

FOTOINTERPRETACJA W GEOGRAFII 23



**JERZY CIERNIEWSKI
MICHEL VERBRUGGHE***

GEOMETRYCZNY MODEL DWUKIERUNKOWEGO ODBICIA SPEKTRALNEGO OD GLEBY W ZAKRESIE WIDMA WIDZIALNEGO I BLISKIEJ PODCZERWIENI**

A GEOMETRICAL MODEL OF SOIL BIDIRECTIONAL REFLECTANCE
IN THE VISIBLE AND NEAR-INFRARED RANGE

WSTĘP

Dla opracowania doskonalszych metod interpretacji gleb, wykorzystujących materiały pozyskiwane z pułapu lotniczego (Cierniewski, 1988; Deering i in., 1990), jak i satelitarnego (Deering i in., 1990; Singh, 1988), niezbędne jest głębsze zrozumienie mechanizmu dwukierunkowego odbicia spektralnego od powierzchni gleb. Odbicie od gleby nie przykrytej roślinnością w zakresie widma widzialnego i bliskiej podczer-

* Dr hab. Jerzy Cierniewski, Instytut Geografii Fizycznej Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Zakład Teledetekcji Środowiska Antropogenicznego, ul. Fredry 10, 61-701 Poznań.

Dr Michel Verbrugghe, INRA, Station de Bioclimatologie, Centre de Recherches d'Avignon, B.P. 91 84143 Montfavet, Francja.

** Badania realizowano w ramach stypendium francuskiego Ministerstwa Badań Naukowych i Technologii.

wieni rozważane jest głównie jako tło dla odbicia spektralnego od roślinności (Bartlett i in., 1986; Brennan i Bandeen, 1970; Curran, 1985; Deering i in., 1990; Eaton i Dirmhirn, 1979; Foody, 1988; Huete, 1987; Kriebel, 1976; Milton i Webb, 1987; Ott i in., 1984).

Dane teledetekcyjne odnoszące się zarówno do gleb, jak i roślinności wykazują cechy obiektów nielambertowskich. Powierzchnia gleby wydaje się jaśniejsza, gdy obserwator widzi minimum jej zacienionych fragmentów. Ma to miejsce w sytuacji, gdy Słońce jest za plecami obserwatora. Taki rozkład odbicia spektralnego gleby przedstawiony został w pracy Kimesa i Sellersa (1985), opierających swoje badania na pomiarach odbicia spektralnego gleb w widmie widzialnym i bliskiej podczerwieni dokonanych przy 41 różnych położeniach radiometru. Milton i Webb (1987) prezentują wyniki pomiarów naziemnych odbicia spektralnego gleb ornich, podkreślając asymetrię poziomu tego odbicia w stosunku do kierunku nadirowego obserwacji. Zauważyli oni, że odbicie spektralne gleby rośnie wraz ze wzrostem kąta zenitalnego obserwacji, gdy sensor ma Słońce „za sobą”. Zauważyli także, że pik odbitego promieniowania słonecznego maleje wraz ze spadkiem kąta zenitalnego Słońca. Podobnie prezentują Ott i in. (1984), którzy analizowali kierunkowe odbicie od gleby za pośrednictwem wielokanałowego radiometru lotniczego.

Odbicie spektralne powierzchni glebowych, generowane przez większość istniejących modeli, ma właśnie taki charakter z wyraźnym maksimum występującym w zakresie obserwacji odsłonecznej przy kącie zenitalnym obserwacji, odpowiadającym liczbowo kątowi zenitalnemu Słońca. Model Norman a i in. (1985), symulujący zbryloną powierzchnię gleby za pomocą prostopadłościaków leżących na poziomej powierzchni, zakłada, że wpływ zacienienia powodowanego przez agregaty glebowe jest znacznie silniejszy od anizotropowo rozpraszających właściwości najmniejszych cząstek glebowych frakcji ilastej. Im mniejsze zacienienie, tym wyższe odbicie spektralne od symulowanej powierzchni. Model Coopera i Smitha (1985) opracowany dla przeanalizowania wpływu szorstkości gleby nie pokrytej roślinnością zakłada, że powierzchnia gleby w mikroskali zachowuje się jak idealnie rozpraszające ciało, przy czym prawdopodobieństwo rozproszenia energii w określonym kierunku zależy od zorientowania powierzchni cząstek glebowych względem padającego na nie promieniowania słonecznego. Model Hepke'go, wykorzystany przez Pinty'ego i in. (1989), opisuje powierzchnię gleby jako środowisko złożone z cząstek powodujących równomierne rozproszenie padającej na nie energii. Odbicie spektralne określa 5 parametrów fizycznych nie związanych bezpośrednio z szorstkością powierzchni gleby. Model Ironsa i in. (1992) przedstawia strukturę gleby jako powierzchnię złożoną z nieprzezroczystych kul regularnie ułożonych na płaszczyźnie poziomej. Oświetlają ją promienie słoneczne bezpośrednio na nią padające oraz promieniowanie rozproszone nieba. Powierzchnia tych kul, jak i płaszczyzna pozioma — to powierzchnie idealnie rozpraszające fale

elektromagnetyczne. Model ten zakłada, że poziom odbicia spektralnego w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni od powierzchni gleby jest redukowany przez jej zacienienie związane z położeniem Słońca i sensora. Zależy on również od udziału światła rozproszonego w jej oświetleniu, co wiąże się z długością fal.

Modelowane zależności pomiędzy poziomem odbicia spektralnego gleb o określonej szorstkości a parametrami ich oświetlenia i obserwacji, umożliwią odpowiednią korekcję glebowych danych teledetekcyjnych, ułatwiając następny etap analizy tych danych, tj. klasyfikację gleb. Te zależności są szczególnie ważne w przypadku danych rejestrowanych za pomocą skanerów „widzących” powierzchnię gleby pod dużym kątem zenitalnym (Barnsley, 1984; Foody, 1988; Kowalik i in., 1982; Royer i in., 1985). Nielambertowskie odbicie od powierzchni gleb tłumaczy się obecnością agregatów glebowych, brył i pewnych form jej mikroreliefu, powodujących zacienienie gleb, istotnie zmieniające rozkład odbicia spektralnego (Cierniewski, 1987; Cooper i Smith, 1985; Graetz i Gentle, 1982; Huete, 1987; Milton i Webb, 1987; Norman i in., 1985; Pech i in., 1986; Ranson i in., 1985).

