

Jerzy CIERNIEWSKI

Teledetekcyjne dane o glebie nie pokrytej roślinnością jako powierzchni nielambertowskiej

Remote sensing data of bare soil as non-lambertian surface

Rough soil surfaces, as most natural objects, show variation in their brightness due to the direction of irradiation and also the direction from which reflectance is measured. In the absence of strong specular behaviour, a soil surface seems to be brighter from the direction which gives the lowest proportion of shaded fragments. That soil surface usually displays a clear backscattering character with a reflectance peak towards the Sun position, and decreasing reflectance in the direction away from the peak.

Using a geometrical soil reflectance model describing bidirectional reflectance in the visible and near-infrared range from rough soil surface, author discusses the influence of soil surface roughness on the soil directional reflectance distribution in changing illumination and observation conditions of the soil surface. A rough soil surface in the model is simulated by equal-sized opaque spheroids lying on a horizontal surface. The geometrical structure is illuminated by the direct solar beams at a zenith angle, and diffuse skylight. The model calculates the area of illuminated and shaded fragments of the simulated soil surface, visible at a given view zenith angle of the sensor, and then the electromagnetic energy coming to each facet of the

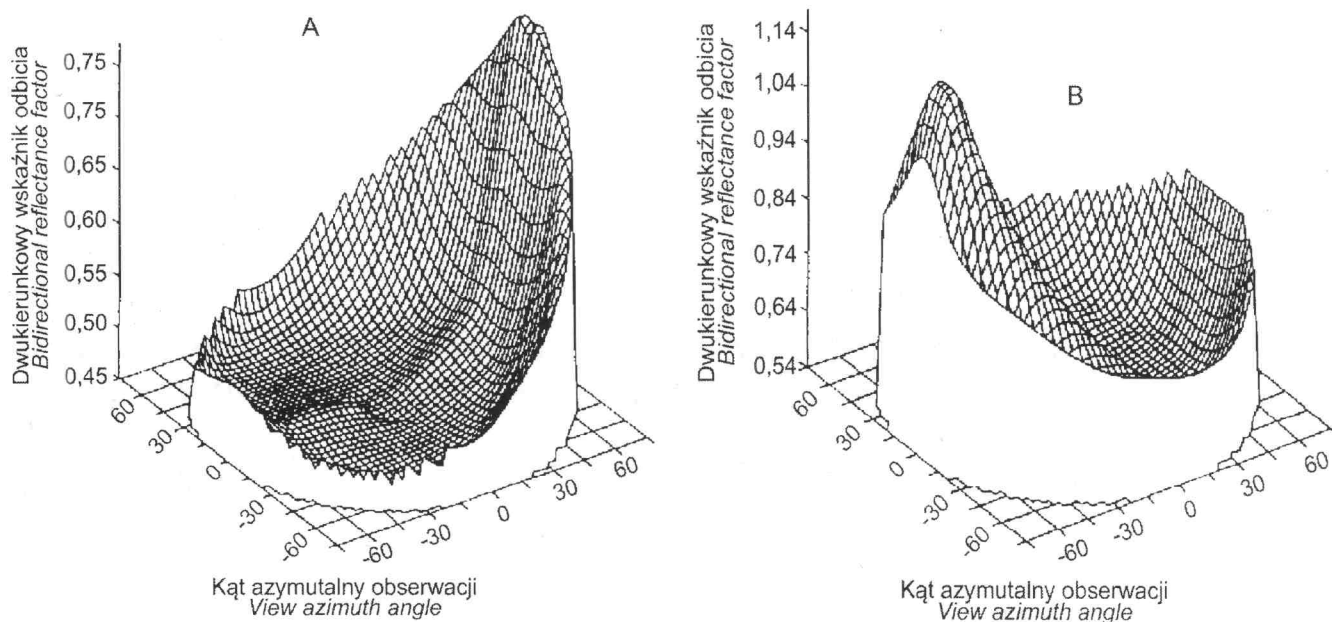
structure. The model takes into account the diffuse, as the specular component of energy leaving soil surface. Energy reflected in the near-perfect specular way is dispersed into vectors creating an spheroidal shape of elongation depending on the intensity of polarization of reflected energy, described by Fresnel equations. The reflectance of the simulated soil surface is finally expressed by the relative reflectance factor, which is defined as the ratio of the total radiance measured from the off-nadir direction to the measured from nadir. The model was verified by soil directional reflectance data measured by a field radiometer in the three SPOT (HRV) bands. The soil surface roughness influence on the soil bidirectional reflectance was discussed on examples of sandy and loamy soil materials on flat horizontally situated surfaces, illuminated at solar zenith angles 30° , 50° , and 70° , and viewed along the solar principal plane, where variation of the soil reflectance is highest, at view zenith angles from 60° towards the Sun through nadir to 60° away from the Sun. The soil directional reflectance variation was also discussed in conditions when the both materials are furrowed, and the furrows change their azimuth orientation in relation to the Sun.

Wstęp

Powierzchnie lambertowskie, usytuowane poziomo, wydają się jednakowo jasne, bez względu na kierunek padania na nie promieni i kierunek ich obserwacji. Gleba, tak jak większość obiektów naturalnych, nie wykazuje takich cech. Wydaje się ona jaśniejsza, gdy obserwuje się ją z kierunków, z których dostrzega się mniej jej zacienionych fragmentów. Jest najjaśniejsza, gdy obserwujący ją sensor ma Słońce za sobą, a kierunek obserwacji powierzchni gleby zbliżony jest do kierunku padania promieni słonecznych, jak w przypadku (A) na ryc. 1 (Kimes, Sellers, 1985; Milton, Webb, 1987; Ott i in., 1984). Gdy promienie te ze względu na właściwości materiału glebowego ulegają nie tylko odbiciu dyfuzyjnemu, ale też odbiciu zwierciadlanemu, powyż-

sza prawidłowość, wynikająca z samozacienienia powierzchni gleby, staje się mniej wyraźna. Pewne gleby wydają się najjaśniejsze, gdy obserwowane są skośnie pod Słońce, szczególnie przy niskim jego położeniu. D.W. Deering, T.F. Eack, J. Otterman (1990) zaprezentowali właściwości spektralne takich gleb, stanowiących wydmy zbudowane z piasku gipsowego — przypadek (B) na ryc. 1. Ich charakterystykę kierunkowego odbicia uzyskano za pomocą radiometru polowego, zwanego PARABOLĄ, rejestrującego odbicie w prawie całej półsferze nad badaną powierzchnią w odstępach co 15° .

