

Beata Hejmanowska

USUWANIE ZAKŁÓCAJĄCEGO WPŁYWU TOPOGRAFII Z OBRAZÓW SATELITARNYCH^{*)}

Wstęp

Poziom promieniowania elektromagnetycznego rejestrowanego za pomocą metod teledetekcyjnych zależy od wielu czynników: od charakterystyki spektralnej badanego obiektu, interakcji promieniowania w atmosferze, charakterystyki sensora ale także od geometrii: kierunku oświetlenia - kierunku rejestracji. Obraz powierzchni terenu o jednolitym pokryciu a o urozmaiconej rzeźbie różni się od obrazu powierzchni terenu płaskiego o takim samym pokryciu. Dla potrzeb numerycznego przetwarzania obrazu np. klasyfikacji czy matematycznego modelowania istnieje niekiedy potrzeba wstępnej transformacji obrazów w celu usunięcia zakłócającego wpływu topografii. W wielu przypadkach bowiem różne wartości albedo czy temperatury obliczone na podstawie danych teledetekcyjnych wynikają jedynie ze zróżnicowania topografii.

Wielkość odbitej od terenu radiacji zależy od struktury powierzchni i od typu rozpraszania. Strukturę powierzchni można określić jako: gładką, szorstką i porowatą, a rozpraszanie jako: dyfuzyjne, wstecz albo w przód. Spektralna charakterystyka obiektu jest opisana przez tzw. funkcję przestrzennego rozkładu radiacji odbitej od powierzchni obiektu, BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function). Wielu autorów badało laboratoryjnie BRDF [Coulson, K.L. 1966, Hapke, B., Van Horn, H. 1963a, Kimes, D.S., Smith, J.A., Ranson, K.J., 1980, Kriebel, K.T., 1977, Richardson, A.J., 1981, Watson, R. 1972]. Powstało także kilka modeli teoretycznych opisujących różne rodzaje BRDF [Cierniewski J. 1991, Emslie, A.G., Aronson, J.R., 1972, Hapke, B. 1963b, Kimes, D.S., Kirchner, J.A. 1981, Torrance, K.E., Sparrow, E.M. 1967]. Uwzględnienie wpływu geometrii: kierunku rejestracji - kierunku oświetlenia na wielkość rejestrowanej metodami teledetekcyjnymi radiacji jest możliwe jedynie przy znajomości BRDF, kąta zenitalnego i azymutu Słońca oraz kąta nachylenia i ekspozycji badanej powierzchni.

*) Praca realizowana w ramach projektu KBN "Monitoring środowiska z wykorzystaniem GIS"

Znane z literatury próby usuwania zakłócającego wpływu topografii dotyczyły zwykle jednorodnych obszarów leśnych, głównie sosnowych, charakteryzujących się znacznymi deniwelacjami terenu. Wyniki badań, które przedstawiono w niniejszej publikacji dotyczą możliwości usuwania wpływu topografii dla obszaru porośniętego w przewadze lasem liściastym.

Metodyka

Podstawy teoretyczne

Mechanizm odbicia opisuje BDRF zgodnie z ogólną formułą [Reeves, R.G., Anson, A., Landen, D. 1975]:

$$f_r = \frac{dL_r(V_o, A_o, V_r, A_r)}{dE_o(V_o, A_o)}$$

gdzie:

- dL_r - moc promieniownia odbitego w kierunku sensora,
- dE_o - moc promieniownia padającego,
- V_o, A_o - kąt zenitalny i azymut kierunku oświetlenia danej powierzchni,
- V_r, A_r - kąt zenitalny i azymut kierunku rejestracji.