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie matematycznego modelu, opisującego odbicie spektralne gleby w głównej płaszczyźnie słonecznej w zakresie widma widzialnego i bliskiej podczerwieni. Jest to udoskonalona wersja wcześniejszego modelu (Cierniewski, 1989).

METODY BADAŃ

Model

Model zakłada, że energia odbitego promieniowania widzialnego i bliskiej podczerwieni od gleby zależy tylko od samozacienienia tej powierzchni. Naturalnie zbrylona powierzchnia gleby symulowana jest przez równej wielkości elipsoidy o promieniu poziomym (a) i pionowym (b), leżące na dowolnie nachylonej płaszczyźnie w węzłach siatki kwadratów o boku d . Geometria tej struktury charakteryzowana jest dwoma parametrami:

1) RF — wyrażającym udział pola powierzchni elipsoidy w rzucie równoległym do powierzchni stoku gleby w jednostkowym kwadracie powierzchni:

$$RF = \pi a^2 / d^2;$$

2) SP — opisującym względny kształt elipsoidy jako:

$$SP = b/a.$$

W warunkach naturalnych wartość RF ustala się jako stosunek pola powierzchni agregatów i brył w rzucie jak wyżej w jednostkowym polu powierzchni.

Struktura ta, nachylona pod kątem γ , w kierunku dosłonecznym lub odsłonecznym, jest oświetlona promieniami słonecznymi, padającymi pod kątem zenitalnym θ_s . Współczynnik samozacienienia modelowanej powierzchni gleby (SC), podobnie jak analogiczny współczynnik odnoszący się do naturalnie zbrylonej powierzchni gleby, definiowany jest jako stosunek pola powierzchni zacienionych fragmentów tej powierzchni (A_s) do pola jednostkowego (A_u) w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku obserwacji:

$$SC_{(RF, SP, \gamma, \theta_s, \theta_v)} = A_s / A_u; A_u = d^2 \cos(\theta_v - \gamma);$$

gdzie θ_s — kąt zenitalny obserwacji i $d = a(\pi/RF)^{1/2}$.

Współczynnik ten jest obliczany analitycznie za pomocą układu równań trygonometrycznych, odnoszących się do układu współrzędnych o środku położonym na szczycie jednej z elipsoid. Obliczenie SC tak symulowanej powierzchni gleby jest pierwszym etapem niniejszego modelowania.

W drugim etapie oblicza się zmniejszony poziom odbitego promieniowania od gleby (Fr), wynikający z jej samozacienienia określonego współczynnikiem SC . Zakłada się, że Fr określa funkcja wykładnicza postaci:

$$Fr = \exp(-r_s SC);$$

gdzie r_s — współczynnik zależny od jasności gleby i ilości światła rozproszonego w całej energii świetlnej docierającej do gleby. Fr wyraża odbicie spektralne gleby o określonym zbryleniu, będącej w określonych warunkach oświetlenia i obserwacji w stosunku do odbicia od tej samej gleby w tych samych warunkach oświetlenia, ale wygładzonej, pozbawionej zbrylenia.

W trzecim etapie obliczeń współczynnik Fr , określający rozkład odbitego promieniowania w głównej płaszczyźnie słonecznej w funkcji kąta zenitalnego obserwacji, zamieniony jest na wskaźnik odbicia FR , definiowany jako stosunek luminacji gleby obserwowanej pod określonym kątem zenitalnym do luminacji tej samej gleby, znajdującej się w tych samych warunkach oświetlenia, lecz obserwowanej z nadiru.

Pomiary

Działanie modelu sprawdzono za pomocą danych radiometrycznych pomierzonych na polu testowym La Crau, położonym w południowej Francji na równinie aluwialnej Rodanu, 40 km na południe od Avignon, 25 km na południowy-wschód od Arle i około 15 km na północ od Morza Śródziemnego. Teren ten, w tym miejscu pokryty jest bardzo licznymi otoczkami, przeciętnie o średnicy kilku cm. Niewielkie przestrzenie między tymi otoczkami wypełnia skąpa naturalna roślinność trawiasta. Obszar ten użytkowany jest ekstensywnie jako zimowe pastwiska dla owiec.

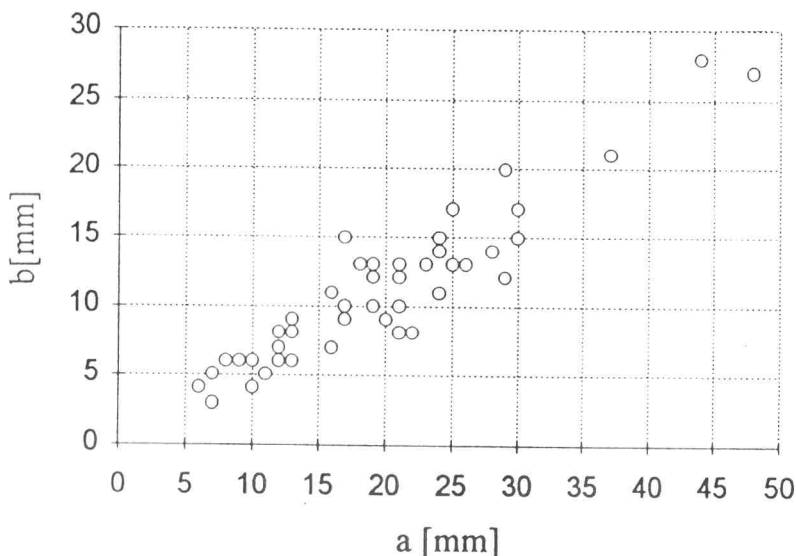
Dane spektralne mierzono za pośrednictwem 3-kanalowego radiometru polowego CIMEL, symulującego w następujących przedziałach kanały HRV satelity SPOT: SX1 (0,50-0,59 μm), SX2 (0,61-0,68 μm) i SX3 (0,79-0,89 μm).

