



Sławomir Królewicz

**OBRAZ POWIERZCHNI PIASZCZYSTYCH NA ZDJĘCIACH
LOTNICZYCH W ZMIENIAJĄCYCH SIĘ WARUNKACH
ICH OŚWIETLENIA I OBSERWACJI**

**THE IMAGE OF SAND SURFACE ON AIR PHOTOS
IN VARYING VIEWING AND OBSERVING CONDITIONS**

*Uniwersytet im. A. Mickiewicza Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania
Środowiska Przyrodniczego, Zakład Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb
Adam Mickiewicz University, Institute of Physical Geography and Environmental
Planning, Department of Soil Science and Remote Sensing of Soils*

STRESZCZENIE. W niniejszej pracy zaprezentowano wyniki badań nad wpływem dwukierunkowego odbicia spektralnego na jasność wydmowych powierzchni piaszczystych odfotografowanych w zmieniających się warunkach oświetlenia i obserwacji. Jasność powierzchni badawczych wyrażano gęstością optyczną mierzoną za pomocą skanera poligraficznego na negatywach zdjęć lotniczych. Przed analizą skorygowano wpływ ziarnistości filmu i układu optycznego kamery lotniczej. Zmienność jasności powierzchni piaszczystych scharakteryzowano za pomocą odpowiednio dopasowanych funkcji matematycznych.

SŁOWA KLUCZOWE: Dwukierunkowe odbicie spektralne, piasek wydmy, zdjęcia lotnicze, gęstość optyczna

1. WSTĘP

Dane teledetekcyjne o obiektach położonych na powierzchni Ziemi pozyskiwane są w różnych warunkach oświetlenia i obserwacji. Porównywanie takich danych powinno być wykonane po ich normalizacji. Do przeprowadzenia takiej standaryzacji danych niezbędna jest znajomość ilościowej charakterystyki wpływu poszczególnych czynników modyfikujących jasność obiektów. W literaturze większość prac, w których omawiano przyczyny różnicujące odbite promieniowanie elektromagnetyczne lub stosowano metody korygujące ich wpływ na jasność obrazu, dotyczy danych teledetekcyjnych pozyskanych za pomocą sensorów cyfrowych, głównie za pomocą satelitów Landsat, SPOT i NOAA (Muller, 1993; Duggin i Ribinowe, 1990; Franklin i Giles 1995; Chopping 2000). Według Becker'a i Nerry'ego. (1988) zdjęcia lotnicze wykorzystywano głównie do klasycznej interpretacji lub w fotogrametrii. W analizie radiome-

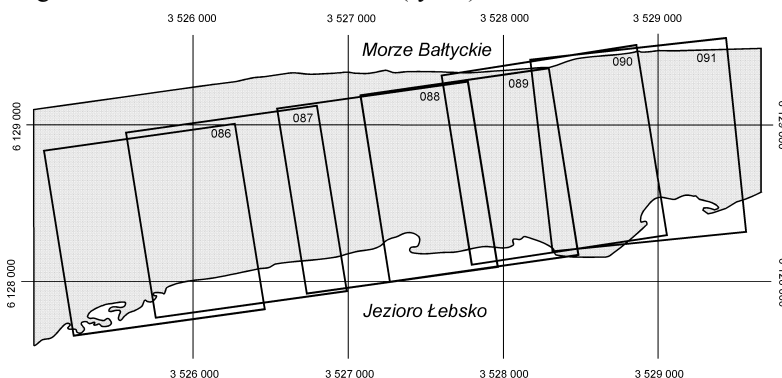
trycznej obrazu fotograficznego dokonywanej za pomocą fotometrii, posługiwano się najczęściej nieskorygowanymi danymi o gęstości optycznej do rozróżniania odfotografowanych obiektów na powierzchni Ziemi.