Analizując cechy powierzchni gleby metodami teledetekcji, z pułapu lotniczego, lub satelitarnego, trzeba zdawać sobie sprawę, że jej właściwości spektralne są zależne od pozycji katowej Słońca oraz sensora w trakcie rejestracji danych.



Ryc. 1. Trójwymiarowy diagram kierunkowego rozkładu odbicia fal czerwonych od gleb alkalicznych (A) i piaszczystych gleb gipsowych (B), ustalony odpowiednio przy kącie zenitalnym Słońca 68° i 69° . Słońce jest położone pod kątem azymutalnym równym 180° (zmodyfikowany z pracy Deeringa i in., 1990)

Fig. 1. Three-dimensional polar plots of the directional distribution of reflectance for alkali soil (A) and sandy gypsum soil (B) at 68° and 69° solar zenith angles, respectively. The Sun is at 180° azimuth (modified from Deering et al., 1990)

Nielambertowskie zachowanie się powierzchni gleby zależy od jej szorstkości w mikroskali i w skalach większych, a także od kąta padania promieni na tę powierzchnię. Jeśli powierzchnia ta w mikroskali jest gładka w stosunku do długości rozpatrywanej fali, to padające na nią promienie odbijane są od niej w sposób zwierciadlany, gdzie kąt padania równa się kątowi odbicia. Jeśli powierzchnia gleby w tej skali jest szorstka, to energia promienista padająca na tę powierzchnię jest rozpraszana we wszystkich kierunkach, a wektory wyobrażające tak rozproszoną energię tworzą kształt idealnej kuli osadzonej na tej powierzchni, niezależnie od kąta padania promieni na tę powierzchnię. Kryterium szorstkości pozwalające na rozdzielenie powierzchni gładkich i szorstkich w mikroskali zależy od długości fali i kąta padania promieni na rozpatrywaną powierzchnię. Dla fal obejmujących zakres widma widzialnego i bliskiej podczerwieni ($0,36\text{--}1,3\ \mu\text{m}$) i zenitalnego kąta padania promieni w przedziale od 10° do 70° , ta graniczna wielkość mikrodeniwelacji powierzchni zgodnie z równaniem Rayleigha mieści się w granicach od $0,05\ \mu\text{m}$ do $0,47\ \mu\text{m}$ (Cierniewski i Courault, 1993). Nieregularności powierzchni gleby w większej skali, wynikające z obecności agregatów i brył, uniemożliwiają bezpośrednie dotarcie promieniowania do całej jej powierzchni. Za elementami tymi tworzą się zacienione fragmenty o wielokrotnie niższym poziomie odbitej od nich energii niż od fragmentów bezpośrednio oświetlonych promieniami słonecznymi. Zacienienie jest więc następną istotną przyczyną warunkującą Nielambertowski rozkład odbitej energii od

powierzchni gleby (Graetz, Gentle, 1992; Huete, 1987; Pech i in., 1986; Ransen i in., 1985).

Do dokładnej interpretacji powierzchni gleby przydatna jest znajomość rozkładu kierunkowego odbicia od gleby. Pozwala ona na ilościowe porównanie jasności gleby w różnych warunkach jej oświetlenia i obserwacji. Znajomość parametrów kierunkowego odbicia od powierzchni gleb może być szczególnie przydatna przy analizie obrazów gleb uzyskiwanych za pośrednictwem skanerów satelitów o zmiennym kącie widzenia, jak HRV satelitów SPOT oraz szerokokątnych sensorów obrazowych, takich jak AVHRR satelitów NOAA lub ATSR satelitów ERS.

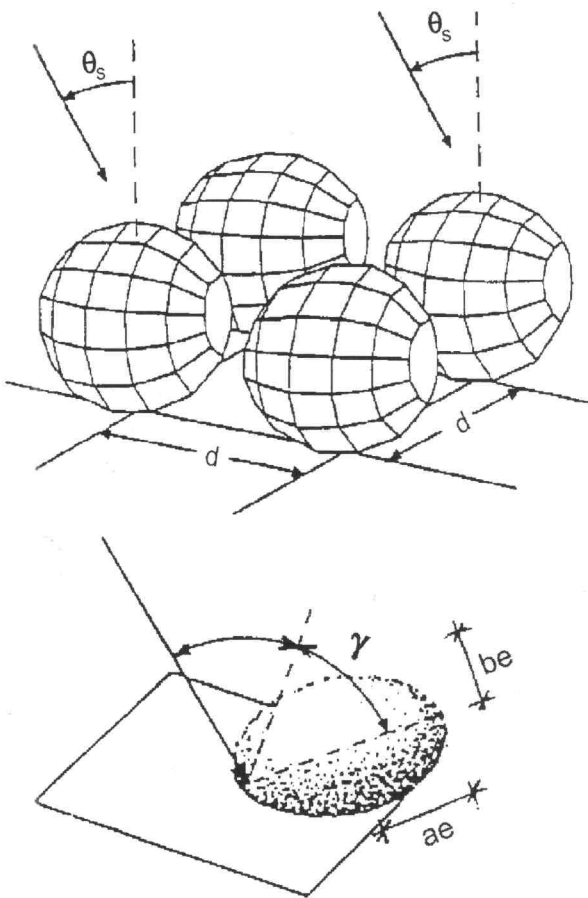
Istniejące modele geometryczne kierunkowego odbicia fal elektromagnetycznych od gleb przedstawiają powierzchnie glebowe za pomocą przekrojów lub płaszczyzn o przebiegu cosinusoidalnym (Cooper i Smith, 1985). Inne modele traktują agregaty glebowe jako prostopadłościany (Norman i in., 1985), kule (Cierniewski, 1987, 1989), lub elipsoidy (Cierniewski i Verbrugge, 1993, 1994, 1996) regularnie rozłożone na płaszczyźnie poziomej.

