiring bidirectional reflectance data.

Czujnik radiometru skanuje badaną powierzchnię w sposób ciągły. Obraca się wokół własnej osi zmieniając azymutalny kąt obserwacji i zwiększając za każdym obrotem kąt zenitalny obserwacji. Przy takim trybie zbierania danych cała sekwencja pomiarowa z przestrzeni półkolistej trwa 11 sekund, a po jej zakończeniu, w ciągu następnych 35 sekund, dane przesyłane są z bufora do komputera. Możliwy jest również inny tryb pracy systemu, w którym sterując zdalnie z komputera operator określa kąty pod jakimi czujnik ma obserwować badaną powierzchnię.

Podczas wykonywania dwukierunkowych pomiarów spektralnych systemem PARABOLA czujnik radiometru widzi inny fragment badanej powierzchni przy każdej zmianie kierunku obserwacji. Aby w jak największym stopniu zmniejszyć błędy pomiarowe wynikające z niejednorodności badanej powierzchni opracowano scenariusz pomiarów, w którym dodatkowo wykonywane są dwie sekwencje pomiarowe po obrocie maszty, na którym zamontowany jest radio-

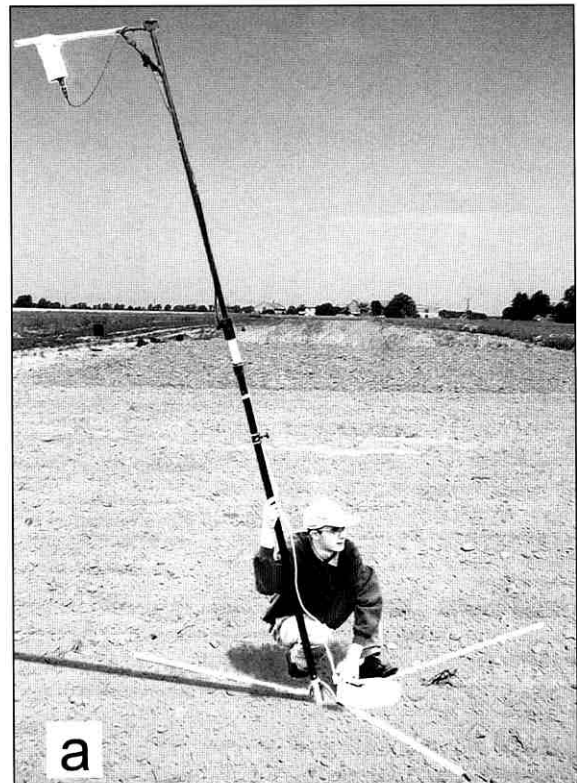
metr o $+7,5^\circ$ i $-7,5^\circ$ od głównej płaszczyzny słonecznej. Dzięki takiej procedurze możliwe jest dokładniejsze zmierzenie zjawiska *hot-spot*.

Robot CIMEL – system automatycznej rejestracji danych spektralnych

W Zakładzie Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb Instytutu Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego UAM od wielu lat prowadzone są badania nad dwukierunkowymi charakterystykami spektralnymi powierzchni glebowych (Cierniewski, 1999; Cierniewski i in., 2000; Cierniewski, 2001; Faryś, 2000; Królewicz, 2000). Zbierane w ich trakcie dane spektralne służą do szacowania poprawności funkcjonowania modelu kierunkowego odbicia spektralnego od gleb. Polowe pomiary dwukierunkowego odbicia od gleb wykonywane są za pomocą luminancjometru polowego CIMEL CE 313-21 o polu widzenia wynoszącym 10° . Urządzenie to jest wyposażone w dwa rodzaje detektorów: krzemowy i germanowy. Pierwszy z nich rejestruje luminancję w sześciu kanałach odpowiadających następującym długościom fali: 450 nm, 550 nm, 650 nm i 850 nm. Drugi z wymienionych czujników rejestruje fale o długości 850 i 1650 nm. Porównując wielkość luminancji zarejestrowaną w podczerwieni (850 nm) przez oba czujniki można kontrolować poprawność mierzonych danych.

