

WIRTUALNE POWIERZCHNIE DO PRZEWIDYWANIA OBRAZU GLEB W ZMIENIAJĄCYCH SIĘ WARUNKACH OŚWIETLENIA I OBSERWACJI ICH POWIERZCHNI

Streszczenie. W niniejszej pracy przedstawiono syntetyczne powierzchnie, symulujące geometrię powierzchni gleb, za pośrednictwem których, przy udziale nowego modelu, generowane są rozkłady hemisferyczno-kierunkowego odbicia od gleb uprawnych i nie uprawnych w zakresie optycznym. Model ten zakłada, że powierzchnie glebowe oświetlane są przez hemisferyczne źródło światła, o rozkładzie energii obliczanej funkcją empiryczną. Efekty widzenia wirtualnych powierzchni zależą od ich oświetlenia przez hemisferyczne źródło światła, jak i od właściwości odbiciowych rozważanych powierzchni. Odbicie to ma charakter niby lambertowski. Poprawność przewidywania obrazu gleb w zmieniających się warunkach oświetlenia i ich obserwacji przeanalizowano na przykładzie gleb o różnej szorstkości.

1. Wstęp

Przedstawiony tu nowy sposób opisu powierzchni do przewidywania obrazu gleb w zmieniających się warunkach ich oświetlenia i obserwacji, to efekt udoskonalenia koncepcji powierzchni wirtualnej sformułowanej w 1996 roku (Cierniewski i in., 1996). Powierzchnia gleby była wyobrażana za pomocą nieprzezroczystych elipsoid o określonej proporcji półosi pionowej do poziomej, ustawionych na poziomej płaszczyźnie w siatce kwadratów o długości boków odniesionej również do poziomej półosi elipsoid. Towarzyszący jej model odbicia spektralnego zakładał, że energia odbita od gleby jest rozpraszana w sposób zwierciadlano-dyfuzyjny za pomocą funkcji empirycznej ustalonej na podstawie pomiarów odbicia od powierzchni wytworzonych z torfu, iltu, piasku i otoczków. Następny model uwzględniający efekty odbicia zwierciadlanego, testowany na sztucznie uformowanych z gliny bryłach o kształcie piłeczek pingpongowych regularnie rozłożonych na poziomej podstawie, zakładał, że energia odbija się w sposób idealnie dyfuzyjny i niby zwierciadlany zależnie od polaryzacji światła odbitego opisanego za pomocą równań Fresnela (Cierniewski i Verbrugghe, 1997). W modelu Cierniewskiego i Marlewskiego (1998), testowanym na naturalnie zbrylonym materiale z piasku gliniastego i gliny piaszczystej, założono, że energia rozpraszana w zacienionych fragmentach gleby zależy od przesłaniania przez sąsiednie fragmenty gleby. W kolejnym modelu, (Cierniewski, 1999), agregaty powierzchni wirtualnej opisano podobnie, ale za pomocą elipsoid wciśniętych na określoną wysokość w płaską podstawę stoku. Model ten testowano również na powierzchniach pustynnych (Karnieli i Cierniewski, 2001). W modelu uwzględniającym brzdowy mikrorelief gleb uprawnych, kształt i odległość między nieprzezroczystymi elipsoidami powierzchni wirtualnych opisano jak w poprzednim modelu, przy czym odległość między elipsoidami odpowiadała też odległości między rzędami brzd. Wysokość ich wierzchołków odnoszono do dwóch równoległych płaszczyzn, wyznaczającej poziom

dna zagłębień między bruzdami oraz poziom wierzchołków ich grzbietów. Poprawność działania tego modelu sprawdzano na polach poddanych różnym zabiegom uprawowym w Polsce i we Francji (Cierniewski i Verbrugghe, 2002). Obliczenia rozkładu kierunkowego odbicia od powierzchni wirtualnych w tych powyższych modelach były faktycznie dokonywane w dwuwymiarowej przestrzeni w przekrojach zorientowanych równoległe do jednego z boków siatki kwadratów. Wzdłuż głównej płaszczyzny słonecznej (SPP).

Ponieważ celem tej pracy było znalezienie nowych syntetycznych parametrów opisujących kształt powierzchni glebowych i ich właściwości odbiciowe, pozwalających przewidywać obraz gleb w zakresie optycznym w zmieniających się warunkach ich obserwacji i oświetlenia, przedstawiono tu również założenia do narzędzia pozwalającego na to przewidywanie.