2. CEL

Celem pracy było ilościowe określenie wpływu warunków oświetlenia i obserwacji powierzchni piaszczystych na ich jasność, wyrażoną gęstością optyczną D , odfotografowanych na zdjęciach lotniczych. Jako powierzchnie badawcze wybrano naturalne powierzchnie wydmy zbudowane z materiału piaszczystego wykazującego, ze względu na swoją niewielką szorstkość, najmniejsze odstępstwa od właściwości lambertowskich. Zastosowanie metody fotograficznej jest uzasadnione perspektywą wykorzystania kamer fotograficznych w teledetekcji jeszcze w ciągu najbliższych 10–15 lat (Camera Calibration Panel Report, 2000). Natomiast analiza zmienności jasności powierzchni piaszczystych w oparciu o pomiar gęstości optycznej wynika z bezpośredniego związku tej wielkości z ilością promieniowania elektromagnetycznego padającego na błonę fotograficzną w momencie wykonywania zdjęcia. Wiedza o zmienności jasności powierzchni piaszczystych, rozszerzona w przyszłości o prawidłowości ustalone dla bardziej szorstkich powierzchni gleb uprawnych i nieuprawnych pustynnych, będzie podstawą do opracowania odpowiednich metod korekcji obrazu, w celu jego normalizacji do jednolitych warunków oświetlenia i obserwacji.

3. METODYKA

Postawiony cel zrealizowano poprzez wykonanie kolorowych zdjęć lotniczych w skali 1:5000 wydmy położonych na Mierzei Łebskiej w obrębie Słowińskiego Parku Narodowego w dniu 30 kwietnia 1999 roku (rys. 1).



Rys. 1. Wzajemne pokrycie zdjęć lotniczych na tle zarysu konturu Mierzei Łebskiej
Fig. 1. The longitudinal overlap of the aerial photographs against Łebska Spit background

Zdjęcia wykonano kamerą RMK A 15/23 o ogniskowej 153 mm, na filmie Kodak Aerocolor HS SO-358. Negatywy zostały zeskanowane. W czasie skanowania przeprowadzono na nich pomiary gęstości optycznej, oddzielnie dla każdej z trzech warstw

światłoczułych. Wykorzystano do tego skaner poligraficzny Horizon Ultra firmy Agfa. Pomiary fotopunktów, które wykorzystano w procesie fotogrametrycznego przetwarzania zdjęć lotniczych, wykonano za pomocą tachimetru autoredukcyjnego Daltha A 010.

W celu dokonania analizy zmienności jasności powierzchni piaszczystych zdjęcia lotnicze poddano przetwarzaniu, które obejmowało:

- usunięcie wpływu układu optycznego z obrazu fotograficznego zgodnie z formułą:

$$H_{\theta} = H_0 \cos^4 \theta_d, \quad (1)$$

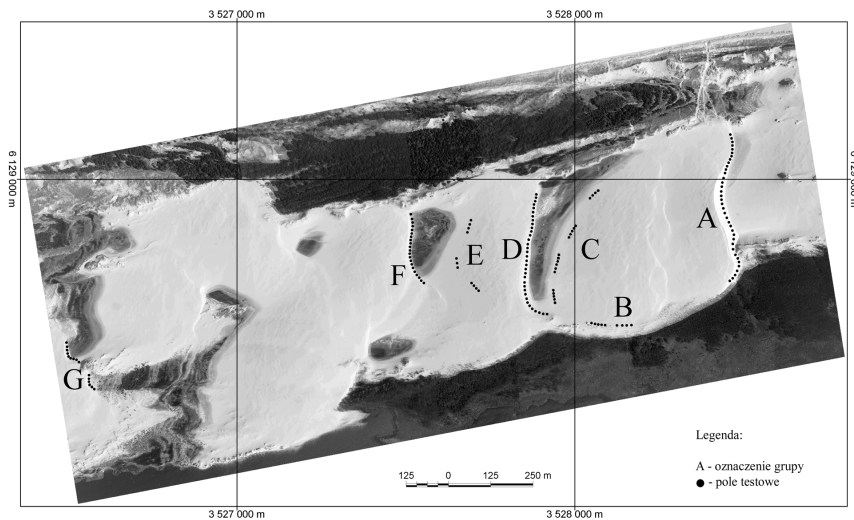
gdzie:

H_0 – nasświetlenie w punkcie głównym zdjęcia,

H_{θ} – nasświetlenie w dowolnym punkcie zdjęcia (poza punktem głównym).