Głowica luminancjometru może być montowana na dwóch różnych statywach. Pierwszy z nich wymaga ręcznej obsługi, to znaczy zmiana kąta zenitalnego obserwacji następuje po przesunięciu masztu statywu przez operatora (ryc. 3a). Zamontowana na tym statywie głowica zawsze jest wycelowana w ten sam punkt badanej powierzchni. Maszt składa się z dwóch rur wsuwanych jedna w drugą, dzięki czemu wysokość pomiarowa może być zmieniana w zakresie od 1,5 m do 3,5 m. Zmiana kąta azymutalnego obserwacji wymaga przestawienia całego statywu. W badaniach, w których wykorzystywano omawiany statyw luminancję mierzono w głównej płaszczyźnie słonecznej pod 15 różnymi kątami zenitalnymi widzenia co 10° od -70° (dosłonecznie), poprzez 0° (nadir), do $+70^\circ$ (odslonecznie). Na początku i końcu każdej takiej sekwencji pomiarowej rejestrowano luminancję wzorca bieli w kierunku nadiru. Zarejestrowanie wartości luminancji we wszystkich sześciu kanałach trwało około 4 minuty.

Druga metoda pomiaru odbicia dwukierunkowego za pomocą luminancjometru CIMEL wymaga połączenia głowicy tego urządzenia z systemem umożliwiającym jej obrót w płaszczyznach zenitalnej i azymutalnej. System ten został zaprojektowany oraz wykonany przez francuską firmę CIMEL i nazwany „Robotem”. Robot składa się z dwóch silników elektrycznych obracających głowicę, wraz z którą jest umieszczony na statywie o regulowanej wysokości w zakresie od 2 m do 3,5 m (ryc. 3b). Czujnik luminancjometru w trakcie wykonywania pomiarów odbicia z różnych kierunków widzi inne fragmenty mierzonej powierzchni.



Ryc. 3. Statywy umożliwiające ręczną (a) i automatyczną (b) zmianę pozycji głowicy luminancjometru CIMEL (wg Cierniewski, 2001).

Fig. 3. Supports for manual (a) and automatic (b) change of the CIMEL luminancemeter head.

Kontrola pracy robota i głowicy luminancjometru odbywa się z przenośnego komputera PC (notebooka) za pomocą programu pod nazwą ASTPWin opracowanego przez firmę CIMEL lub bezpośrednio przez moduł sterujący luminancjometru. W pierwszym przypadku jest możliwe dowolne definiowanie niektórych parametrów pomiarowych. W przygotowanym przed przystąpieniem do pomiarów scenariuszu, określa się kolejność procedur jakie Robot ma wykonać w trakcie pomiarów. W algorytmie tworzącym scenariusz definiuje się liczbę i rodzaj kanałów, w których mają być wykonywane pomiary, kąty zenitalne i azymutalne obserwacji pod jakimi ma rozpocząć się sekwencja pomiarowa oraz kąty, o jakie ma się zmieniać położenie czujnika w trakcie pomiaru. Kontrola pracy Robota za pomocą modułu sterującego polega na zastosowaniu scenariusza przygotowanego przez producenta Robota, w którym pomiary w płaszczyźnie zenitalnej wykonywane są pod 15 różnymi kątami ze zmianą co 10° w zakresie od -70° (dosłonecznie), poprzez 0° (nadir), do $+70^\circ$ (odslonecznie). Zmiana kąta obserwacji w płaszczyźnie azymutalnej następuje co 15° . Cykl 16 pomiarów pod różnymi kątami zenitalnymi obserwacji w jednej płaszczyźnie zenitalnej trwa ok. 15 sekund.

Obraz mierzonej powierzchni przy każdym położeniu czujnika jest rejestrowany za pomocą zdalnie uruchamianego fotograficznego aparatu cyfrowego OLYMPUS. Jest on przytwierdzony do głowicy luminancjometru i zmieniając wraz z nią położenie w trakcie pomiarów wykonuje zdjęcia badanej powierzchni o rozdzielczości 1200×1600 punktów.

Warunki oświetlenia panujące w trakcie wykonywania pomiarów spektralnych są kontrolowane za pomocą pyranometru LI-COR LI-250. Czujnik tego urządzenia jest umieszczony na szczycie statywu i rejestruje gęstość strumienia padającego promieniowania w zakresie od 400 do 1100 nm.