2. Metody badań

Powierzchnia wirtualna

Wirtualna powierzchnia R konstruowana jest za pomocą zbioru n punktów k_i o współrzędnych (x_i, y_i, z_i) oraz liczb r_i , wyobrażających odpowiednio rozłożone w przestrzeni kule o środku k_i i promieniu r_i . Powierzchnię tę, przypominającą zlewające się ze sobą krople, odwzorowuje rozwiązanie równania (Cierniewski i in., 2004):

$$\sum_{i=1}^n (2d_i^3 - 3d_i^2 + 1) - \frac{1}{2} = 0; \quad d_i = \frac{\min(r_i, \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2})}{r_i}.$$

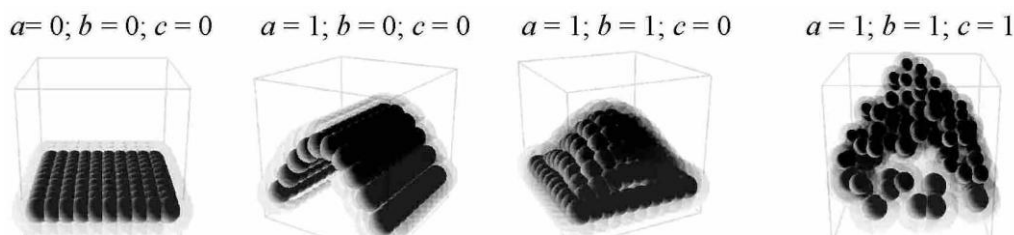
W rzucie prostopadłym do płaszczyzny XY środki kul ułożone są regularnie w siatce kwadratów o boku $1/\sqrt{n}$. Wysokość z_i środków kul k_i opisuje formuła:

$$z_i = a \cdot |\sin(\pi \cdot x_i)| \cdot (1 - b \cdot |\sin(\pi \cdot y_i)|) + c \cdot f_{dis}(i),$$

gdzie: a wyraża amplitudę funkcji sinus wzdłuż osi x , a b wzdłuż osi y . Ostateczna wysokość z_i środka i -tej kuli jest efektem zaburzenia opisanego ciągiem $f_{dis}(i) \in [0, 1]$. Parametr c charakteryzuje tu maksimum odchylenia od wartości z_i , przy założeniu, że wynika ono tylko z wartości a i b (rys. 1). Promień r_i jest tak dobrany:

$$r_i = \frac{1}{\sqrt{n}} - c \cdot f_{dis}(i),$$

aby wyeliminować puste przestrzenie pomiędzy kulami.



Rys. 1. Wpływ parametrów a , b , i c na kształt powierzchni R

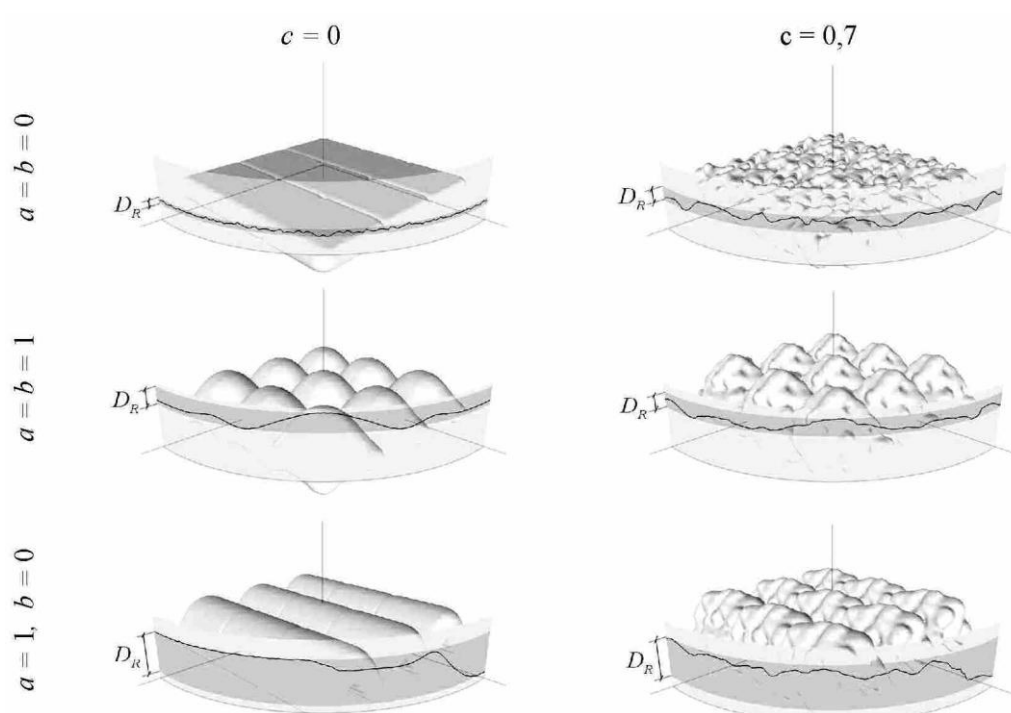
Fig. 1. Influence of the parameters a , b and c on the shape of the R surface

Wskaźnik kierunkowości kształtu tych powierzchni D_R wyraża różnicę między maksymalnym i minimalnym odchyleniem ich wysokości $d_R(\varphi)$, na długości $2l$ wzdłuż możliwie wszystkich kierunków ω nad tą powierzchnią, ograniczoną do jej wierzchniej części jako $f(x, y) = \max_z R(x, y, z)$ (rys. 2):

$$D_R = \min_{\varphi_0, \varphi_1} (\max_{\omega} d_R(\varphi) - \min_{\omega} d_R(\varphi)), \quad d_R(\varphi) = \frac{1}{2l} \sqrt{\int_{-l}^l \int_{-l}^l (f(\cos \varphi, t \sin \varphi))^2 dt},$$

gdzie $\tilde{f}(\varphi) = \frac{1}{2l} \int_{-l}^l f(\cos \varphi, t \sin \varphi) dt$ jest średnią wysokością powierzchni R.