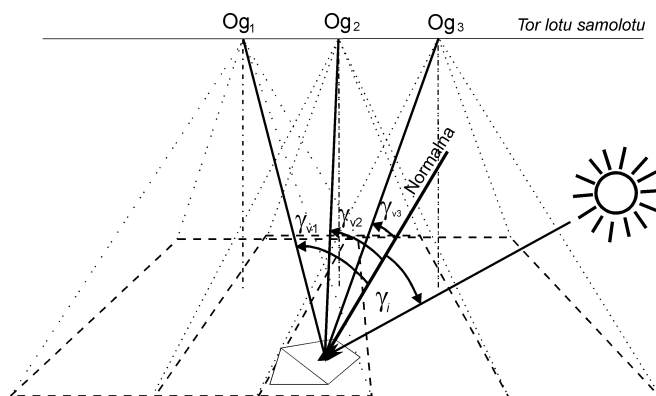
- przekształcenie jasności wyrażonej liczbą w modelu barwnym RGB lub skali szarości (odpowiadającej pomiarowi światła w całym zakresie widzialnym) na gęstość optyczną,
- stworzenie cyfrowych modeli form wydmowych w oparciu o stereopary zdjęć lotniczych z wykorzystaniem procesu fotogrametrycznego w celu ustalenia warunków topograficznych powierzchni badawczych,
- pomiar gęstości optycznej jako miary jasności dla wyznaczonych powierzchni badawczych na zdjęciach lotniczych i naziemnych.

Powierzchnie badawcze na formach wydmowych rozmieszczono w taki sposób, aby uzyskać jak największe zróżnicowanie kąta padania promieni słonecznych (rys. 2). Powierzchnie badawcze skupiły się w kilku grupach, które oznaczono kolejnymi literami alfabetu ze wschodu na zachód.



Rys. 2. Rozmieszczenie grup powierzchni badawczych na tle fotomapy fragmentu Mierzei Łebskiej
Fig. 2. Distribution of the test areas within groups against the photomap background of the part of the Łebska Spit

Zmienność jasność powierzchni piaszczystych, wyrażoną gęstością optyczną, analizowano w różnych warunkach oświetlenia i obserwacji. Warunki oświetlenia powierzchni badawczej określano przez kąt padania promieni słonecznych (γ_i), mierzony w stosunku od normalnej do promienia padającego na rozpatrywaną powierzchnię. Warunki obserwacji opisywano kątem obserwacji (γ_v) mierzonym od normalnej do kierunku, z którego obserwowana jest powierzchnia badawcza (rys. 3).



Rys. 3. Kąt padania promieni słonecznych γ_i oraz kąty obserwacji (γ_{v1} , γ_{v2} , γ_{v3}), pod którymi dana powierzchnia jest widziana na kolejnych trzech zdjęciach lotniczych, gdzie punkty O_{g1} , O_{g2} , O_{g3} oznaczają położenie środków tych zdjęć

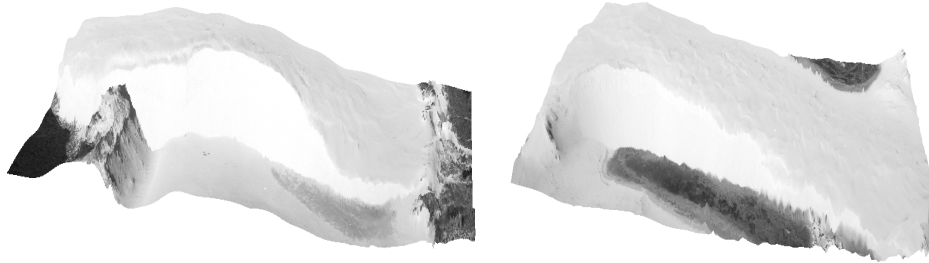
Fig. 3. Incidence angle of the sunbeams γ_i and observation angle (γ_{v1} , γ_{v2} , γ_{v3}) under which the test area is observed on the three following aerial photographs (O_{g1} , O_{g2} , O_{g3} – location of the focus for aerial camera)