Postępując się geometrycznym modelem opisującym dwukierunkowe odbicie od powierzchni gleby w zakresie widma widzialnego i bliskiej podczerwieni (Cierniewski i Verbrugge, 1996), omówiono wpływ szorstkości powierzchni gleb na rozkład ich odbicia spektralnego w zmieniających się warunkach ich oświetlenia i obserwacji.

Metoda badań

Model

Model zastosowany w niniejszej pracy ustala rozkład odbicia fal widzialnych i podczerwonych od powierzchni glebowej w tak zwanej głównej płaszczyźnie słonecznej, tj. płaszczyźnie pokrywającej się jednocześnie z dwiema płaszczyznami, położenia zenitalnego Słońca i obserwacji zenitalnej. Powierzchnię tę symulują równej wielkości elipsoidy o określonym stosunku promienia pionowego (b) do poziomego (a), leżące w siatce kwadratów o boku d na płaskiej powierzchni (ryc. 2). Powierzchnię boczną tych elipsoid tworzy szereg płaskich elementarnych fragmentów. Ta cała struktura geometryczna jest oświetlona bezpośrednio promieniami słonecznymi pada-



Ryc. 2. Geometria symulowanej powierzchni glebowej oraz rozkład wektorów energii odbijanej od jednego z elementarnych fragmentów symulowanej gleby w sposób prawie idealnie zwierciadlany, gdzie ae i be są odpowiednio większym i mniejszym promieniem elipsoidy chmury tych wektorów, γ jest kątem padania promieni od normalnej do rozpatrywanego fragmentu powierzchni gleby, a θ_s jest kątem zenitalnym Słońca

Fig. 2. Geometry of simulated soil surface and distribution of vectors of the near-perfect specular component of energy leaving one facet of the surface, where ae and be are the major and minor radius of the first component, γ is the angle of the reflected sunbeams to the normal and θ_s is the solar zenith angle

jącymi pod kątem zenitalnym θ_s i dyfuzyjnym światłem nieba definiowanym stosunkiem energii światła rozproszonego do energii promieniowania bezpośrednio pada-

jącego (f_{di}). Model ten oblicza areał powierzchni gleby bezpośrednio oświetlonej promieniami słonecznymi (A_i) i zacienionej (A_s) w polu widzenia radiometru, obserwującego glebę pod określonym kątem zenitalnym θ_v . Następnie oblicza on wskaźnik energii elektromagnetycznej E_{fa} docierającej do każdego elementarnego fragmentu symulowanej struktury:

$$E_{fa} = \cos \theta_s \cos \beta + \sin \beta \sin \theta_s (\sin \phi_s \sin \phi_r + \cos \phi_s \cos \phi_r),$$

gdzie β i ϕ_r jest odpowiednio zenitalnym i azymutalnym kątem nachylenia elementarnego fragmentu powierzchni, a ϕ_s jest kątem azymutalnym Słońca. Powyższy wskaźnik wyraża cosinus kąta padania (γ) promieni na ten elementarny fragment. Część promienistej energii padająca na glebę jest odbijana w sposób prawie idealnie zwierciadlany, a część w sposób idealnie dyfuzyjny. Proporcje pomiędzy nimi określa współczynnik zwierciadlano-dyfuzyjny (SDC) wyrażający stosunek objętości elipsoidalnej chmury wektorów odbicia prawie idealnie zwierciadlanego (V_{sp}) do objętości kulistej chmury wektorów odbicia idealnie dyfuzyjnego (V_{di});

gdzie ae i be są większym i mniejszym promieniem elipsoidy, a r_{\perp} i r_{\parallel} są odpowiednio prostopadłym i równoległym współczynnikiem odbicia Fresnela, określonym za pomocą równania:

$$r_{\perp} = (n \mu_T - \mu_r) / (n \mu_T + \mu_r) \quad r_{\parallel} = (n \mu_{T2} - \mu_r) / (n \mu_{T1} + \mu_r)$$

$$\mu_r = \cos \gamma = E_{fa} \quad \mu_T = (1 - \sin^2 \gamma / n^2)^{0.5},$$

gdzie n jest wskaźnikiem refrakcji materiału glebowego.

Energia opuszczająca bezpośrednio oświetlone elementarne fragmenty gleby ($E_{i_{fa}}$), widziane przez sensor z określonego kierunku (θ_v), definiowana jest jako:

$$E_{i_{fa}} = E_{fa} [SDC^{1/3} v_{sp} + (1 - SDC^{1/3}) v_{di}] + f_{di},$$

gdzie v_{sp} i v_{di} są odpowiednio wektorami energii odbijanej w sposób prawie idealnie zwierciadlany oraz idealnie dyfuzyjny, a wskaźnik f_{di} wyraża stosunek energii światła rozproszonego do bezpośredniego promieniowania o określonej długości fali. $E_{i_{fa}}$ jest proporcjonalna do powierzchni bezpośrednio oświetlonych fragmentów gleby ($A_{i_{fa}}$). Energia opuszczająca zacienione elementarne fragmenty gleby ($E_{s_{fa}}$), wyrażone wskaźnikiem f_{di} , jest proporcjonalna do powierzchni zacienionych elementarnych fragmentów gleby ($A_{s_{fa}}$). Luminancja względna symulowanej powierzchni glebowej ($L_{(qv)}$), widziana z określonego kierunku (θ_v), jest określona równaniem:

$$L_{(\theta_v)} = \frac{\sum_{i=1}^j E_{i_{fa}} A_{i_{fa}} + \sum_{i=1}^j E_{s_{fa}} A_{s_{fa}}}{\sum_{i=1}^j A_{i_{fa}} + A_{s_{fa}}}$$

gdzie i jest i -tym elementarnym fragmentem symulowanej struktury geometrycznej w polu widzenia radiometru usytuowanego pod θ_v .