Wirtualna powierzchnia R, symulująca powierzchnie gleby o specyficznym kształcie opisanym za pomocą parametrów geometrycznych a , b i c , jest rozpostarta na płaszczyźnie opisanej kątami nachylenia względem płaszczyzny horyzontu i kierunku północy geograficznej.



Rys. 2. Zmienność odchylenia wysokości d_R oraz wskaźnika kierunkowości kształtu D_R powierzchni o różnych parametrach a , b i c

Fig. 2. Variation of the height deviation d_R and the shape directivity factor D_R of the surfaces with different values of the a , b and c

Mechanizm odbicia światła od powierzchni wirtualnej

Niniejszy model zakłada, że powierzchnia R oświetlona jest przez hemisferyczne źródło światła złożone z określonej liczby m punktowych źródeł światła s_i o odpowiedniej intensywności e_i rozłożonych na półsfery. Ustalono, że stosunek radiacji promieniowania bezpośredniego do całkowitego $\delta(\vec{S}, \tau)$ w warunkach czystego nieba zmienia wraz z pozycją zenitalną Słońca $\vec{S} = [\vartheta_s, \phi_s]$ i normalną grubością atmosfery τ . Rozkład energii hemisferycznego źródła światła $H_{\vec{k}}$ wzdłuż kierunku \vec{k} opisano za pomocą funkcji empirycznej:

$$H_{\vec{k}} = c_1 + c_2 \cdot (\angle(\vec{k}, \vec{n}_d))^2 + g \cdot e^{c_3 \cdot \angle(\vec{S}, \vec{k})} + c_4 \cdot \cos^2(\angle(\vec{S}, \vec{k})),$$

gdzie \vec{n}_d oznacza nadir, a c_1, c_2, c_3 i c_4 są stałymi, podobnie jak we funkcji zaproponowanej przez Granta i in. (1996). c_1 charakteryzuje minimalne wartości energii światła hemisferycznego dla określonej długości fali λ , c_2 - rozjaśnienie wzdłuż horyzontu, c_3 jest miarą koncentracji aureoli słonecznej wokół punktu S, a c_4 opisuje najciemniejszy fragment hemisferycznego światła (w odległości 90° od punktu S). Zmienna g , przedstawiająca energię docierającą bezpośrednio od Słońca, spełnia następujące równanie:

$$\delta(\vec{S}, \tau) = \frac{H_S}{H_G} \cdot g,$$

gdzie H_S to bezpośrednie promieniowanie słoneczne, a H_G - całkowita radiacja w warunkach czystego nieba. Ostatecznie energia świetlna docierająca ze źródła punktowego s_i jest definiowana jako $e_i = H_{s_i} / g$.

Zakłada się, że zbiór wszystkich wektorów odbitej energii $\vec{k} \cdot e_{f_R}(i, \vec{k})$ od elementarnego fragmentu f_R w kierunku \vec{k} tworzy w trójwymiarowej przestrzeni chmurę o specyficznym kształcie, charakteryzującą właściwości dyfuzyjne (odbiciowe) powierzchni. Całkowita ilość energii $E(f_R, \vec{v}, H)$ odbita od fragmentu f_R , docierająca do sensora z kierunku $\vec{v} = [\vartheta_v, \phi_v]$ jest sumą efektów odbicia energii pochodzącej od wszystkich nie przysłoniętych źródeł światła s_i . Funkcja $HDRDF(\vec{R}, \vec{v}, H)$, definiowana jako:

$$HDRDF(\vec{R}, \vec{v}, H) = \frac{1}{|\Omega|} \int_{\Omega} E(\vec{R}, \vec{v}, H) d\Omega$$

opisuje hemisferyczno-kierunkowe odbicie całej powierzchni R, gdzie Ω symbolizuje pole widzenia sensora zawieszonoego nad tą powierzchnią.