Promieniowanie badanego obiektu o znanej postaci BRDF można określić następująco [Reeves, R.G., Anson, A., Landen, D. 1975]:

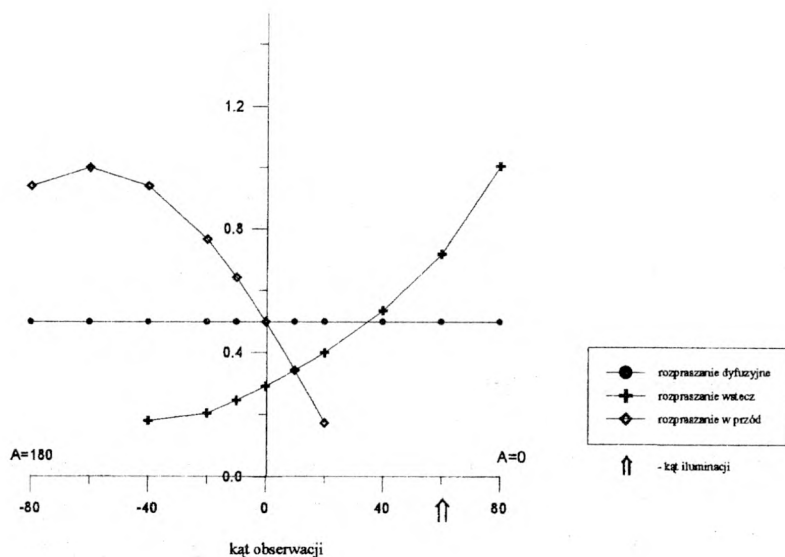
$$L_r = \int_{\text{półsfery}} f_r dE_o$$

Eksperymenty laboratoryjne mające na celu określenie BRDF dla różnych obiektów, przeprowadzane były początkowo głównie w ramach badań astronomicznych [Hapke, B., Van Horn, H. 1963a]. Pozwalają one na sformułowanie następujących wniosków:

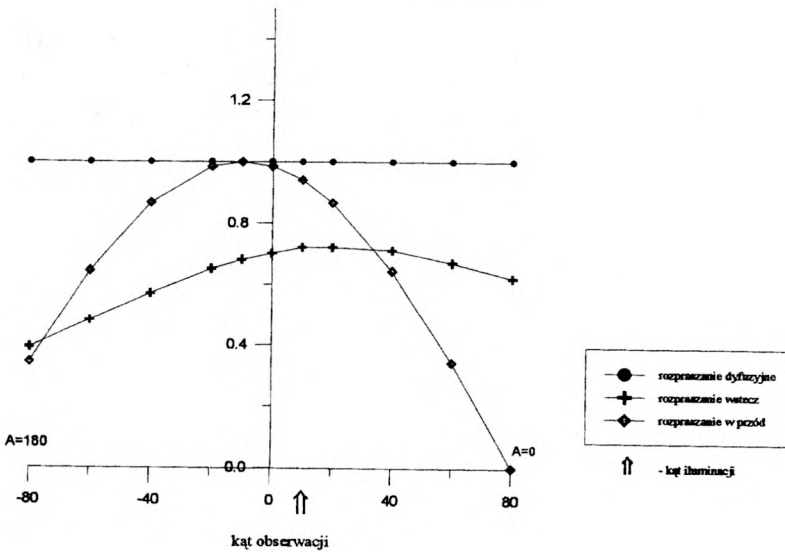
1. Powierzchnie charakteryzujące się wysokim albedo odbijają promieniowanie z reguły w sposób dyfuzyjny.
2. Powierzchnie o niskim albedo (<25 %) mogą odbijać promieniowanie w różny sposób, zależny zarówno od typu odbicia jak i struktury powierzchni:
 - ciemne, gładkie powierzchnie odbijają promieniowanie w "szerokim przednim pik",
 - rozpraszanie powierzchni ciemnych i szorstkich zależy od własności rozpraszających elementów budujących powierzchnię i mogą one w efekcie odbijać do przodu, wstecznie lub dyfuzyjnie,
 - ciemne, porowate powierzchnie, które są zbudowane z elementów charakteryzujące się przednim typem rozpraszania mają funkcję rozkładu promieniowania odbitego, która posiada szeroki przedni pik i dodatkowo pik wsteczny; jeśli natomiast te same

powierzchnie zbudowane są z elementów odbijających dyfuzyjnie to dają one w wyniku szeroki pik wsteczny; w przypadku, gdy elementy budujące powierzchnię są wstecznie rozpraszające to BDRF powierzchni charakteryzuje się wąskim pikiem wstecznym.