4. WYNIKI BADAŃ

W wyniku przeprowadzonych pomiarów gęstości optycznej uzyskano dla każdego zdjęcia funkcje opisujące relację gęstości optycznej do liczby wyrażającej barwę w składowych modelu RGB. W dalszej kolejności na podstawie tych funkcji dokonano korekcji jasności zdjęć, usuwając wpływ układu optycznego i ziarnistości filmu lotniczego, uzyskując dla powierzchni badawczych wartości skorygowanej gęstości optycznej. Po fotogrametrycznym opracowaniu zdjęć lotniczych uzyskano modele wysokościowe form wydmowych (rys. 4). Na ich podstawie określono warunki oświetlenia i obserwacji powierzchni badawczych.

Zależność skorygowanej gęstości optycznej od kąta padania promieni słonecznych analizowano po uprzednim zminimalizowaniu wpływu warunków obserwacji. Osiągnięto to poprzez wybór powierzchni badawczych, obserwowanych z kierunków zbliżonych do głównej płaszczyzny słonecznej oraz przez podział powierzchni badawczych na podgrupy, w których kąt obserwacji zmieniał się w zakresie do 10° . Na rysunku 5 przedstawiono wykresy obrazujące zależność skorygowanej gęstości optycznej od kąta padania promieni słonecznych w wydzielonych podgrupach dla poszczególnych zakresów spektralnych i przebieg funkcji dopasowania dla warstwy filmu fotogra-

ficznego czulej na promieniowanie czerwone. Stopień zależności gęstości optycznej od kąta padania promieni słonecznych określono za pomocą współczynnika determinacji, obliczanego jako kwadrat współczynnika korelacji.