Radiometr ten umocowany do specjalnego ramienia, pozwalającego na zmianę jego położenia zenitalnego co 10° w granicach od -70° (radiometr usytuowany 20° ponad horyzontem i w głównej płaszczyźnie słonecznej [SPP] „patrzy” pod Słońce), poprzez 0° (nadir) do $+70^\circ$ (radiometr położony 20° ponad horyzontem w SPP ma Słońce za sobą). Instrument ten, o polu widzenia 12° , zmieniając swoje położenie zenitalne w głównej płaszczyźnie słonecznej, wycelowany był stale w ten sam punkt odległy od aparatu o 2 m. Rejestrował on energię odbitą z kolistej powierzchni gleby o aerale $0,14 \text{ m}^2$, gdy znajdował się w nadirze, i eliptycznej, o powierzchni $0,44 \text{ m}^2$, gdy obserwował glebę pod kątem zenitalnym 70° .

Jednocześnie z dokonywaniem pomiarów radiometrycznych, fotografowano badaną powierzchnię. Aparat fotograficzny, umieszczony na wspomnianym ramieniu obok radiometru, pozwolił na dokładne odnotowanie zmieniającej się w polu widzenia radiometru powierzchni gleby. Zdjęcia te, w formie przezroczy, pozwoliły także na stwierdzenie, przy jakich położeniach Słońca i radiometru, przyrząd ten „widział” swój cień na glebie.

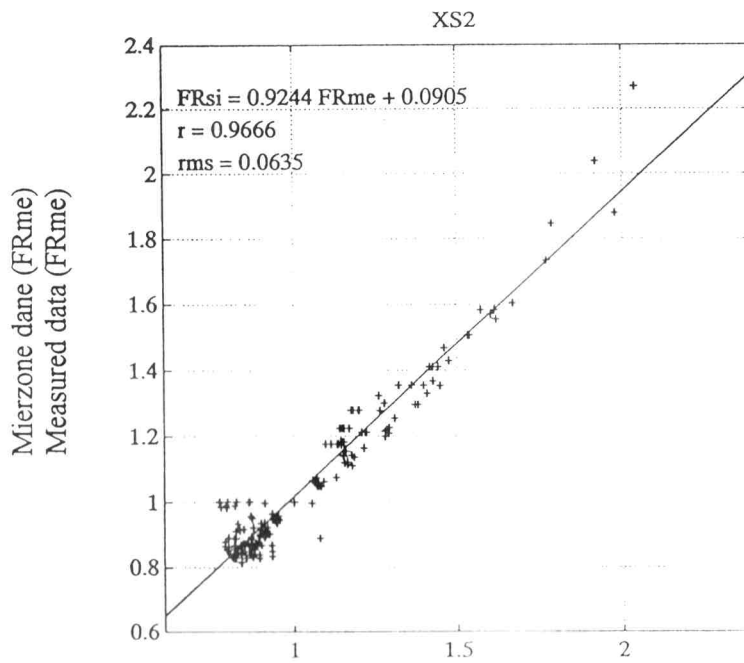
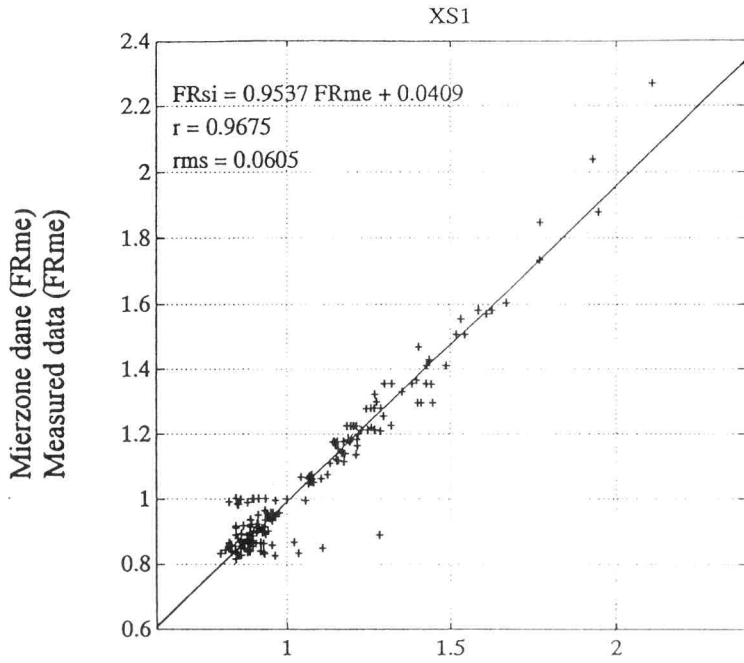
Wyniki

Przeciętny wskaźnik szorstkości badanej powierzchni (RF), mierzony na zdjęciach wykonanych przy położeniu radiometru w nadirze, wyniósł $0,56$, a średnia odległość między otoczkami (d/a) — $2,37$. Kształt otoczek mieszczących się w polu widzenia radiometru, usytuowanego w nadirze, scharakteryzowano na ryc. 1. Ich przeciętny parametr kształtu (SP) określono na $0,56$.