Odbicie od symulowanej powierzchni glebowej jest ostatecznie wyrażane za pomocą względnego wskaźnika odbicia (RRF), rozumianego jako stosunek luminancji mierzonej z kierunków skośnych do mierzonej w kierunku nadiru.

Weryfikacja modelu

Model ten weryfikowany był za pomocą naziemnych pomiarów spektralnych gleb, uzyskanych za pośrednictwem radiometru symulującego działanie trójkanałowego skanera HRV satelitów SPOT (Cierniewski i Verbrugghe, 1996). Radiometr ten, firmy CIMEL, rejestrujący promieniowanie w zakresach: 0,50–0,59 μm (XS1), 0,61–0,68 μm (XS2), and 0,79–0,89 μm (XS3), był umocowany do specjalnego ramienia, pozwalającego na zmianę jego położenia zenitalnego. Usytuowany w pozycji pionowej, z wysokości około 2 m rejestrował energię odbitą od poziomej powierzchni gleby o promieniu 0,22 m.

Wyniki badań i dyskusja

W niniejszej pracy zaprezentowano wyniki symulacji wpływu szorstkości powierzchni gleb na rozkład względnego współczynnika odbicia fal czerwonych od ich poziomej powierzchni w głównej płaszczyźnie słonecznej w zależności od warunków ich oświetlenia, definiowanych kątem zenitalnym Słońca (θ_s). Symulacji tej dokonano przy wykorzystaniu wyżej przedstawionego modelu na przykładzie dwóch różnych pod względem zbrylenia powierzchni glebowych: wytworzonych z materiału piaszczystego i gliniastego o zmieniającej się szorstkości.

Wcześniejsze wyniki badań, przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych nad dwukierunkowym odbiciem od powierzchni glebowych (Cierniewski i in. 1996), dowiodły, że cząstki i agregaty powierzchni gleb piaszczystych mogą być symulowane za pomocą elipsoid o stosunku promienia pionowego do poziomego $b/a = 0,75$, natomiast gleb gliniastych — za pomocą elipsoid o proporcji $b/a = 3$ (ryc. 3). Kształt symulowanych cząstek i agregatów materiału piaszczystego jest bardzo zbliżony do ich naturalnego kształtu. Kształt elementów strukturalnych materiału gliniastego (agregatów i brył) jest natomiast geometrycznie bardziej złożony, gdyż elementy te są na swej powierzchni nierówne i porowate, a ich kształt nie zawsze jest zaokrąglony. W konsekwencji, aby symulowana powierzchnia zdolna była do generowania kierunkowego odbicia spektralnego właściwego dla powierzchni gliniastych, należało tym elipsoidom nadać nierealny, wydłużony pionowo kształt.

Stopniowe zmniejszanie szorstkości powierzchni tych obu materiałów, w rzeczywistości powodowane np. przez deszcz, niszczący agregaty i zmniejszający zgrużenie gleby, jest tutaj symulowane poprzez zwiększanie względnej odległości między elipsoidami (d/a). Jak wynika ze wspomnianych wyżej badań, gleby piaszczyste o średniej szorstkości mogą być symulowane za pomocą elipsoid odległych od siebie o d/a w granicach 2,75–3, natomiast piaski o małej szorstkości za pomocą elipsoid

odległych o d/a w przedziale 4–6. Powierzchnie gliniaste o dużej szorstkości mogą być symulowane za pomocą parametru d/a w granicach 2,25–2,75, o średniej szorstkości za pomocą parametru d/a w przedziale 2,75–3, a o małej szorstkości odpowiednio za pomocą parametru d/a od 4 do 6.