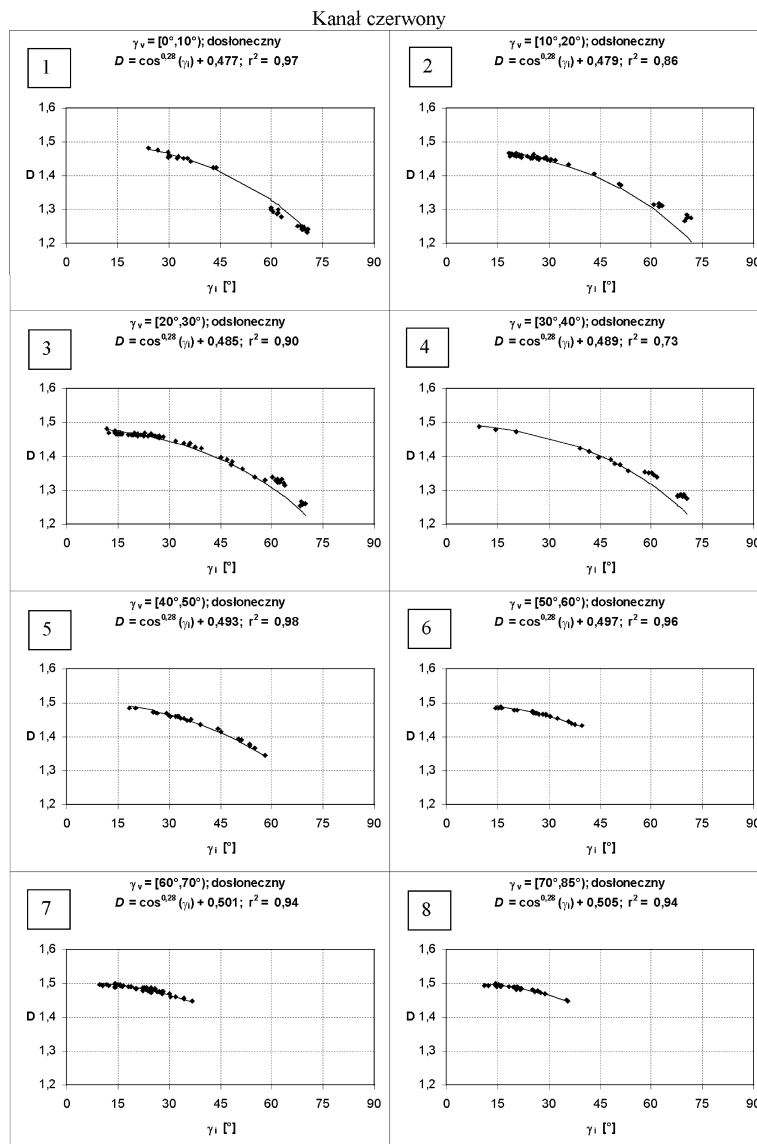


Rys. 4. Trójwymiarowe modele form wydmych uzyskane w wyniku fotogrametrycznego przetworzenia stereopar zdjęć lotniczych

Fig. 4. Three dimensional models of the dunes based on photogrammetric processing of the stereo pairs

Wyniki zaprezentowane w niniejszej pracy wskazują, że po korekcji wpływu układu optycznego, ziarnistości filmu fotograficznego oraz zminimalizowaniu wpływu kąta obserwacji (γ_v), gęstość optyczna (D) powierzchni piaszczystych zależy przede wszystkim od kąta padania promieni słonecznych (γ_i). Spadek gęstości optycznej powierzchni piaszczystych na zdjęciach lotniczych, powodowany wzrostem kąta padania promieni słonecznych (γ_i), następuje wolniej dla wysokich wartości kąta γ_i . Dotyczy to powierzchni piaszczystych o szorstkości kształtowanej tylko przez ziarna po ograniczeniu zmienności kąta obserwacji do 10° . Na przykład, jeżeli kąt γ_i wzrasta o 30° , w zakresie od 10° do 40° , to spadek gęstości optycznej osiąga $0,07D$ w kanale czerwonym. Natomiast taki sam wzrost kąta γ_i , o 30° w zakresie od 40° do 70° spowoduje spadek gęstości optycznej o $0,18D$ w kanale czerwonym, co odpowiada średnio 68% skorygowanych zakresów gęstości optycznej.

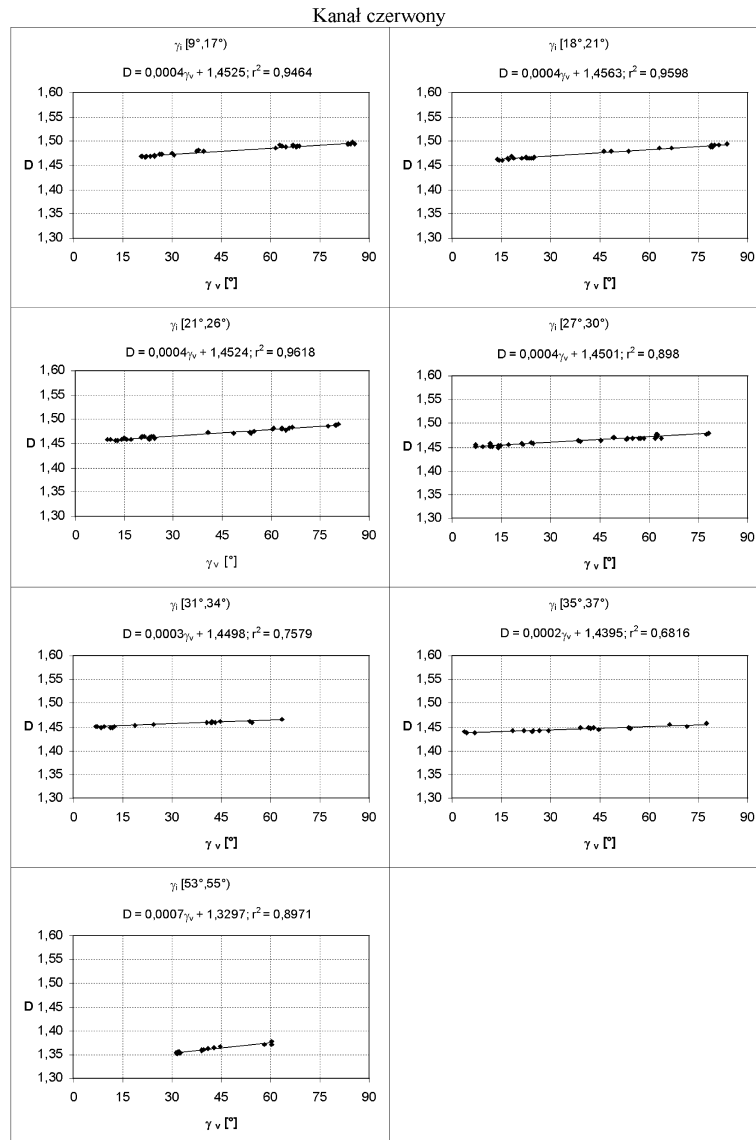
Zmienność skorygowanej gęstości optycznej w zależności od kąta obserwacji analizowano po zminimalizowaniu wpływu warunków oświetlenia (rys. 6). Dla naturalnych powierzchni piaszczystych o szorstkości kształtowanej tylko przez ziarna piasku, odfotografowanych na zdjęciach lotniczych, przy kącie padania promieni słonecznych zmieniającym się od 9° do 55° i obserwowanych w płaszczyznach zbliżonych do głównej płaszczyzny słonecznej, wzrost kąta γ_i o 30° powoduje niewielki wzrost D , który nie przekracza o $0,02D$ we wszystkich kanałach spektralnych i w pełnym zakresie widzialnym. Maksymalny zanotowany wzrost gęstości optycznej dla powierzchni piaszczystych, przy kącie padania promieni słonecznych w zakresie od 16° do 21° przy wzroście kąta obserwacji o 75° , wyniósł $0,03D$ w kanale czerwonym i zielonym oraz $0,05D$ w kanale niebieskim. Stanowi to 13% skorygowanych zakresów gęstości optycznej wyznaczonych dla powierzchni badawczych.