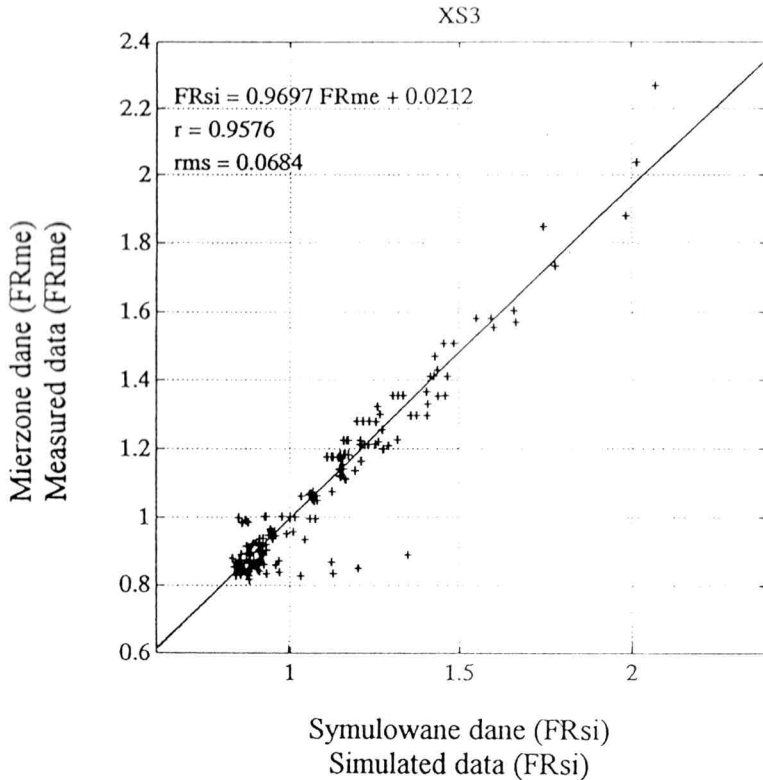


Ryc. 1. Kształt otoczek w polu widzenia radiometru usytuowanego w nadirze, charakteryzowanych ich poziomym (a) i pionowym (b) promieniem

Fig. 1. Shape of pebbles situated within the radiometer field-of-view at the nadir, characterized by their horizontal (a) and vertical (b) radius



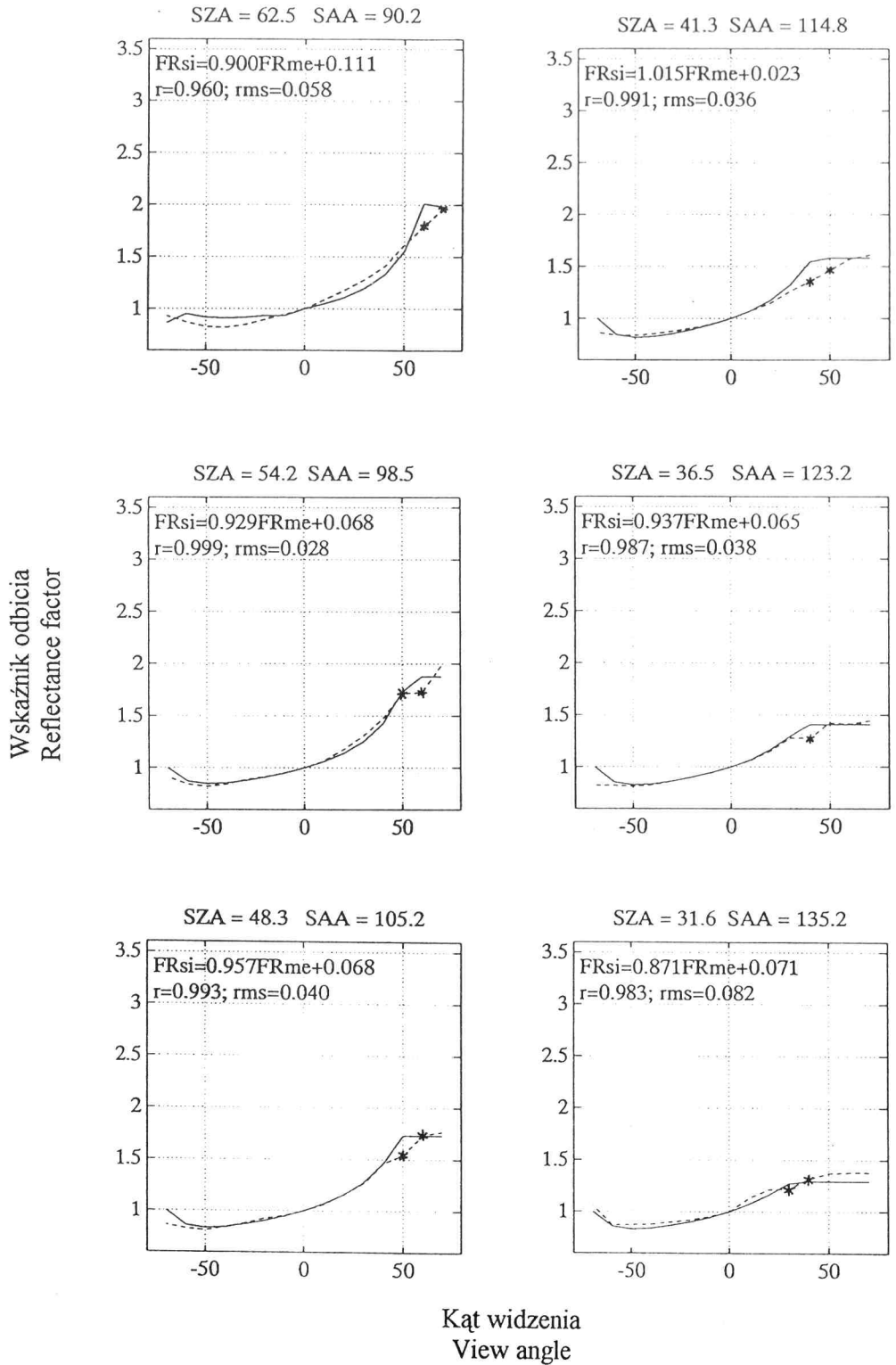
Symulowane dane (FRsi)
Simulated data (FRsi)