Niniejszy model zakłada, że efekty widzenia powierzchni R zależą od oświetlenia przez hemisferyczne źródło światła, jak i od właściwości dyfuzyjnych powierzchni. Energię odbitą od elementarnych fragmentów powierzchni głębokich opisuje funkcja f_1 , będąca kombinacją funkcji opisujących rozproszenie w sposób lambertowski f_2 i niby zwierciadlany f_3 :

$$f_1(\vec{s}_i, \vec{n}, \vec{k}) = f_2 + (1 - f_2) \cdot f_3,$$

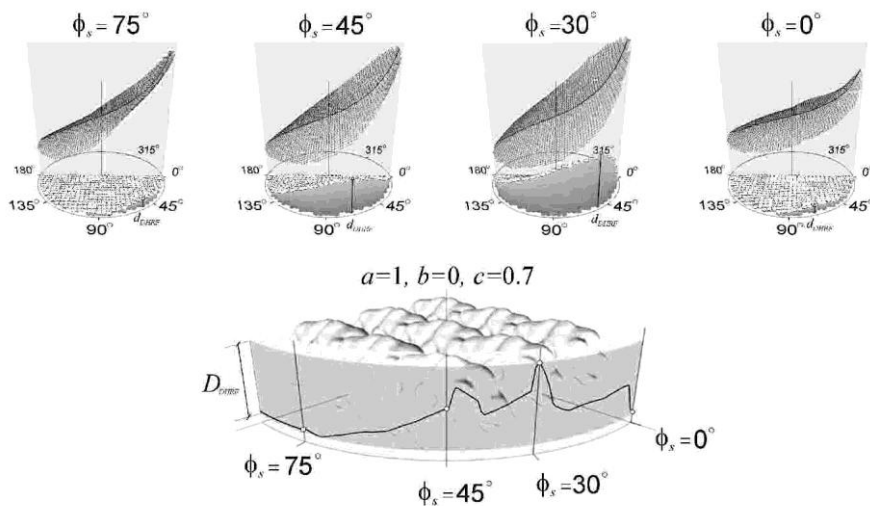
$$f_2(\vec{s}_i, \vec{n}, \vec{k}) = \max(0, \cos \angle(\vec{s}_i, \vec{n})); f_3(\vec{s}_i, \vec{n}, \vec{k}) = \max(0, \cos \angle(\vec{k}, 2 \cdot (\vec{s}_i \circ \vec{n}) \cdot \vec{n} - \vec{s}_i))^\alpha,$$

gdzie α jest liczbą dodatnią wyrażającą koncentrację zwierciadlanego komponentu odbicia wzdłuż kierunku wyznaczonego przez kąt odbicia równy kątowi padania.

Model ponadto zakłada, że funkcja hemisferyczno-kierunkowego rozkładu odbicia $HDRDF$ mieści w sobie również informację o kierunkowości kształtu rozpatrywanej powierzchni. Informacja ta może być uzyskana poprzez analizę symetrii rozkładu $HDRDF$ względem głównej płaszczyzny słonecznej (SPP). Funkcja $HDRDF$ dla powierzchni o losowym rozkładzie nieregularności jest zwykle symetryczna względem SPP. Powierzchnie z mikroreliefem bruzdowym wykazują natomiast asymetrię względem SPP. Asymetria ta jest tym większa im rozpatrywane powierzchnie cechują się wyraźniejszą kierunkowością swego kształtu. Wskaźnik kierunkowości rozkładu odbitej energii w zakresie optycznym D_{HDRDF} dla określonych warunków oświetlenia opisanych kątem zenitalnym θ_s i azymutalnym ϕ_s Słońca, obliczany jest jako różnica pomiędzy największą i najmniejszą maksymalną $d_{HDRDF}(\phi_s, \phi_{c-s})$ rozbieżnością odbitej energii od danej powierzchni Δ_{HDRDF} obserwowanej pod tym samym kątem zenitalnym θ_v symetrycznie z dwóch kierunków równo odległych od SPP o $+\phi_v$ i $-\phi_v$:

$$D_{HDRDF} = \max_{\theta_s} \left(\max_{\phi_s} d_{HDRDF}(\phi_s, \phi_{c-s}) - \min_{\phi_s} d_{HDRDF}(\phi_s, \phi_{c-s}) \right),$$

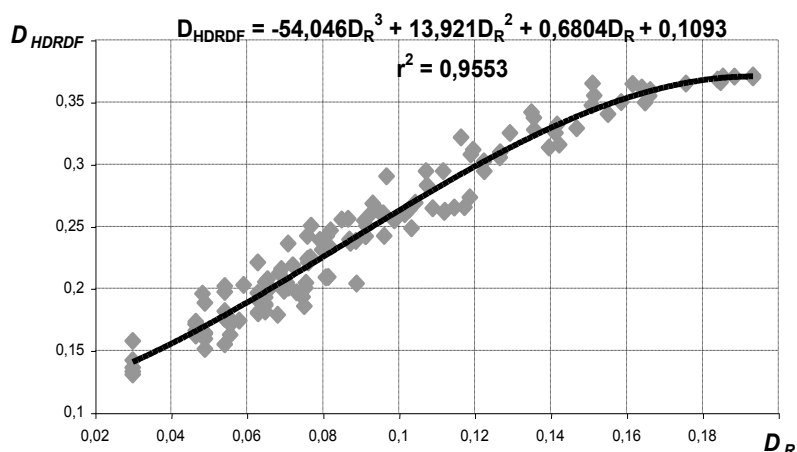
gdzie $d_{HDRDF}(\phi_s, \phi_{c-s}) = \max_{\theta_v, \phi_v} \Delta_{HDRDF}(\phi_s, \phi_{c-s}, \theta_v, \phi_v)$. Wskaźnik D_{HDRDF} ustalany jest biorąc pod uwagę możliwie wszystkie kąty poziome opisujące odległość kątową pomiędzy położeniem Słońca a kierunkiem bruzd ϕ_{c-s} (rys. 3).