Rys. 5. Zależność gęstości optycznej (D) powierzchni badawczych od kąta padania promieni słonecznych (γ_i) w kanale czerwonym. Nad każdym wykresem zamieszczono wzór funkcji dopasowania oraz współczynnik determinacji (r^2) pomiędzy danymi rzeczywistymi a teoretycznymi.

Dane rzeczywiste zaznaczono punktami a dane teoretyczne za pomocą linii ciągłej

Fig. 5. Dependence between mean optical density (D) for test areas and the incidence angle of sunbeams (γ_i) in the red channel. Above each chart the equation of the matching function and the determination coefficient were placed. Real values marked by the point signature and theoretical values marked by the solid line



Rys. 6. Zależność gęstości optycznej (D) powierzchni badawczych od kąta obserwacji (γ_v) w kanale czerwonym. Nad każdym wykresem zamieszczono wzór funkcji dopasowania oraz współczynnik determinacji (r^2) pomiędzy danymi rzeczywistymi a teoretycznymi. Dane rzeczywiste zaznaczono punktami a dane teoretyczne za pomocą linii ciągłej

Fig. 6. Dependence between mean optical density (D) for test areas and the observing angle (γ_v) in the red channel. Above each chart the equation of the matching function and the determination coefficient were placed. Real values marked by the point signature and theoretical values marked by the solid line

5. DYSKUSJA

Zmienność jasności powierzchni piaszczystych analizowano w zależności od kąta padania promieni słonecznych (γ_i) i kąta obserwacji (γ_o) w płaszczyznach zbliżonych do głównej płaszczyzny słonecznej. W tej płaszczyźnie występuje największa zmienność jasności obiektów ze względu na kierunek obserwacji (Cierniewski i Verbrugghe 1994; Cierniewski, 1999; Rahman i in., 1999). Natomiast w płaszczyźnie prostopadłej do głównej płaszczyzny słonecznej zmienność jasności obiektów ze względu na kierunek obserwacji jest bardzo mała, teoretycznie niemal zerowa. Analizując wpływ kąta γ_i na gęstość optyczną, zminimalizowano wpływ kąta obserwacji (γ_o), przez ograniczenie jego zmienności do 10-stopniowych zakresów. Taki odstęp kątowy stosuje się najczęściej w naziemnych pomiarach dwukierunkowego odbicia spektralnego (Cierniewski 1999, 2001; Coulson i in., 1966; Sandmeier, 2000). Natomiast podczas analizy związku gęstości optycznej z kątem obserwacji (γ_o) ograniczono do niewielkich zakresów kąt γ_o , w których jego zmienność powodowała zmiany D mniejsze od wyznaczonej dla potrzeb tej pracy dokładności jej pomiaru gęstości optycznej (0,01D).