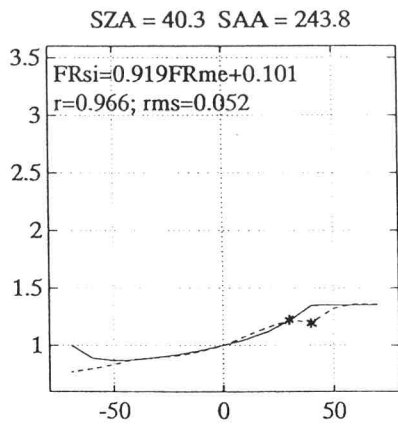
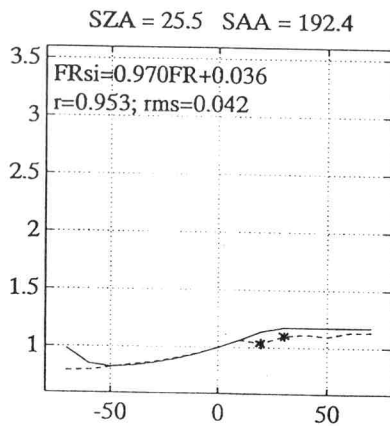
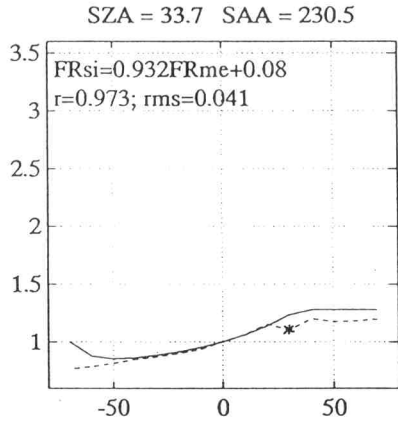
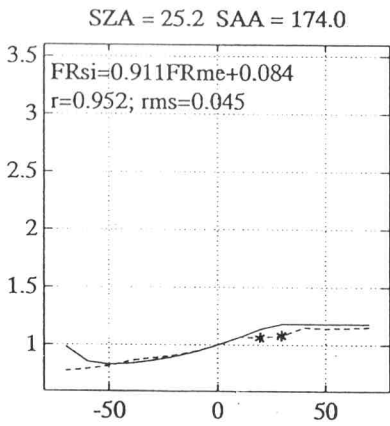
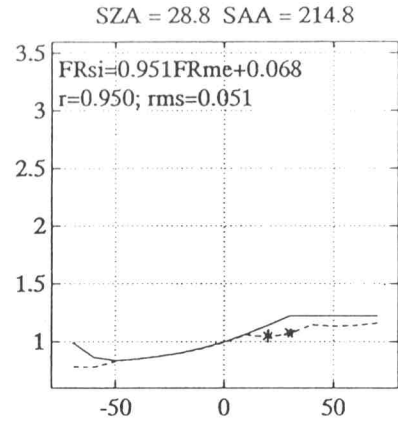
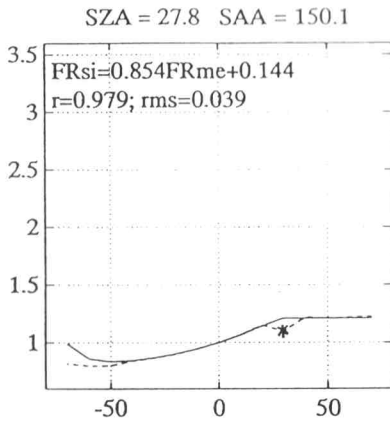
Ryc. 2. Zależność pomiędzy mierzonymi i modelowanymi wskaźnikami odbicia gleb dla długości fal odpowiadających trzem kanałom (SX1, SX2 i SX3) radiometru CIMEL

Fig. 2. Relationship between measured and predicted soil reflectance factors for wavelengths corresponding to the three (SX1, SX2 and SX3) channels of the CIMEL radiometer

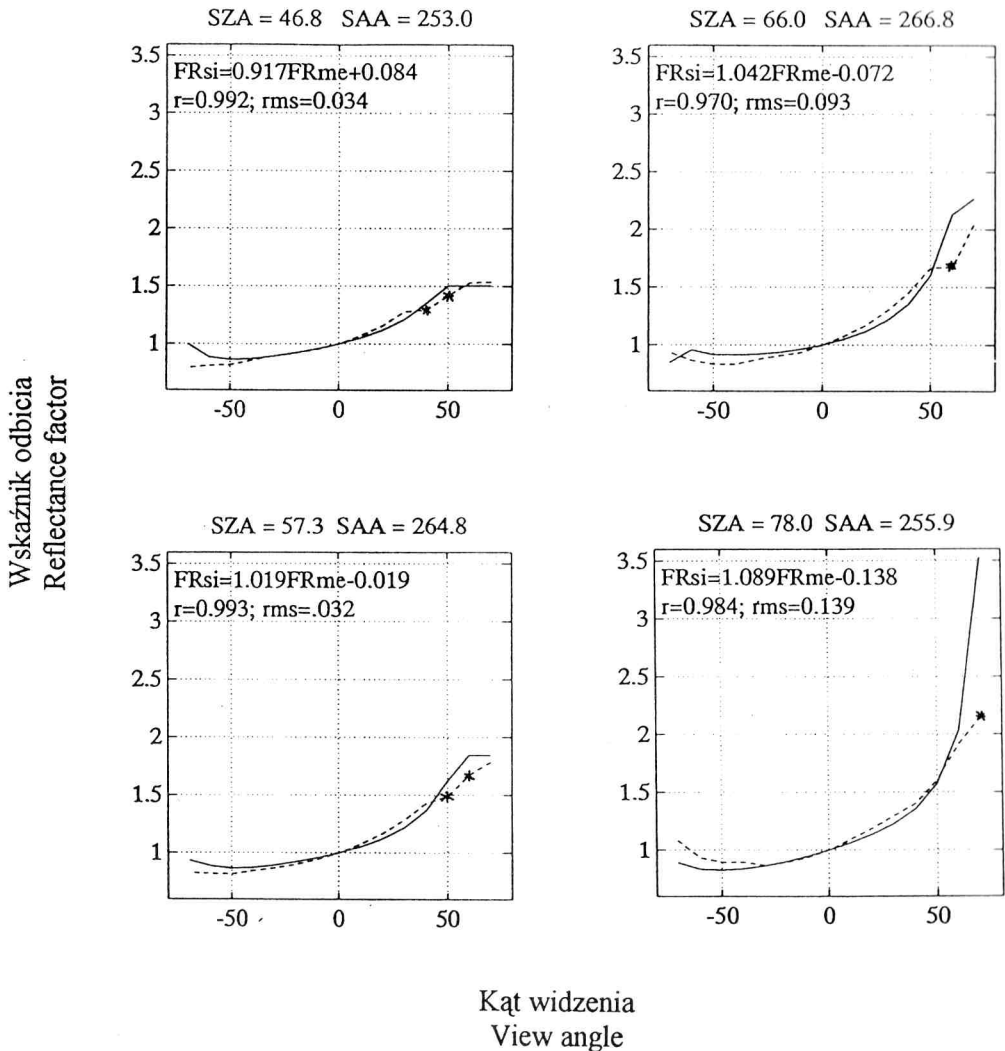
Poprawność działania modelu testowano w oparciu o glebowe dane radiometryczne, pomierzone na wspomnianej powierzchni przed południem i po południu 14 maja 1992 roku. Wykorzystano dane zarejestrowane przy 24 różnych położeniach zenitalnych Słońca (ZSA), zawartych pomiędzy $25,2^\circ$ a $81,7^\circ$. Dane te pomierzono w głównej płaszczyźnie słonecznej oraz płaszczyźnie do niej prostopadłej. W ocenie tej posłużono się analizą regresji liniowej, ustalając dla wyżej wymienionych danych oraz odpowiadającym im danym symulowanym za pomocą modelu, współczynnik korelacji (r) oraz średnie odchylenie standardowe ($rmsq$) oddzielnie dla trzech wymienionych kanałów użytego radiometru. Z analizy tej wyeliminowano takie pary danych pomierzonych i modelowanych, które odpowiadały sytuacjom, kiedy radiometr „widział” swój cień na glebie. Generowanie wskaźników odbicia spektralnego od gleby wymagało oprócz znajomości parametrów szorstkości danej powierzchni (RF i SP) również oszacowania wartości r_s . Uzyskano ją przez dopasowanie do modelu takich wartości r_s , które zapewniają w stosunku do pomierzonych wartości wskaźnika odbicia FR najmniejsze średnie odchy-