Na Rys.1 i 2 przedstawiono typowe funkcje rozkładu promieniowania odbitego dla różnego rodzaju sposobów rozpraszania.



Rys.1. Funkcja rozkładu promieniowania odbitego w płaszczyźnie promienia padającego (kąt iluminacji 60 stopni), (sporządzono na podstawie Hapke, B.W. 1963b, Pettit, E., Nicholson, S.B. 1930, Torrance, K.E., Sparrow, E.M., 1967, Hugli, H., Frei, W. 1983).



Rys.2. Funkcja rozkładu promieniowania odbitego w płaszczyźnie promienia padającego (kąt iluminacji 10 stopni), (sporządzono na podstawie Hapke, B.W. 1963b, Pettit, E., Nicholson, S.B. 1930, Torrance, K.E., Sparrow, E.M., 1967, Hugli, H., Frei, W. 1983).

Korekcja zakłócającego wpływu topografii

Metoda korekcji zaprezentowana poniżej opiera się na założeniu, że "pożądanym" poziomem radiacji jest radiacja jaka pochodzi od powierzchni poziomej tzn., że w wyniku transformacji chcielibyśmy otrzymać obraz jaki byłby gdyby teren był poziomy. Dla przeprowadzenia takiej transformacji konieczna jest znajomość lokalnych parametrów oświetlenia powierzchni: azymutu i kąta kierunku oświetlenia badanej powierzchni w stosunku do jej normalnej.

Pierwszym etapem jest określenie dla każdego piksela kąta nachylenia (S) i azymutu (A) danej powierzchni, na podstawie cyfrowego modelu terenu [Reeves, R.G., Anson, A., Landen, D. 1975]:

$$\tan S = \left(\frac{\delta z}{\delta u} \right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta v} \right)^2 \quad \tan A = - \left(\frac{\delta z}{\delta u} \right) / \left(\frac{\delta z}{\delta v} \right)$$

gdzie:

u, v, z - współrzędne środka piksela w topograficznym układzie współrzędnych.

$$\frac{\delta z}{\delta u} = \frac{1}{2\Delta h} (z_{i+1,j} - z_{i-1,j}) \quad ; \quad \frac{\delta z}{\delta v} = \frac{1}{2\Delta h} (z_{i,j+1} - z_{i,j-1})$$

$$\frac{\delta z}{\delta u} \Big|_{u=0} = \frac{1}{2\Delta h} (-3z_{0,j} + 4z_{1,j} - z_{2,j}) \quad ; \quad \frac{\delta z}{\delta u} \Big|_{u=u_n} = \frac{1}{2\Delta h} (z_{n-2,j} - 4z_{n-1,j} + 3z_{n,j})$$

gdzie:

- i, j - lokalne współrzędne piksela w układzie obrazu (numer wiersza i kolumny),
 n - ilość wierszy.

Azymut i kąt zenitalny oświetlenia dowolnej powierzchni o nachyleniu S i azymucie A można obliczyć następująco [Reeves, R.G., Anson, A., Landen, D. 1975]:

$$\cos V_0 = \cos V_s \cos S + \sin V_s \sin S \cos (A_s - A)$$

$$\tan A_0 = \frac{\sin V_s \sin (A_s - A)}{(\sin V_s \cos S \cos (A_s - A) - \cos V_s \sin S)}$$

gdzie:

- V_s, A_s - kąt zenitalny i azymut kierunku oświetlenia płaszczyzny poziomej odczytany z tablic astronomicznych.

Znając typ rozpraszania charakteryzujący badaną powierzchnię można przeprowadzić transformację obrazu:

$$L_h = L_r * k$$

gdzie:

- L_h - poziom radiacji jaki byłby gdyby badana powierzchnia była pozioma,
 L_r - zarejestrowany poziom radiacji,
 k - współczynnik korekcji (dla pow. płaskich = 1).