Podsumowanie

Dzięki odmiennej konstrukcji wszystkie wyżej opisane systemy służące do naziemnych pomiarów odbicia dwukierunkowego mogą być stosowane w różnych warunkach do badania różnych rodzajów powierzchni. Systemy goniometryczne umożliwiają uzyskanie dokładnych charakterystyk spektralnych tego samego, niewielkiego, fragmentu badanej powierzchni. Mierzony fragment musi być reprezentatywny dla całej badanej powierzchni. Według Sandemeiera (2000) obiektami, które najbardziej nadają się do pomiaru przy użyciu systemów goniometrycznych są uprawy rolnicze roślin o małej wysokości, trawy, gleby, skały i powierzchnie antropogeniczne. Przy zastosowaniu systemów z obrotową głowicą przy każdej zmianie swego położenia czujnik rejestruje odbite promieniowanie od innego fragmentu powierzchni. Tego typu systemy można stosować przy założeniu, że badana powierzchnia jest względnie jednorodna spektralnie. Zaletą systemów z obrotową głowicą jest możliwość

zamontowania ich na różnych platformach, wysięgkach i statywach, dzięki czemu można je stosować np. w badaniach dwukierunkowych charakterystyk spektralnych lasów.

Niezależnie od tego jaki system jest stosowany, w celu uzyskania wiarygodnych i porównywalnych dwukierunkowych danych spektralnych, kampania pomiarowa musi być właściwie zaplanowana i przeprowadzona. Istotne znaczenie ma właściwe określenie rozdzielczości kątowej z jaką mają być wykonywane pomiary. Wielkości o jakie powinny być zmieniane zenitalne i azymutalne kąty obserwacji zależą od rozmiarów pola widzenia radiometru, struktury mierzonej powierzchni i jej odległości od czujnika. Uzyskanie jak najlepszej charakterystyki dwukierunkowej wymaga wykonywania pomiarów z jak największej liczby możliwych kierunków przy określonym położeniu Słońca. Ograniczeniem jest czas, w którym wykonywane są te pomiary – powinien on być jak najkrótszy, tak aby zenitalna zmiana położenia Słońca była nie większa niż 1° . Sandmeier (2000) zaleca zmianę zenitalnego kąta widzenia czujnika co 15° a kąta azymutalnego co 30° . Częstsza zmiana kąta zenitalnego widzenia, co 2° , jest zalecana, gdy czujnik rejestruje odbicie z kierunków w jakich promieniowanie jest odbijane zwierciadlanie i z kierunków zbliżonych do kierunków, w których występuje zjawisko *hot-spot*.

Zmienność odbicia dwukierunkowego zależy w dużym stopniu od zenitalnej pozycji Słońca i dlatego polowe pomiary powinny być wykonywane w ciągu całego dnia w regularnych odstępach, np. co 10° . Niekiedy wpływ na wyniki pomiarów ma pora dnia, w której są one wykonywane. Rosa występująca na roślinach w godzinach porannych może powodować wzrost odbicia promieniowania w stosunku do odbicia mierzonego przy takim samym kącie zenitalnym Słońca, ale po południu. Pinter (1996) stwierdził, że w odniesieniu do zakresu czerwonego widma wzrost odbicia spowodowany obecnością rosy na liściach roślin wynosi do 35%, natomiast odbicie fal podczerwonych nie zmienia się.

Prawidłowa interpretacja danych dwukierunkowych wymaga uwzględnienia wpływu warunków atmosferycznych. Z założenia pomiary polowe powinny być wykonywane przy niskim lub wysokim, lecz stabilnym stężeniu areozoli w atmosferze i przy bezchmurnym niebie. W praktyce warunki atmosferyczne w trakcie pomiarów zmieniają się. Konieczne jest zatem stałe kontrolowanie stanu atmosfery, zawartości w niej areozoli i pary wodnej.

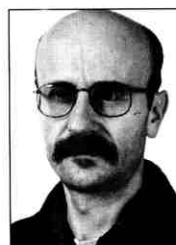
Literatura

- Asner G.P., Braswell B.H., Schimel D.S., Wessman C.A., 1998, *Ecological research needs from multiangle remote sensing data*, Remote Sensing of Environment, 63, 155–165.
 Cierniewski J., 1999, *Geometrical modeling of soil bidirectional reflectance in the optical domain*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