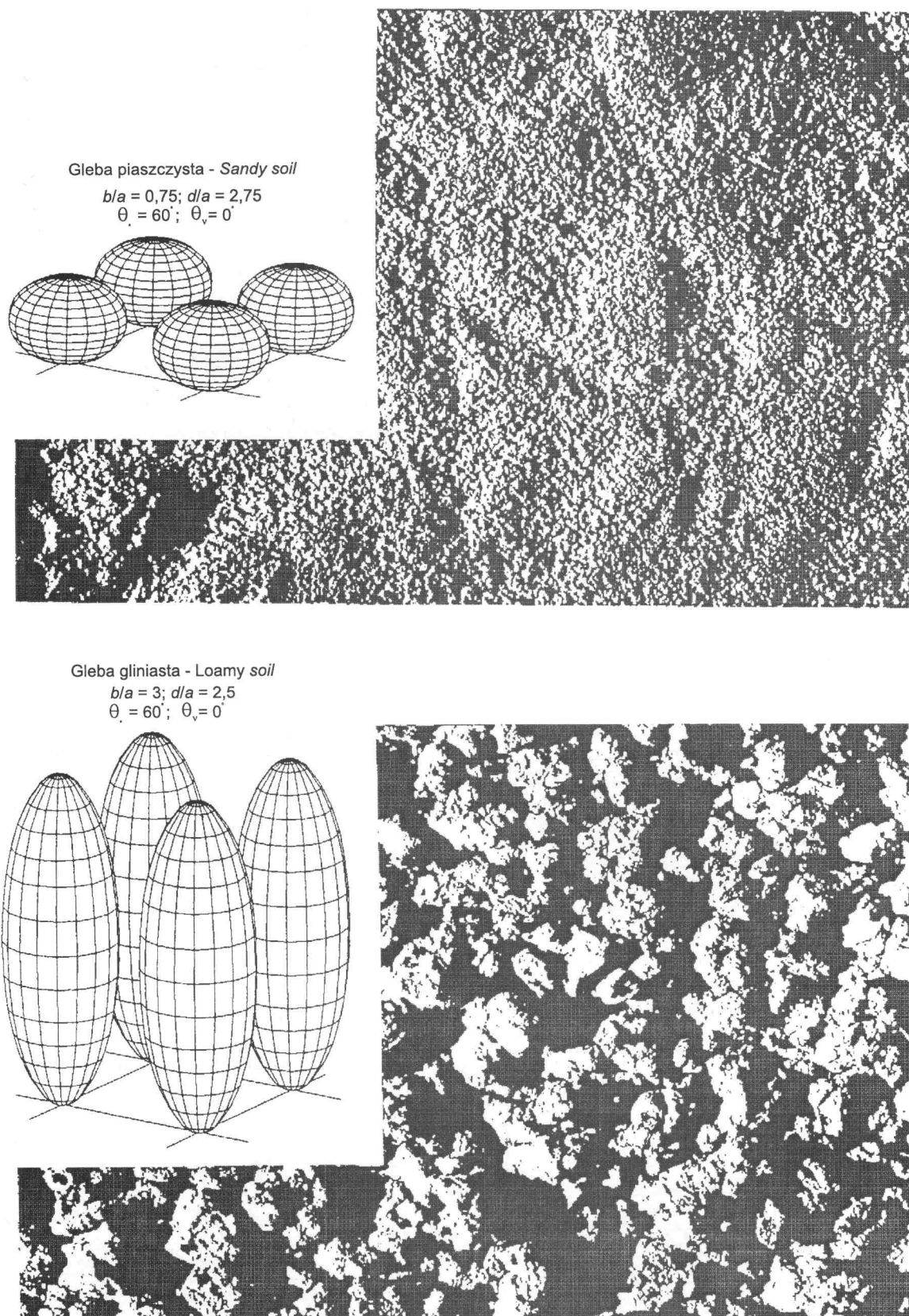
Kierunkowe odbicie spektralne od niniejszych gleb generowano przykładowo dla fal czerwonych, przy założeniu, że udział energii światła dyfuzyjnego do bezpośredniego wynosi dla nich 0,25, co odpowiada przeciętnym warunkom oświetlenia przy pogodzie bezchmurnej. Założono ponadto, że oba te materiały glebowe charakteryzuje niewysoki współczynnik zwierciadlano-dyfuzyjny $SDC = 0,03$, właściwy dla gleb uprawnych.

Zmienność względnego wskaźnika odbicia od gleby w funkcji kąta zenitalnego jej obserwacji w głównej płaszczyźnie słonecznej wyraźnie wzrasta wraz z kątem zenitalnym Słońca, tj. obniżaniem się pozycji Słońca (ryc. 4). Gleby piaszczyste wykazują znacznie mniejszą tę zmienność niż gleby gliniaste.

Przy najwyższym położeniu Słońca w Polsce, gdy θ_s wynosi około 30° , obserwując piaski skośnie pod kątem zenitalnym 50 – 60° , co odpowiada skrajnie skośnemu widzeniu satelitów serii NOAA, mogą one wydać się tylko o 20% jaśniejsze, gdy obserwujemy je z kierunków odsłonecznych w stosunku do ich widzenia w kierunku nadiru, ale tylko wtedy, kiedy są przynajmniej średnio zbrylone. Piaski o podobnej szorstkości w analogicznych warunkach obserwacji, ale oświetlone przy położeniu zenitalnym Słońca (θ_s) odpowiednio 50° i 70° , mogą się wydawać już o 80% i 100% jaśniejsze w stosunku do tych samych gleb, ale obserwowanych w kierunku nadiru.

We wspomnianych wyżej warunkach obserwacji, gleby gliniaste o dużej szorstkości, oświetlone promieniami padającymi pod kątem $\theta_s = 30^\circ$, zachowują się podobnie jak gleby piaszczyste średnio szorstkie oświetlone pod kątem $\theta_s = 50^\circ$. Gleby gliniaste o dużej i średniej szorstkości, oświetlone pod kątem $\theta_s = 50^\circ$ w omawianych warunkach obserwacji są odpowiednio 3–2 i około 2 razy jaśniejsze, gdy Słońce znajduje się za „plecami” radiometru i około 2–3-krotnie ciemniejsze, gdy są one widziane w kierunku Słońca. Gleby gliniaste o dużej i średniej szorstkości, oświetlone pod kątem $\theta_s = 70^\circ$ w tych warunkach obserwacji mogą wydawać się odpowiednio 4–5 razy i 3–2 razy jaśniejsze, gdy widzi się je z kierunków odsłonecznych oraz 2-krotnie ciemniejsze, gdy są obserwowane z przeciwnych kierunków, tj. kierunków dosłonecznych. We wszystkich analizowanych warunkach oświetlenia i obserwacji gleby gliniaste gładkie o małej szorstkości wykazują podobny rozkład odbicia względnego jak gleby piaszczyste o małej szorstkości.