Współczynnik korekcji k zależnie od sposobu rozpraszania może przyjmować następujące postaci:

$$k^L = \frac{\cos V_s}{\cos V_0} \quad (\text{rozpraszanie dyfuzyjne})$$

$$k^H = \frac{\cos V_s (\cos V_0 + \cos S)}{\cos V_0 (1 + \cos V_s)} \quad (\text{rozpraszanie wstecz})$$

$$k^S = \frac{\cos V_s \cos \beta}{\cos(V_0 \pm \beta) \cos S} \quad (\text{rozpraszanie w przód})$$

gdzie:

β - kąt jaki tworzy z płaszczyzną poziomą krawędź przecięcia danej płaszczyzny płaszczyzną do niej normalną zawierającą promień słoneczny, $\beta = f(S, A, V_s, A_s)$.

Współczynniki k^L , k^H zostały wyprowadzone na podstawie literatury [Hapke, B.W. 1963b, Pettit, E., Nicholson, S.B. 1930], natomiast współczynnik k^S został zaproponowany przez autorkę, jako najprostszy współczynnik korekcji dla rozpraszania w przód.

Metody statystyczne wyznaczania współczynnika "k"

Istnieje kilka metod statystycznych, za pomocą których można korygować radiometrycznie obrazy, ze względu na zakłócający wpływ topografii. Jedną z metod wykorzystuje prostą zależność statystyczną pomiędzy oryginalnymi wartościami spektralnymi zarejestrowanymi w poszczególnych kanałach a lokalnym kątem oświetlenia powierzchni i korekcję obrazu proponuje przeprowadzić zgodnie ze wzorem [Meyer P. i in. 1993]:

$$L_h = L_T - \cos(V_0) * m - b + L_T$$

gdzie:

L_T - wartość średnia radiacji dla danego obiektu,

m, b - parametry prostej regresji.

Inną metodą statystyczną jest metoda wykorzystująca współczynnik Minnaerta [Civco, D.L. 1989, Colby, J.D. 1991, Smith, J.A. i in. 1980, Laungcai C., Yingehens L. 1992, Meyer P. i in. 1993]. Korekcja w tej metodzie przebiega zgodnie z formułą :

$$k^M = \frac{\cos^K V_s}{\cos^K V_0 \cos^{K-1} S}$$

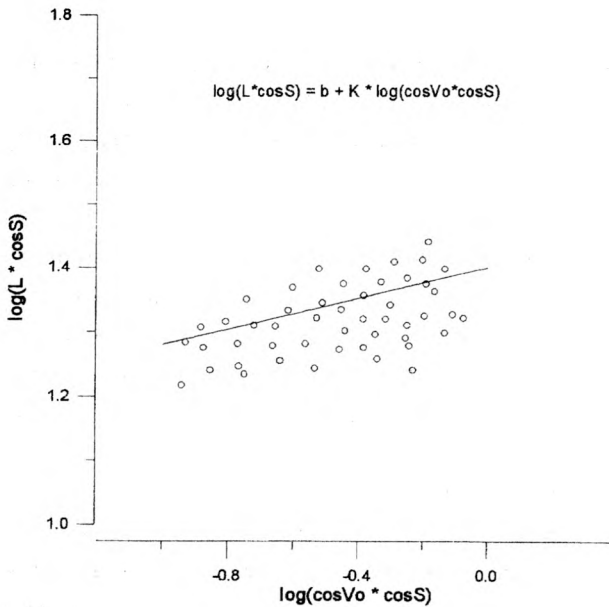
gdzie:

K - współczynnik Minnaerta charakteryzujący szorstkość powierzchni;

jeśli $K=1$ to powierzchnia odbija dyfuzyjnie zgodnie z prawem Lamberta ,

jeśli $K \in (0,1)$ to rozpraszanie jest kombinacją rozpraszania typu dyfuzyjnego i w przód.