Rys. 3. Kształt funkcji hemisferyczno-kierunkowego odbicia $HDRDF$ dla powierzchni z mikroreliefem bruzdowym oświetlonej przy stałym kącie zenitalnym Słońca $\theta_s=70^\circ$ w warunkach bezchmurnego nieba dla fali o długości 1650 nm

Fig. 3. Shape of the hemispherical-directional reflectance function $HDRDF$ for the furrowed surface, illuminated at the constant solar zenith angle θ_s equal 70° in clear sky conditions for wavelength of 1650 nm

Wskaźnik kierunkowości kształtu powierzchni gleby D_R i wskaźnik kierunkowości funkcji rozkładu odbicia D_{HDRDF} łączy wysoki współczynnik determinacji r^2 , przekraczający 95% (rys. 4).



Rys. 4. Zależność pomiędzy wskaźnikami kierunkowości kształtu powierzchni D_R i funkcji rozkładu hemisferyczno-kierunkowego odbicia D_{HDRDF}

Fig. 4. Relationship between the directivity factors of soil surface shape D_R and the hemispherical-directional reflectance distribution function D_{HDRDF}

2. Metodyka badań

Do określenia poprawności działania niniejszego modelu wraz z powierzchniami wirtualnymi, pełniących rolę danych wejściowych do niego, wykorzystano kierunkowe dane odbicia spektralnego od następujących powierzchni, zmierzonych w:

- Poznaniu (52,46°N, 16,94°E) wzdłuż SPP i 3 płaszczyznach odległych od siebie o ϕ_s 30° na materiale o losowym rozłożeniu agregatów (Lm),
- Keleczek w Kirgizstanie (42,59°N, 73,34°E) w SPP i 2 płaszczyznach oddalonych o ϕ_s 45° na polu z wykwitami soli na powierzchni (Ks) oraz w
- okolicy Beer Sheva w Izraelu (31,33°N, 34,67°E) w SPP i 5 płaszczyznach odchylonych o ϕ_s 30° na polu doświadczalnym z bruzdami (Bc).

Pomiary kierunkowego odbicia wykonano za pomocą luminancjometru polowego CIMEL CE 313-21 o polu widzenia α 10°. W jednej płaszczyźnie luminancję mierzono w odstępach co 10° pod 15 różnymi kątami zenitalnymi θ_v od -70° (dosłonecznie), poprzez 0° (nadir), do +70° (odslonecznie). Luminancję mierzono z odległości 260 w sześciu kanałach, odpowiadających: 450 nm, 550 nm, 650 nm, 850 nm i 1650 nm. Wykorzystano 210 pomiarów luminancji dla Lr i odpowiednio: 675 dla Ks oraz 630 dla Bc. Wszystkie te dane zgromadzone zostały przy bezchmurnym niebie.

Materiał badanych powierzchni analizowano pod względem uziarnienia metodą Cassagrande i zawartości materii organicznej poprzez straty żarzenia w

temperaturze 460°C. Barwę określano w stanie powietrznie suchym, posługując się tablicami Munsella.

3. Omówienie wyników badań

Testowane powierzchnie

Właściwości materiału badanych powierzchni scharakteryzowano w tabeli 1.

Tabela 1

Właściwości testowanych powierzchni
Features of the tested surfaces

Data pomiaru	Miejsce pomiaru	Symbol	Gatunek glebowy	Zawartość materii organ. (%)	Barwa materiału suchego
17.08.1997	Poznań	Lm	glina lekka	1,6	10YR5/3
15.07.2002	Keleczek	Ks	pył pokryty solą	-	10YR8/1
14.07.2003	Beer Sheva	Bc	glina piaszczysta	0,6	10YR5/3

Na glebach powierzchni Bc, *Calcic Xerosols* według systematyki FAO, uformowano bruzdy za pomocą kultywatora. Odstęp między bruzdami wynosił 60 cm, a ich wysokość średnio osiągała 10 cm. Wygląd testowanych powierzchni przedstawiono na rysunku 5 wspólnie z ich wirtualnymi odpowiednikami.