Zależność gęstości optycznej (D) od kąta padania promieni słonecznych wyrażano odpowiednio modyfikowaną funkcją cosinus. O zmienności gęstości optycznej w zależności od kąta γ_i decyduje wartość wykładnika n funkcji cosinus. Zanotowane wartości wykładnika n , 0,22 do 0,34, są niskie. Znajomość takich funkcji można by wykorzystać do określania nachylenia stoku powierzchni piaszczystych. Zastosowanie funkcji cosinus o tak małych wartościach n pozwala na wyznaczanie nachylenia stoku z dokładnością jedynie do kilku stopni, zwłaszcza dla niskich wartości kąta padania promieni słonecznych (γ_i). Małe wartości wykładnika n , uzyskane w niniejszej pracy, wynikają z zastosowania filmu fotograficznego o niskim współczynniku kontrastowości.

Silna zależność gęstości optycznej powierzchni piaszczystych od kąta padania promieni słonecznych, wyrażana przez wysokie wartości współczynnika determinacji (r^2), stwarza możliwość zastosowania korekcji kosinusowej do usunięcia wpływu warunków topograficznych na jasność powierzchni piaszczystych przed klasyfikacją treści obrazu fotograficznego. Podstawowym warunkiem, aby można było stosować ten rodzaj korekcji jest istnienie silnego związku pomiędzy jasnością obiektu i kątem padania promieni słonecznych (Itten and Mayer, 1993, Franklin i Giles, 1995). Wyniki niniejszej pracy, pozwoliły stwierdzić, że dla powierzchni piaszczystych, o szorstkości kształtowanej przez ziarna piasku, silna zależność gęstości optycznej od kąta padania promieni występuje w zakresie kąta γ_i od 0° do 85° .

Uzyskana zależność, wzrostu jasności powierzchni piaszczystej wraz ze wzrostem kąta obserwacji, znajduje potwierdzenie w wynikach prac dotyczących naziemnych pomiarów dwukierunkowego odbicia spektralnego od powierzchni piaszczystych (Cierniewski i in. 1997; Coulson i in., 1966).

6. WNIOSKI

Najważniejsze wnioski uzyskane na podstawie niniejszej pracy wiążą się z charakterystyką ilościową zmienności jasności powierzchni piaszczystych przedstawioną za pomocą wartości bezwzględnych D jak i w postaci analitycznej. Gęstość

optyczna powierzchni piaszczystych obserwowanych z tego samego kierunku zależy przede wszystkim od kąta padania promieni słonecznych, co opisuje odpowiednio modyfikowana funkcja cosinus w postaci:

$$D = \cos^n(\gamma_i) + A_d \quad (2)$$

gdzie:

D – gęstość optyczna,

γ_i – kąt padania promieni słonecznych na powierzchnię badawczą,

n – współczynnik potęgi dla funkcji cosinus dopasowujący jej kształt do danych rzeczywistych, zależny od warunków fotografowania oraz od kształtu krzywej charakterystycznej filmu,

A_d – wartość wyrazu wolnego, decydująca o przesunięciu całości wykresu względem osi Y.

Zależność gęstości optycznej jednakowo oświetlonych powierzchni piaszczystych od kąta obserwacji wyraża funkcja liniowa:

$$D = a(\gamma_v) + B_d \quad (3)$$

gdzie:

a – współczynnik nachylenia linii prostej,

B_d – wartość gęstości optycznej powierzchni obserwowanej z nadiru.