Wskaźnik odbicia
Reflectance factor



Kąt widzenia
View angle



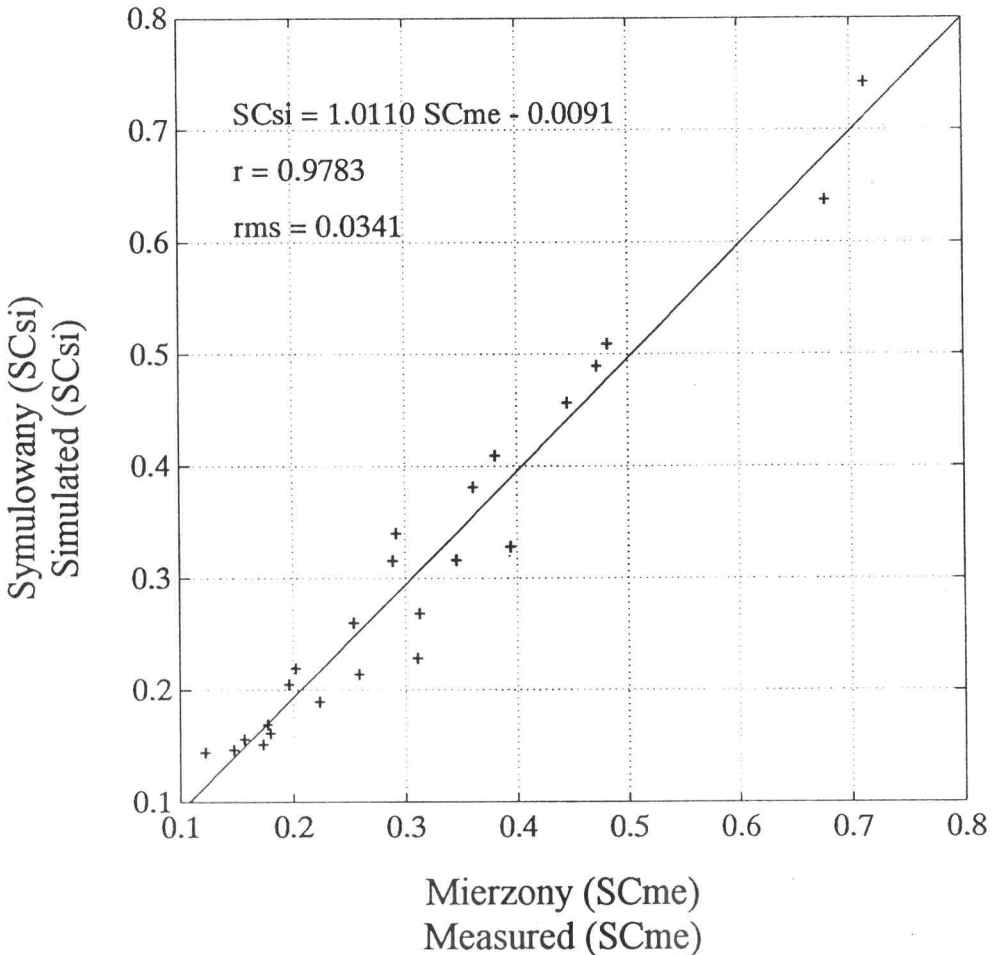
Ryc. 3. Krzywe odbicia spektralnego gleb w głównej płaszczyźnie słonecznej, modelowane (linia ciągła) i mierzone (linia przerywana) w kanale SX2, dla wybranych kątów zenitalnych Słońca (SZA). SAA — kąt azymutalny Słońca; * — dane odbicia zarejestrowane w warunkach, kiedy radiometr rzutuje swój cień na obserwowanej powierzchni

Fig. 3. Reflectance curves along the solar principle plane for the channel SX2 predicted by the model (solid line) and that measure (dashed line) for selected solar zenith angles (SZA). SAA is the solar azimuth angle; * — measured reflectance data collected in conditions when the radiometer casts a shadow on the observed surface

lenia standardowe oraz najwyższe współczynniki korelacji. Podstawiając metodą prób wartości r_s , określono ten parametr dla wszystkich kanałów radiometru na 1,6, niezależnie od kąta zenitalnego Słońca. Porównując pomierzone dane radiometryczne z ostatecznie wygenerowanymi danymi za pomocą prezentowanego modelu, uzyskano w poszczególnych kanałach radiometru (dla 332 par danych FR) współczynniki korelacji przekraczające 0,96 i średnie odchylenie standardowe nie przekraczające 0,07 (ryc. 2).