Współczynnik K określa się na podstawie analizy regresji, przykładowo pokazanej na Rys.3:



Rys.3. Przykładowa zależność pomiędzy $\log(L_T \cos S)$ a $\log(\cos V_0 \cos S)$.

Ostatnio proponowana jest pewna zmodyfikowana forma prostej metody statystycznej [Meyer P. i in. 1993]:

$$L_H = L_r \left(\frac{\cos V_s + c}{\cos V_o + c} \right)$$

gdzie:

$$c = b/m.$$

Metody statystyczne były testowane wyłącznie dla korekcji lasów iglastych, głównie sosnowych. Autorzy uzyskiwali dobre korelacje pomiędzy poziomem radiacji L_r , a kosinusem kąta oświetlenia. Współczynnik Minnaerta zmieniał się prawie w całym przedziale (0,1) w zależności od kanału.

Na uwagę zasługuje ponadto fakt, że metody statystyczne nie wymagają *a priori* znajomości BRDF.

Próba korekcji rzeczywistego obrazu satelitarnego

W trakcie badań testowych wykorzystano część śląsko-krakowskiej sceny z Landsata TM (okolice Lasku Wolskiego ok. 2 km na zachód od centrum Krakowa) zarejestrowanej 28.08.1992 i zakupionej w ramach wymienionego już projektu badawczego. Analizowany obszar zajmuje powierzchnię ok. 6km x 4km, charakteryzuje się kątami nachylenia powierzchni (S) w granicach od 0 do 28 stopni, a kąt iluminacji ze względu na różne ekspozycje i nachylenia zboczy może zmieniać się w dniu rejestracji w granicach od 10 do 60 stopni. Las Wolski jest wypiętrzaniem, o znacznych lokalnych deniwelacjach terenu, z rozcięciem w części środkowej o kierunku południowy zachód - północny wschód. Kompleks Lasu Wolskiego jest głównie liściasty, a różnice w obrazie wynikają prawdopodobnie z różnicy topografii; partie o ekspozycjach północnych są ciemniejsze niż partie o ekspozycjach południowych.

Najprostszym i najczęściej spotykanym sposobem korekcji jest transformacja obrazu zgodnie z prawem Lamberta. Wielu autorów zarzuca tej metodzie fakt nadkorekcji zboczy o ekspozycjach północnych. Niektórzy uważają wręcz, że lepiej, w pewnych przypadkach w ogóle nie korygować obrazu niż korygować go zgodnie z prawem Lamberta. Ogólnie rzecz biorąc zalecane jest aby nie korygować obrazu, zgodnie z prawem Lamberta, w tych częściach, w których [Smith, J.A. i in. 1980]:

- kąty nachylenia powierzchni są większe niż 25 stopni,
- lokalne zenitale kąty oświetlenia przekraczają 45 stopni.

Podczas badań, wizualizację, tworzenie fałszywych kompozycji barwnych, analizy regresji czy inne klasyczne przetworzenia obrazu wykonywano za pomocą pakietu IDRISI v. 4.1. Pakiet ten umożliwia również obliczenie dla każdego piksela kąta (S) i azymutu (A) nachylenia powierzchni terenu. Natomiast do obliczeń lokalnych kątów iluminacji każdego piksela wykorzystano własne oprogramowanie (program: TOPOGRAF).

W trakcie badań analizowano wiele kompozycji barwnych i testowano różne sposoby usuwania z obrazu zakłócającego wpływu topografii.

Wybrano następujące kompozycje:

- kompozycja barwna utworzona z oryginalnych kanałów LANDSAT (TM3, TM4, TM7),
- kompozycja uzyskana na podstawie kanałów 3,4,7 wcześniej skorygowanych zgodnie z prawem Lamberta,
- kompozycja na podstawie kanałów: 3 skorygowanego za pomocą wsp. Minnaerta ($K = 0.12$ przy bardzo słabej korelacji) oraz 4 i 7 skorygowanych, założony wsteczny typ rozpraszania,

- kompozycja na podstawie kanałów 3,4,7 skorygowanych, założywszy wsteczny typ rozpraszania.