Wielkość zmian gęstości optycznej powodowana właściwościami układu optycznego jest porównywalna z wpływem kąta padania promieni słonecznych i powinna być korygowana.

PODZIĘKOWANIA

Część badań przedstawionych w niniejszej pracy została zrealizowana w ramach projektu KBN nr 6PO4E 05117 (Cierniewski i Królewicz, 2000). Firma Dedal&Foto, Andrzej Kijowski, wykonała zdjęcia lotnicze, ponosząc również część kosztów z tym związanych. Skanowanie negatywów zdjęć lotniczych odbyło się, dzięki uprzejmości Pana Piotra Burdzia-ka, właściciela firmy PEBEKOM. Za pomoc w pracach terenowych autor składa serdeczne podziękowania Panu Leszkowi Kaczmarkowi i Panu Tomaszowi Wesołowskiemu.

PIŚMIENNICTWO

- Becker F., Nerry F. 1988: Towards a quantitative uses of aerial color infrared films. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 44, No. 6.
- Camera Calibration Panel Report, 2000, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Meryland.
- Cierniewski J., Marlewski A., Faryś M., Królewicz S., 1997: Dwukierunkowy model odbicia od szorstkich powierzchni glebowych. Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego Nr 6PO4E00609.
- Cierniewski J. 1999: Geometrical modeling of soil bidirectional reflectance in optical domain. Bogucki Wyd. Nauk. Poznań.
- Cierniewski J., Verbrugge M. A geometrical model of soil bidirectional reflectance in the visible and near infrared range. Proceeding 6th International Symposium on Physical Measurement and Signatures in remote Sensing, Val d'Isere, France, January 17–21, 1994: 635–642.

- Copping J. M., 2000: Large-scale BRDF retrieval over New Mexico with multiangular NOAA AVHRR Dataset. *Remote Sensing of Environment*. 74: 163–191.
- Coulson K.L., Bouricius G.M., Gray E.L., 1966: Optical reflection properties of natural surfaces. *Journal of Geophysical*. 4601–4611.
- Duggin M. J., Robinove C. J., 1990: Assumption implicit in remote sensing data acquisition and analysis. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 11, No. 10, pp. 1669–1694.
- Franklin S.E., Giles Ph.T., 1995: Radiometric processing of aerial and satellite remote sensing imagery. *Computers & Geoscience*. Vol. 21, No. 3, pp. 413–423.
- Itten K. I., Meyer P., 1993; Geometric and radiometric correction of TM data of mountainous forested areas: *IEEE Trans. Geosciences and Remote Sensing*, Vol. 31, No. 4, pp. 764–770.
- Muller E. 1993: Evaluation and correction of angular anisotropic effects in multitemporal SPOT and Thematic Mapper data. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 45, No. 3, 295–309.
- Rahman H., Quadir D.A., Zahedul Islam A.Z.M., Dutta S., 1999: Viewing effect on remote sensing monitoring of wheat and rice crops. *GeoCarto International*. Vol. 14, No. 1, 74–78.
- Sandmeier S.R., 2000: Acquisition of bidirectional reflectance factor data with field goniometers. *Remote Sensing of Environment*. Vol.73, 257–269.

THE IMAGE OF SAND SURFACE ON AIR PHOTOS IN VARYING VIEWING AND OBSERVING CONDITIONS

Summary

This article presents results of the research on the influence of bidirectional reflectance function on the natural sand surface brightness in variable illumination and viewing conditions. As source data the aerial photographs were used, taken 30 April 1999 with the camera RMK A 15/23 (visible spectrum). Brightness of the sand surfaces was expressed by optical density. The measurement of optical density were made with the Agfa Horizon Ultra scanner. The influence of the optical properties of the camera and the granularity of the film were corrected before sand brightness analysis. The sand surface brightness was analysed in the dependence on the incidence angle of the sunbeams γ_i and observation angle γ_v .

KEY WORDS: bidirectional reflectance, sand, air photographs, optical density

Recenzent: dr inż. Stanisław Mularz, AGH Kraków