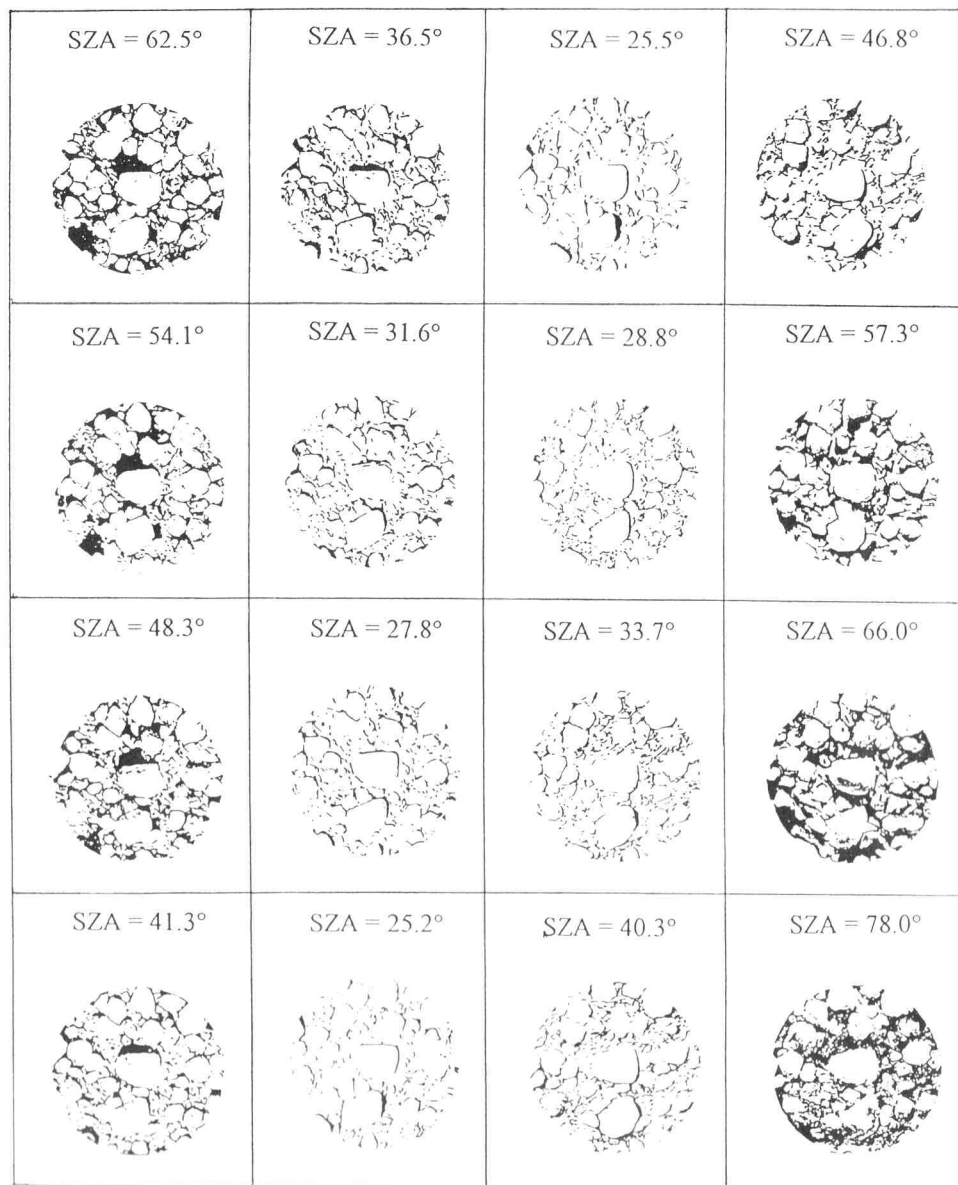
Symulowane krzywe odbicia spektralnego testowanej powierzchni w głównej płaszczyźnie słonecznej na tle odpowiadających im pomierzonych krzywych w kanale SX2, określonych dla 16 wybranych kątów zenitalnych Słońca przedstawia ryc. 3. I tu nie uzyskano współczynnika korelacji niższego od 0,95, a średnie odchylenie standardowe przy najniższym położeniu Słońca (SZA = 78°) nie było wyższe od 0,14.

Komputerowa analiza obrazu zdjęć wykonanych w trakcie pomiarów radiometrycznych pozwoliła ustalić relację pomiędzy rzeczywistą powierzchnią zacienionych fragmentów badanej powierzchni, wyrażoną współczynnikiem samozacienienia (SC) gleby, a powierzchnią przewidywaną przez model dla przyjętych parametrów szorstkości gleby oraz kątów określających położenie Słońca i radiometru. Ryc. 4 przedstawia zależności te w odnie-



Ryc. 4. Relacja pomiędzy mierzonym i przewidywanym za pomocą modelu współczynnikiem samozacienienia gleb (SC) w polu widzenia radiometru usytuowanego w pozycji nadirowej
 Fig. 4. Relationship between the shadowing coefficient (SC), measured and predicted, within the radiometer field-of-view at the nadir.

sieniu do położenia nadirowego radiometru. Ryc. 5 pozwala ocenić rzeczywistą zmienność współczynnika samozacienienia gleby w polu widzenia radiometru usytuowanego w nadirze, określonego dla tych samych kątów zenitalnych Słońca, dla których przedstawiono (na ryc. 3) krzywe odbicia spektralnego.



Ryc. 5. Testowana powierzchnia glebowa w polu widzenia radiometru CIMEL, usytuowanego w pozycji nadirowej, przy zmieniającym się kącie zenitalnym Słońca (SZA)

Fig. 5. The tested soil surface at the nadir in the field-of-view of CIMEL radiometer at changing solar zenith angles (SZA)

Zakończenie

Poprawność rozkładu odbicia spektralnego gleb w funkcji kąta zenitalnego obserwacji testowano na nietypowej glebie, gdzie nieregularności jej powierzchni powodowane były głównie obecnością otoczków, a nie zbryleniem, czy zgrużeniem materiału drobniejszego. Kształt tych otoczków, bardziej regularny i zaokrąglony niż naturalnych brył glebowych, pozwolił na stosunkowo precyzyjne modelowanie geometrii powierzchni takiej gleby za pomocą przyjętych parametrów szorstkości. Nie uwzględniono w tym modelu bezpośredniego wpływu geometrii powierzchni gleby na jej odbicie spektralne, tj. zależności pomiędzy kątem padania promieni a kątem nachylenia powierzchni w określonym miejscu symulowanej powierzchni gleby. Ograniczono się tylko do opisu pośredniego wpływu tej geometrii na odbicie spektralne gleby poprzez jej samozacienienie.