Analizując efekty powyższych przetworzeń można było zauważyć, że:

- korekcja obrazów zgodnie z prawem Lamberta rzeczywiście powoduje nadkorekcję zboczy północnych.
- wydaje się, że korekcja wykorzystująca założenie, że obiekt charakteryzuje się wstecznym typem rozpraszania jest lepsza (nie powoduje nadkorekcji zboczy północnych).

Próbowano wykorzystać metody statystyczne, w tym metodę Minnaerta i różne jej modyfikacje. Metody te wydają się być wielce obiecujące i były przedmiotem badań w ostatnich latach [Civco, D.L. 1989, Colby, J.D. 1991, Smith, J.A. i in. 1980, Laungcai C., Yingehens L. 1992, Meyer P. i in. 1993]. Przykładowe wykorzystanie tych metod ograniczało się jednak tylko do jednolitych kompleksów leśnych, głównie sosnowych. W przypadku liściastego kompleksu Lasu Wolskiego metody te miały znikomą możliwość zastosowania (z powodu bardzo słabych korelacji pomiędzy $\log(L_T \cos S)$ a $\log(\cos V_0 \cos S)$). Wynika to prawdopodobnie z innego charakteru rozpraszania promieniowania elektromagnetycznego przez las iglasty i liściasty.

Wnioski

W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki wstępnych badań nad możliwością usuwania z obrazu zakłócającego wpływu topografii.

Wybór metody korekcji zależy od postaci BRDF opisującej sposób rozpraszania przez badany obiekt promieniowania elektromagnetycznego. W związku z tym różne części obrazu mogą mieć różne współczynniki korekcji. Po wygenerowaniu obrazu rozkładu współczynnika korekcji na podstawie wcześniej obliczonych lokalnych warunków oświetlenia powierzchni terenu mnożymy go przez oryginalne obrazy. Tak wstępnie przetransformowane obrazy mogą stać się danymi wejściowymi do dalszych procedur cyfrowych np. klasyfikacji czy tworzenia kompozycji barwnych.

Planowane są dalsze badania nad tym tematem obejmujące zarówno laboratoryjne badanie BRDF jak i wykorzystanie jej do radiometrycznej korekcji obrazu ze względu na topografię terenu.

Bibliografia

- Cierniewski, J., 1991. *Specular - diffuse model of soil bidirectional reflectance in the visible and near - infrared range*. R-S. of Environment
- Civco, D.L., 1989. *Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery*. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 55 (9): 1303-1309.
- Colby, J.D., 1991. *Topographic Normalization in Rugged Terrain*. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 57 (5): 531-537.
- Coulson, K.L., 1966. *Effects of Reflection Properties of Natural Surfaces in Aerial Reconnaissance*. Applied Optics, 5 (6): 905-917
- Dozier, J., Frew, J., 1990. *Rapid Calculation of Terrain Parameters For Radiation Modelling From Digital Elevation Data*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28 (5): 963-969.
- Egbert, D.D., Ulaby, F.T., 1972. *Effects of Angles on Reflectivity*. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing.: 556-565
- Emslie, A.G., Aronson, J.R., 1972. *Spectral Reflectance and Emittance of Particulate Materials. I: Theory*. Applied Optics, 12 (11): 2563-2572.
- Franklin, J., Logan, T.L., Woodcock, L.C.E., Strahler, A.H., 1986. *Coniferans Forest Classification and Inventory Using Landsat and Digital Terrain Data*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-24 (1): 139-149
- Hapke, B., Van Horn, H., 1963a. *Photometric Studies of Complex Surfaces, with Application to the Moon*. Journal of Geophysical Research, 68: 4545-4570.
- Hapke, B.W., 1963b. *A Theoretical Photometric Function for the Lunar Surface*. Journal of Geophysical Research, 68 (15):4571 -4586
- Hejmanowska B., 1992. *Topographic correction of the remote sensing data*. XVII Congress, ISPRS Washington, CommisionII, 43-51.
- Holben, B.N., Justice, Ch.O., 1980. *The Topographic Effect on Spectral Response from Nadir - Pointing Sensors*. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 46 (2): 1191-1200.
- Horn, B.K.P., Sjöberg, R.W., 1979. *Calculating the reflectance map*. Applied Optics, 18 (11): 1770-1779.
- Hugli, H., Frei, W., 1983. *Understanding Anisotropic Reflectance in Mountains Terrain*. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 49 (5): 671-683.
- Kimes, D.S., Smith, J.A., Ranson, K.J., 1980. *Vegetation Reflectance Measurements as a Function of Solar Zenith Angle*. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 46 (12): 1563-1573.