Powierzchnie wirtualne

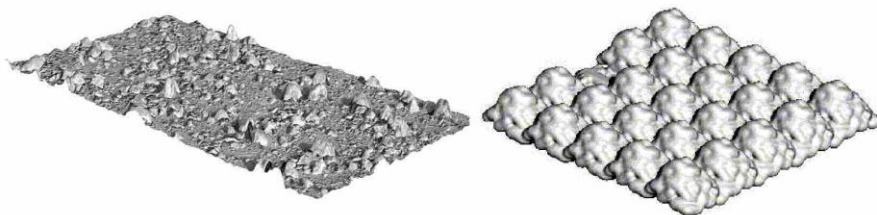
Wirtualne powierzchnie są podobne do swoich rzeczywistych odpowiedników (rys. 5). Wirtualna powierzchnia uprawna Bc, tak jak w rzeczywistości, ma wyraźne bruzdy. Ich wyrazistość określona jest parametrem $0 < b < 1$. Powierzchnie całkowicie pozbawione bruzd cechują się $b=1$. Im większa nieregularność kształtu rzeczywistych powierzchni, tym również większa szorstkość ich wirtualnych odpowiedników. Duże nieregularności powierzchni Lm, o niekierunkowym kształcie, są symulowane za pomocą wartości $a=b=1$ i $c=0,65$. Względnie gładką powierzchnię zasolonej gleby Ks symulują małe wartości $a=c=0,25$.

Na trzech przykładach przedstawiono typowe relacje pomiędzy parami znormalizowanych do nadiru funkcji rozkładu hemisferyczno-kierunkowego odbicia *NHDRDF* badanych powierzchni, wygenerowanych za pomocą powierzchni wirtualnych i ustalonych z nie wygładzonych pomiarów polowych (rys. 6).

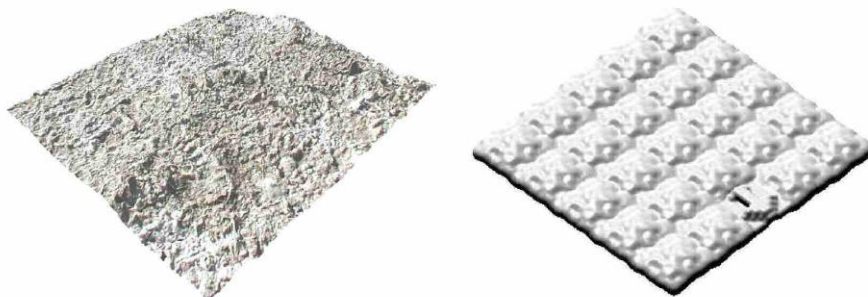
Posługując się syntetyczną powierzchnią symulującą gleby uprawne z mikroreliefem bruzdowym Bc, pokazano jak silny wpływ na hemisferyczno-kierunkowe odbicie od gleb ma nie tylko pozycja zenitalna Słońca θ_s , ale też stan atmosfery charakteryzowany grubością atmosfery τ (rys. 7). Niskie wartości τ ,

odnoszą się do nie zachmurzonego nieba i bardzo czystej atmosfery, natomiast wyższe do prawie równomiernie zachmurzonego nieba o małej przezroczystości atmosfery.