Struktury geometryczne, symulujące zarówno powierzchnie piaszczyste, jak i gliniaste, osadzone zostały następnie w mikroreliefie charakterystycznym dla pól z uformowanymi bruzdami, aby przenieść zmienność względnego wskaźnika odbicia (RRF) także dla fal czerwonych w funkcji kąta zenitalnego widzenia (θ_s) przy stałych warunkach oświetlenia, a zmieniającej się azymutalnej orientacji (ϕ_s) tych bruzd (ryc. 5). Diagramy

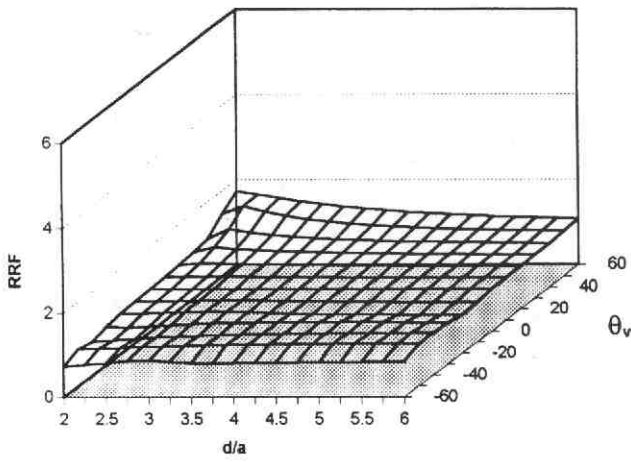


Ryc. 3. Fotografie omawianych powierzchni glebowych: piaszczystej i gliniastej oraz odpowiadające im struktury geometryczne, wykorzystane do modelowania ich kierunkowego odbicia spektralnego

Fig. 3. Photographs of the discussed soil surfaces: sandy and loamy, and the geometrical structures relating to them, used for modelling their directional reflectance

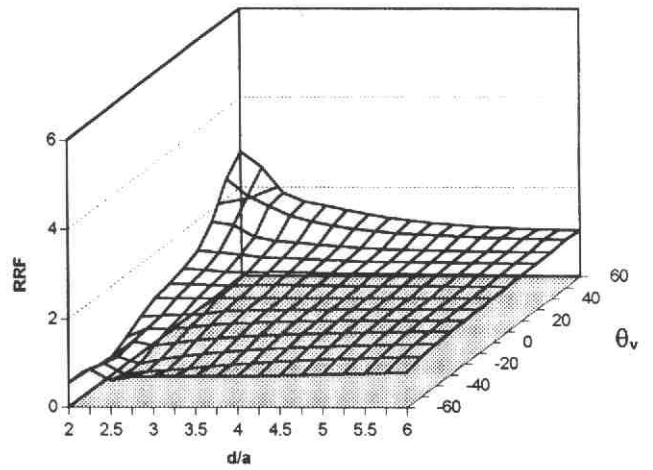
Gleba piaszczysta - Sandy soil
($b/a = 0.75$)

$\theta_s = 30^\circ$

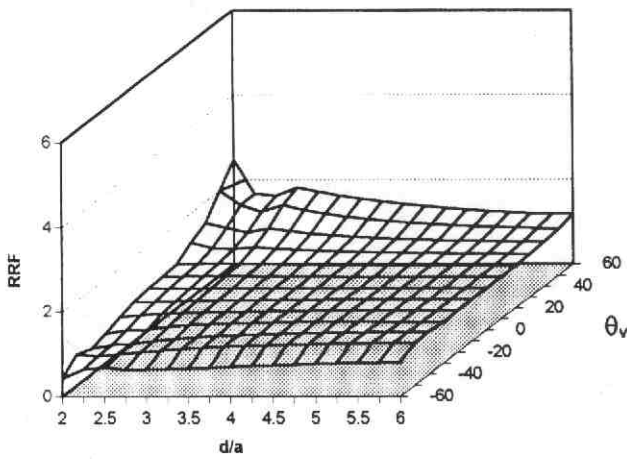


Gleba gliniasta - Loamy soil
($b/a = 2$)