- Kimes, D.S., Kirchner, J.A., 1981. *Modelling the Effects of Various Radiant Transfer in Mountains Terrain on Sensor Response*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-19 (2): 100-107.
- Kirchner, J.A., Youkhana, S., Smith, J.A., 1982. *Influence of Sky Radiance Distribution on the Ratio Technique for Estimating Bidirectional Reflectance*. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 48 (6): 955-959.
- Koebke, P., Kriebel, K.T., 1978. *Influence of measured reflection properties of vegetated surfaces on atmospheric radiance and its polarization*. Applied Optics, 17 (2): 260-264.
- Kowalik, W.S., Lyon, R.J.P., Switzar, P., 1983. *The Effects of Additive Radiance Terms on Ratios of Landsat Data*. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 49 (5): 659-669
- Kriebel, K.T., 1977. *Measured spectral bidirectional reflection properties of four vegetated surfaces*. Applied Optics, 17 (2): 253-259.
- Leprieur, C.E., Durand, J.M., 1988. *Influence of Topography on Forest Reflectance Using Landsat Thematic Mapper and Digital Terrain Data*. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 54 (4): 491-496.
- Laungcai C., Zingeheng L., 1992. *Analysis and correction technique of topographic effect in digital remote sensing image*. XVII Congress ISPRS, Washington. Commission II. 182-188.
- Meyer P., Itten K.I., Kellenberg T., Sandmeier S., Sandmeier R., 1993. *Radiometric correction of topographically included effects on Landsat TM data in an alpine environment*. Photogrammetric and Remote Sensing, Vol48, Number 4, 17-29.
- Stohr, Ch.J., West, T.R., 1985. *Terrain and Look Angle Effects Upon Multispectral Scanner Response*. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 51 (2): 229-235.
- Pettit, E., Nicholson, S.B., 1930. *Lunar Radiation and Temperature*. Astrophysical Journal, 71: 102-193.
- Reeves, R.G., Anson, A., Landen, D., 1975. *Manual of Remote Sensing*. American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia.
- Richardson, A.J., 1981. *Measurement of reflectance factors under daily and intermittent irradiance variations*. Applied Optics, 20 (19): 3336-3340.
- Ritter, P., 1987. *A Vector-Based Slope and Aspect Generation Algorithm*, Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 53 (8): 1109-1111.
- Smith, J.A., Lin, T.L., Ranson, K.J., 1980. *The Lambertian Assumption and Landsat Data*. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 46 (9): 1183-1189.
- Smits, G.H., 1972. *The Cause of Azimuthal Variations in Directional Reflectance of Vegetative Canopies*. Remote Sensing of Environment, 2: 175-182.

Torrance, K.E., Sparrow, E.M., 1967. *Theory for off-Specular Reflection From Roughened Surfaces*. *Journal of the optical society of America*, 57: 1105-1114.

Watson, R.D., 1972. *Spectral Reflectance and Photometric Properties of Selected Rocks*. *Remote Sensing of Environment*,

Rezensował: dr inż. Stanisław Mularz

mgr inż. Beata Hejmanowska
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
al.Mickiewicza 30, paw.C-4, tel.338100 w.2288