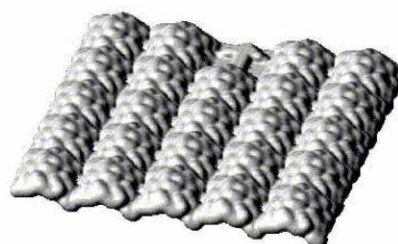
Lm $a = 1,0; b = 1,0; c = 0,65$



Ks $a = 0,25; b = 1,0; c = 0,25$

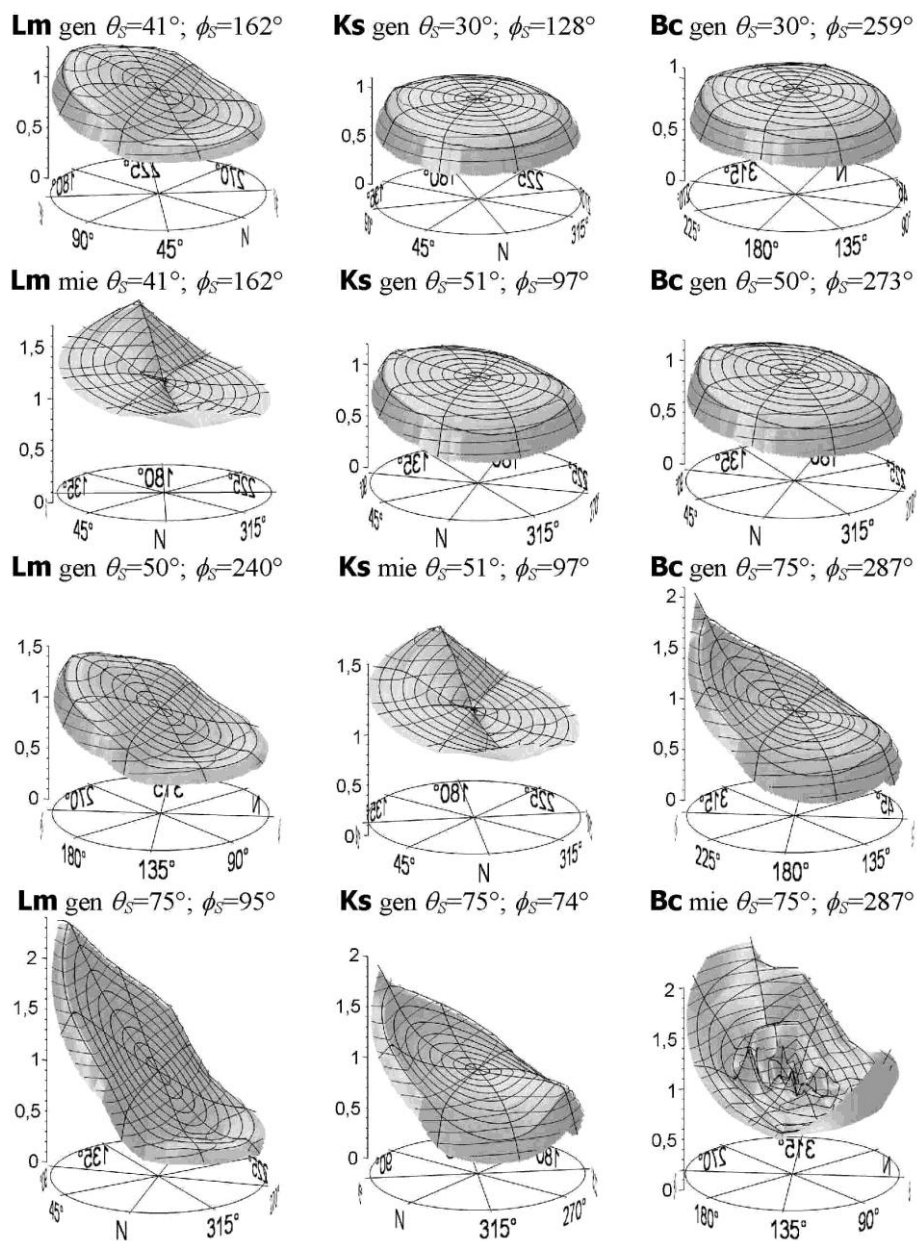


Bc $a = 0,5; b = 0,25; c = 0,5$

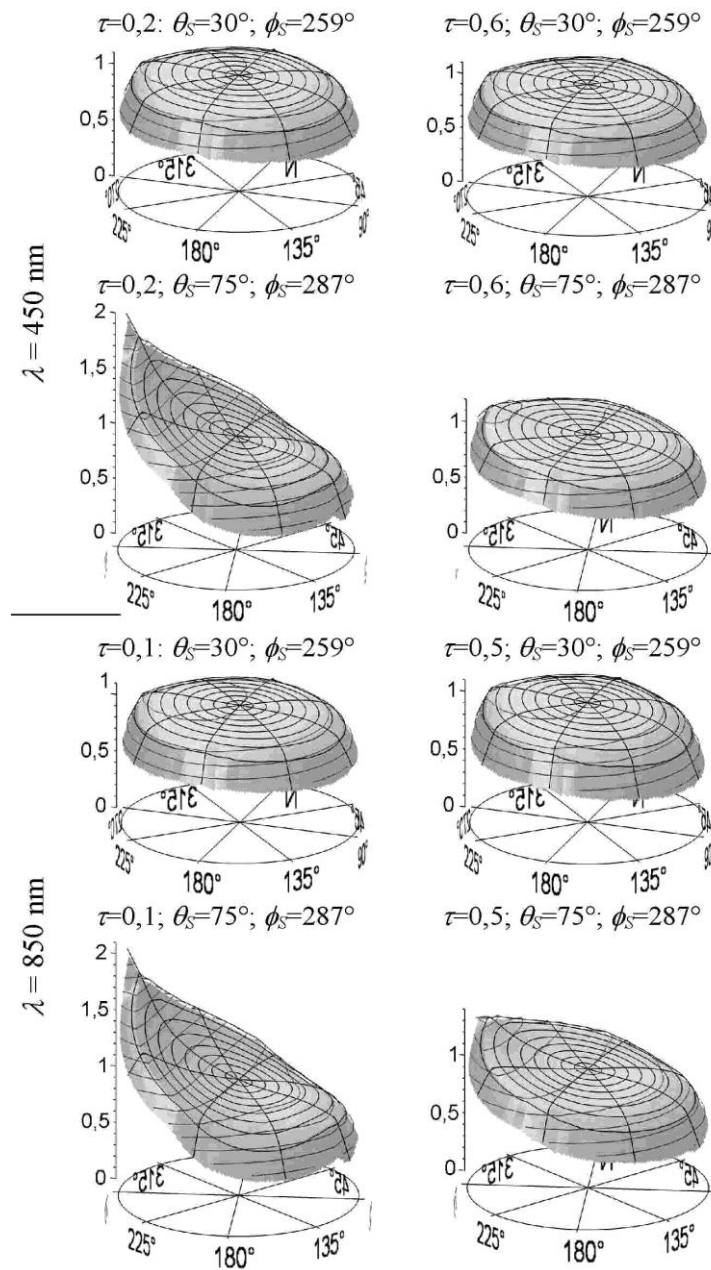


Rys. 5. Wygląd testowanych powierzchni glebowych wraz z ich wirtualnymi odpowiednikami w podobnych warunkach oświetlenia i obserwacji (strzałka na powierzchniach wirtualnych wskazuje kierunek północy)

Fig. 5. View of the tested soil surfaces with their virtual equivalents at the similar illumination and viewing conditions (the arrow on virtual surfaces shows the North direction)



Rys. 6. Znormalizowane funkcje *NHDRDF* badanych powierzchni, wygenerowane (gen) i zmierzone (mie), dla 850 nm w warunkach czystego nieba dla grubości atmosfery $\tau=0,1$ w wybranych kątach zenitalnych θ_s i azymutalnych ϕ_s Słońca
 Fig. 6. Normalized *NHDRDF* functions of the studied soil surfaces, generated (gen) and measured (mie), for 850 nm in clear sky condition for the atmosphere thickness $\tau=0.1$ and chosen solar zenith θ_s and azimuth ϕ_s angles



Rys. 7. Wygenerowane znormalizowane funkcje *NHDRDF* powierzchni z bruzdami Bc w wybranych warunkach oświetlenia opisanych długością fali λ , grubością atmosfery τ i kątami Słońca, zenitalnym θ_s i azymutalnym ϕ_s

Fig. 7. Generated normalized *NHDRDF* functions of the furrowed surface Bc for 850 nm in chosen sky conditions described by the wavelength λ , the atmosphere thickness τ and solar zenith θ_s and azimuth ϕ_s angles

Poprawność rozkładu odbicia spektralnego generowanego za pomocą powierzchni wirtualnych