Przedstawiony tutaj model w przeciwieństwie do innych modeli geometrycznych (Norman i in., 1985; Irons i in., 1992) generuje odbicie spektralne od gleby za pomocą mierzonych parametrów szorstkości jej powierzchni. Oszacowania wymaga tylko współczynnik r_s opisujący relację między współczynnikiem samozacienienia (SC) a zredukowanym poziomem odbicia powodowanym przez to zacienienie (Fr).

Pomiary radiometryczne przeprowadzone na jednej powierzchni o stałej szorstkości pozwoliły na pozytywną ocenę czułości działania modelu w zakresie zmieniających się warunków oświetlenia i obserwacji gleby. Sprawdzenie jego działania w kontekście zmieniającej się szorstkości powierzchni gleby wymaga innych specjalnie przygotowanych eksperymentów polowych.

Podziękowanie. Autorzy serdecznie dziękują Jean Hanocq za pomoc w pomiarach polowych.

LITERATURA

- Barnsley M.J., 1984: *Effects of off-nadir view angles on the detected spectral response of vegetation canopies*. International Journal of Remote Sensing, T. 15, str. 715-728.
- Bartlett D.S., Johnson R.W., Hardisky M.A., Klemas V., 1986: *Assesing impacts of off-nadir observation on remote sensing of vegetation: use of the Suits model*. International Journal of Remote Sensing, T. 17, str. 247-264.
- Brennan B., Bandeen W.R., 1970: *Anisotropic reflectance characteristics of natural Earth surfaces*. Applied Optics, T. 19, str. 405-412.
- 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, str. 97-115.
- Cierniewski J., 1988: *Modelling of the reflectance contrast between soils under unlimited soil moisture, roughness and illuminations*. Proceedings 5th Symposium of the ISSS Working Group on Remote Sensing for Soil Survey, Budapest, Hungary, 1988, str. 166-171.

- 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, str. 135-142.
- Cooper K.D., Smith J.A., 1985: *A Monte Carlo reflectance model for soil surfaces with three-dimensional structure*. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1GE-23, str. 668-673.
- Curran P.J., 1985: *Earth surface interactions with electromagnetic radiation*. W: *Principles of Remote Sensing*, Longman, London and New York.
- 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, str. 71-93.
- Eaton F.D., Dirmhirn I., 1979: *Reflected irradiance indicatrices of natural surfaces and their effect on albedo*, Applied Optics, 118, str. 994-1003.
- Foody G.M., 1988: *The effects of viewing geometry on image classification*. International Journal of Remote Sensing, T. 19, str. 1909-1915.
- Graetz R.D., Gentle M.R., 1982: *The relationships between reflectance in the Landsat wavebands and the composition of an Australian semi-arid shrub rangeland*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 48, No. 11, str. 1721-1736.
- Huete A.R., 1987: *Soil and Sun angle interactions on partial canopy spectra*. International Journal of Remote Sensing, T. 18, str. 1307-1317.
- Irons J.R., Campbell G.S., Norman J.M., Graham D.W., Kovalick W.M., 1992: *Prediction and measurement of soil bidirectional reflectance*. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 30, 2, str. 249-260.
- Kimes D.S., Sellers 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, str. 205-223.
- Kowalik S., Marsh S.E., Lyon R.J., 1982: *A relation between Landsat digital numbers, surface reflectance, and teh cosine of the solar zenith angle*. Remote Sensing of Environment, Vol. 12, No. 1, str. 39-55.
- Kriebel K.T., 1976: *On the variability of the reflected radiation field due to differing distributions of the irradiation*. Remote Sensing of Environment, Vol. 4, No. 4, str. 257- 264.
- Milton E.J., Webb J.P., 1987: *Ground radiometry and airborne, multispectral survey of bare soils*. International Journal of Remote Sensing, T. 18, str. 3-14.
- Norman J.M., Welles J.M., Walter E.A., 1985: *Contrast among bidirectional reflectance of leaves, canopies, and soils*. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1GE-23, str. 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, str. 47-54.
- Pech R.P., Graetz R.R., Davis A.W., 1986: *Reflectance modelling and the derivation of vegetation indices for an Australian semi-arid shrubland*. International Journal of Remote Sensing, T. 17, str. 389-403.
- Pinty B., Verstraete M.M., Dickinson R.E., 1989: *A physical model for predicting bidirectional reflectances over bare soils*. Remote Sensing of Environment, Vol. 27, No. 3, str. 273-288.
- 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, T. 16, str. 1827-1842.
- Royer A., Pierre V., Bonn F., 1985: *Evaluation and correction of viewing angle effects on satellite measurements of bidirectional reflectance*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, No. 12, str. 1899-1914.
- Singh S.M., 1988: *Lowest order correction for solar zenith angle to global vegetation index (GVI) data*. International Journal of Remote Sensing, T. 19, str. 1565-1572.

Summary

A mathematical model dealing with the influence of soil surface roughness, solar illumination and the viewing of soil surface on soil reflectance in the visible and reflective near-infrared range is discussed. It is a further improvement of the previous model (Cierniewski, 1989). The model is based on the assumption that reflectance from anisotropic rough soil surfaces is strongly correlated with the area of shadowed soil surface essentially reducing energy leaving the surface. Spheroids, characterized by their horizontal and vertical radii, lying on the horizontal surface at a given distance, simulate the soil surface. The model was tested using bidirectional reflectance data acquired on a bare field of alluvial plain of the Rhone river located 15 km north of the Mediterranean Sea. A linear regression analysis shows that the difference between the predicted and measured reflectance factors, characterized by the relative root mean square, was less than 0.07 for three channels of the CIMEL radiometer simulating the SPOT (HRV) bands.

Maszynopis złożono w redakcji: 1993.04.15

FOTOINTERPRETACJA
W GEOGRAFII

Wyspecjalizowane czasopismo
poświęcone problemom
teledetekcji środowiska

*Już teraz zamów kolejny
24 tom
tego periodyku!*

ul. Krakowskie Przedmieście 30,
00-927 Warszawa
tel. 200-381 wew. 654; 26-17-94