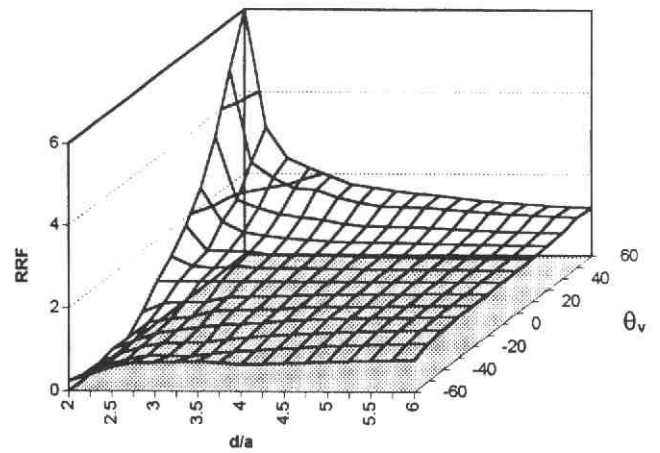
$\theta_s = 30^\circ$



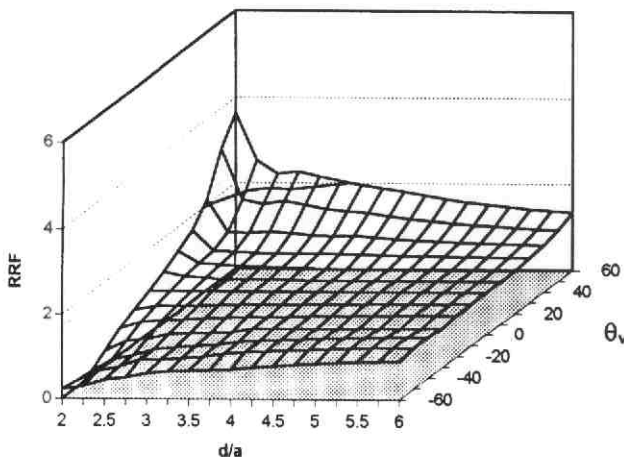
$\theta_s = 50^\circ$



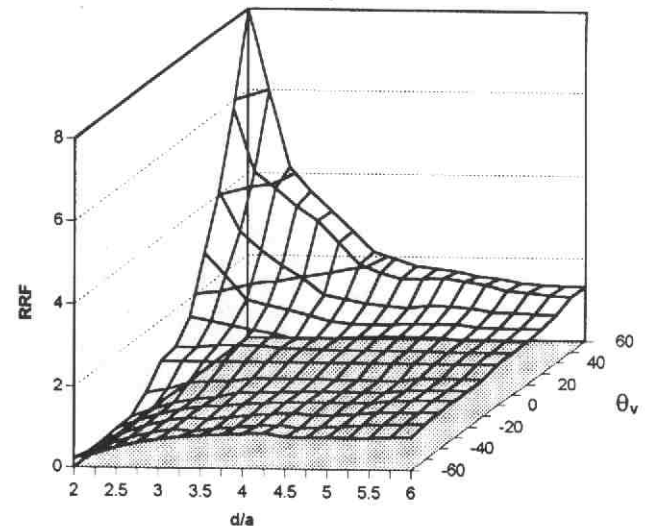
$\theta_s = 50^\circ$



$\theta_s = 70^\circ$



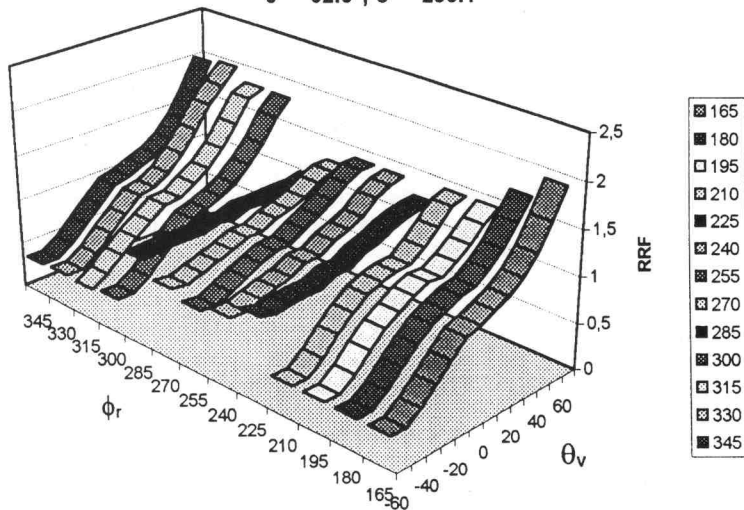
$\theta_s = 70^\circ$



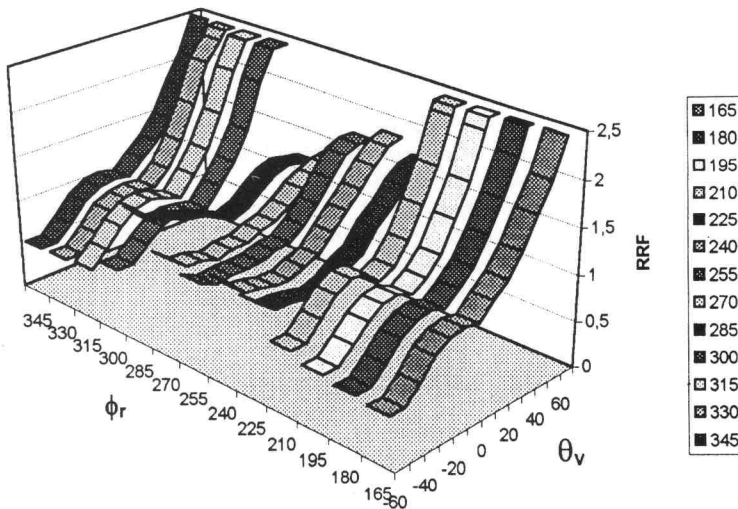
Ryc. 4. Rozkład względnego wskaźnika odbicia (RRF) omawianych gleb w funkcji kąta zenitalnego widzenia (θ_v) i zmieniającego się stanu ich szorstkości, wyrażonego parametrem d/a , generowany dla trzech kątów zenitalnych Słońca (θ_s)

Fig. 4. Distribution of the relative reflectance factor (RRF) of discussed soils in the functions of the view zenith angle (θ_v) and the roughness state described by the d/a parameter, generated for the three solar zenith angles (θ_s)

Gleba piaszczysta - Sandy soil ($b/a = 0,75$; $d/a = 2.5$)
 $\theta_s = 62.3^\circ$; $\phi_s = 253.1^\circ$



Gleba gliniasta - Loamy soil ($b/a = 2$; $d/a = 2.5$)
 $\theta_s = 62.3^\circ$; $\phi_s = 253.1^\circ$



na tym rysunku przedstawiają rozkład RRF dla brzd o stosunku ich wysokości do odległości między ich szczytami równym 0,47, oświetlonych pod kątem zenitalnym (θ_s) $62,3^\circ$ i azymutalnym (ϕ_s) $253,1^\circ$. W tych warunkach oświetlenia promienie słoneczne padają prostopadle do kierunku przebiegu brzd, gdy ich położenie azymutalne (ϕ_r) wynosi $163,1^\circ$, a padają stycznie, gdy brzdy są zorientowane pod kątem $\phi_r = 253,1^\circ$. Zmienność odbicia od tak ukształtowanej powierzchni glebowych w funkcji kąta zenitalnego Słońca jest rezultatem zarówno zróżnicowania proporcji fragmentów powierzchni bezpośrednio oświetlonych i zacienionych w polu widzenia radiometru, jak i wpływu szorstkości analizowanych powierzchni. Diagramy na rycinie 5 przedstawiają analogiczne brzdy w kształcie i orientacji oraz tak samo oświetlone falami czerwonymi, ale pokryte odpowiednio materiałem piaszczystym i gliniastym o takim samym kształcie symulowanych elipsoid

i współczynnika SDC jak poprzednio omówione powierzchnie glebowe usytuowane poziomo. Odbicie zarówno od materiału piaszczystego, jak i gliniastego, pokrywającego omawiane brzdy, generowano przy założeniu, że ich parametr $d/a = 2,5$, a udział światła dyfuzyjnego do bezpośredniego (f_{di}) wynosi 0,25.