- Cierniewski J., Piekarczyk J., Marlewski A., 2000, *Model obrazu gleb uprawnych w zakresie optycznym*, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 10, 30.1–30.12.
- Cierniewski J., 2001, *Model kierunkowego odbicia spektralnego od gleb uprawnych, uwzględniający obecność agregatów glebowych oraz mikroliefu* (w druku).
- Cierniewski J., Verbrugge M., Marlewski A., *Effects of farming works on soil surface bidirectional reflectance measurements and modeling*, *International Journal of Remote Sensing* (w druku).
- Cierniewski J., Karnieli A., *Virtual surfaces simulating the bidirectional reflectance of semiarid soils*, *International Journal of Remote Sensing* (w druku).
- Deering D.W., Eck T.F., Otterman J., 1990, *Bidirectional reflectance of selected desert surfaces and their three-parameter soil characterization*, *Agricultural and Forestry Meteorology*, 52, 71–93.
- Faryś M., 2000, *Wpływ orki na dwukierunkową charakterystykę odbicia spektralnego od powierzchni gleb w zakresie optycznym*, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 10, 30.1–30.12.
- Gao W., Lesht B.M., 1996, *Model inversion of satellite-measured reflectances for obtaining surface biophysical and bidirectional reflectance characteristics of grassland*, *Remote Sensing of Environment*, 59, 461–471.
- Gastellu-Etchegorry J.P., Guillevic P., Zagolski F., Demarez V., Trichon V., Deering D., Leroy M., 1999, *Modeling BRF and radiation regime of boreal and tropical forests: I. BRF*, *Remote Sensing of Environment*, 68, 281–316.
- Kimes D.S., Sellers P.J., 1985, *Inferring hemispherical reflectance of the Earth's surface for global energy budgets from remotely sensed nadir or directional radiance values*, *Remote Sensing of Environment*, 18, 205–223.
- Królewicz S., 2000, *Zmienność jasności powierzchni piaszczystej fotografowanej w różnych warunkach oświetlenia i obserwacji*, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 10, 30.1–30.12.
- Pinter P.J. Jr., 1996, *Effect of dew on canopy reflectance and temperature*, *Remote Sensing of Environment*, 19, 187–205.
- Privette J.L., Asner G.P., Conel J., Huemmrich K.F., Olson R., Rango A., Rahman A.F., Thome K., Walter-Shea E.A., 2000, *The EOS prototype validation exercise (PROVE) at Joranda: overview and lessons learned*, *Remote Sensing of Environment*, 74, 1–12.
- Sandmeier St., Muller Ch., Hosgood B., Andreoli G., 1998, *Physical mechanisms in hyperspectral BRDF data of grass and watercress*, *Remote Sensing of Environment*, 66, 222–233.
- Sandmeier St., Deering D.W., 1999, *Structure analysis and classification of boreal forests using airborne hyperspectral BRDF data from ASAS*, *Remote Sensing of Environment*, 69, 281–295.
- Sandmeier St., Itten K.I., 1999, *A field goniometer system (FI-GOS) for acquisition of hyperspectral BRDF data*, *IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing*, 37, 978–986.
- Sandmeier S.R., 2000, *Acquisition of bidirectional reflectance factor data with field goniometers*, *Remote Sensing of Environment*, 73, 257–269.
- Steward J.B., 1971, *The albedo of a pine forest*, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 97, 561–564.
- Vierling L.A., Deering D.W., Eck T.F., 1997, *Differences in Arctic tundra vegetation type and phenology as seen using bidirectional radiometry in the early growing season*, *Remote Sensing of Environment*, 60, 71–82.



Prof. dr hab. Jerzy Cierniewski, kierownik Zakładu Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb Instytutu Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, jest profesorem Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Stopień doktora i doktora habilitowanego uzyskał w Akademii Rolniczej w Poznaniu kolejno w 1979 i 1989 r. Od 1987 jest pracownikiem UAM. Tytuł profesora nauk o Ziemi otrzymał w 2000 r. Jest autorem 70 prac z zakresu gleboznawstwa i teledetekcji gleb, publikowanych między innymi w *Remote Sensing of Environment*, *International Journal of Remote Sensing*, *Remote Sensing Reviews*, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* oraz *International Agrophysics*.



Dr inż. Jan Piekarczyk jest absolwentem Wydziału Rolniczego Akademii Rolniczej w Poznaniu. Pracując w Instytucie Ochrony Roślin w Poznaniu zajmował się opracowaniem charakterystyk spektralnych roślin uprawnych. Od 1997 r. jest adiunktem na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu w Zakładzie Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb Instytutu Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego. Jego obecne zainteresowania naukowe dotyczą opracowania teledetekcyjnej metody identyfikacji nieużytków rolniczych.