Zmiana orientacji przebiegu symulowanych brzd bardzo wyraźnie wpływa na rozkład RRF w funkcji kąta zenitalnego widzenia (θ_v) tych powierzchni. Zmienność tego odbicia jest największa, gdy promienie słoneczne padają prawie prostopadle do przebiegu brzd ($\phi_r = 165^\circ$), a najmniejsze, gdy padają prawie stycznie ($\phi_r = 255^\circ$), co tłumaczyć można głównie proporcjami między oświetlonymi i zacienionymi fragmentami tej struktury. Gleby gliniaste również i w tej konfiguracji wykazują większe, o około 1,5 razy, zróżnicowanie odbicia w funkcji (θ_v) niż gleby piaszczyste.

Ryc. 5. Rozkład względnego wskaźnika odbicia (RRF) omawianych gleb z uformowanymi brzdami w funkcji kąta zenitalnego widzenia (θ_v) przy zmieniającym się azymutalnym kącie położenia tych brzd (ϕ_r), generowany dla stałej pozycji Słońca wyrażonej kątem zenitalnym (θ_s) i azymutalnym (ϕ_s) Słońca

Fig. 5. Distribution of the relative reflectance factor (RRF) of the furrowed soils, discussed in the paper, in the functions of the view zenith angle (θ_v) at the changing azimuth position angle (ϕ_r) of the furrows, generated for the constant position of the Sun expressed by the solar zenith (θ_s) and azimuth (ϕ_s) angles

Podsumowanie

Omówione w niniejszej pracy współzależności pomiędzy stanem szorstkości gleb a ich warunkami oświetlenia i obserwacji, generowane za pomocą odpowiedniego modelu geometrycznego, wskazują na dużą ich wagę, a zarazem na konieczność ich uwzględnienia przy interpretacji obrazu gleb, rejestrowanego z pułapu lotniczego lub satelitarnego.

Literatura

- Cierniewski J., 1987: A model for soil surface roughness influence on the spectral response of bare soils in the visible and near-infrared range. *Remote Sensing of Environment*, vol. 23, no 1, 97–115.
- Cierniewski J., 1989: The influence of the viewing geometry of bare rough soil surfaces on their spectral response in the visible and near-infrared range. *Remote Sensing of Environment*, vol. 27, no 2, 135–142.
- Cierniewski J., Courault D., 1993: Bidirectional reflectance of bare soil surfaces in the visible and near-infrared range. *Remote Sensing Reviews*, vol. 7, 321–339.
- Cierniewski J., Verbrugghe M., 1993: Geometryczny model dwukierunkowego odbicia spektralnego od gleby w zakresie widma widzialnego i bliskiej podczerwieni. *Fotointerpretacja w Geografii*, t. 23, 37–51.
- Cierniewski J., Verbrugghe M., 1994: A geometrical model of soil bidirectional reflectance in the visible and near-infrared range. *Proceedings of 6th International Measurements and Signatures in Remote Sensing*, January 17–21, 1994, Val d'Isere, France, 635–642.
- Cierniewski J., Baret F., Verbrugghe M., Jacquemoud S., Hanocq J., 1996: Geometrical modelling of soil bidirectional reflectance incorporating specular effects. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, 3691–3704.
- Cierniewski J., Verbrugghe, M., 1997: Influence of soil surface roughness on soil bidirectional reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 18, 1277–1288.
- Cooper K. D., Smith J. A., 1985: A Monte Carlo reflectance model for soil surfaces with three-dimensional structure. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1GE-23, 668–667.
- Deering D. W., Eack T. F., Otterman J., 1990: Bidirectional reflectances of selected desert surfaces and their three-parameter soil characterization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1, 52, 71–93.
- Graetz R.D., Gentle M.R., 1982: A study of the relationship between reflectance characteristics in the Landsat wavebands and the composition and structure of an Australian semi-arid rangeland. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 48, no 11, 1721–1736.
- Huete A.R., 1987: Soil and Sun angle interactions on partial canopy spectra. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 1307–1317.
- Kimes D.S., Sellar P.J., 1985: Inferring hemispherical reflectance of the Earth's surface for global energy budget from remotely sensed nadir or directional radiance values. *Remote Sensing of Environment*, vol. 18, no 3, 205–223.
- Milton E.J., Webb J.P., 1987: Ground radiometry and airborne, multispectral survey of bare soils. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 3–14.
- Norman J.M., Welles J.M., Walter E.A., 1985: Contrast among bidirectional reflectance of leaves, canopies, and soils. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1GE-23, 659–667.
- Ott W., Pfeiffer B., Quiel F., 1984: Directional reflectance properties determined by analysis of airborne multispectral scanner data and atmospheric correction. *Remote Sensing of Environment*, vol. 16, no 1, 47–54.
- Pech R.P., Graetz R.R., Davis A. W., 1986: Reflectance modeling and the derivation of vegetation indices for an Australian semi-arid shrubland. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 389–403.
- Ranson K.J., Biehl L. L., Bauer M. E., 1985: Variation in spectral response of soybeans with respect to illumination, view and canopy geometry. *International Journal of Remote Sensing*, 16, 1827–1842.



Dr hab. Jerzy Cierniewski, profesor Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu urodził się w roku 1948. W roku 1971 ukończył studia na Wydziale Melioracji Wodnych AR w Poznaniu. W 1979 roku uzyskał tam stopień doktora. Habilitował się w roku 1989. Od roku 1987 pracuje w Instytucie Geografii Fizycznej Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Jest autorem ponad 50 prac z zakresu gleboznawstwa i teledetekcji gleboznawczej. Publikował między innymi w *Remote Sensing Reviews*, *Remote Sensing of Environment*, *International Journal of Remote Sensing*, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* oraz w *International Agrophysics*.

Instytut Geografii Fizycznej UAM, Fredry 10, 61-701 Poznań.