Poprawność funkcjonowania omawianego modelu wraz z powierzchniami wirtualnymi oszacowano metodą analizy regresji liniowej pomiędzy wartościami wskaźników hemisferyczno-kierunkowego odbicia pomierzonych luminancjometrem na wybranych powierzchniach i wygenerowanych dla nich przez model. Zastosowana procedura polegała na doborze takich wartości parametrów a , b i c , które dawały możliwie jak najmniejszy średni błąd kwadratowy rms pomiędzy danymi pomierzonymi a wygenerowanymi za pomocą omawianego modelu dla wszystkich analizowanych długości fali:

$$rms = \min \left(\sum \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_{n_v=1}^{n_v} \left(M_{\theta_s, \phi_s, \theta_v, \phi_v, \phi_c} - P_{\theta_s, \phi_s, \theta_v, \phi_v, \phi_c, s} \right)^2} \right),$$

gdzie n_v jest liczbą analizowanych danych, $M_{\theta_s, \phi_s, \theta_v, \phi_v, \phi_c}$ jest zmierzoną wartością odbicia dla danych kątów θ_s , ϕ_s , θ_v , ϕ_v i ϕ_c a $P_{\theta_s, \phi_s, \theta_v, \phi_v, \phi_c, s}$ jest wartością przewidywaną przez model dla tych kątów i zestawu s parametrów a , b i c . Poszukiwany zestaw tych parametrów określa minimalna wartość błędu rms (tab. 2). Generując hemisferyczno-kierunkowe odbicie dla testowanych powierzchni, przyjęto następujące założenia: liczba kul w jednostce odzyskiwanej powierzchni wirtualnej $n=1600$; liczba punktowych źródeł światła $m=297$; powierzchnie są oświetlone jak dla bezchmurnego nieba, tj. z wartościami stałych: $c_1=0,201$, $c_2=0,02$, $c_3=-7,8$, $c_4=0,148$; rozproszenie światła na powierzchni symulowanej gleby jest niby lambertowskie, charakteryzowane przez stałą $\alpha=6$. Wartości parametrów a , b i c były dopasowywane z dokładnością 0,05, a parametry opisujące warunki oświetlenia i obserwacji, θ_s , ϕ_s , θ_v , i ϕ_v , przyjmowane jako wartości zmierzone.

Tabela 2

Średni błąd kwadratowy rms procedury dopasowania powierzchni wirtualnych do zmierzonych danych spektralnych testowanych powierzchniach
Root mean square error rms of the virtual surface fitting for measured spectral data of the tested surfaces

Data pomiaru	miejsce	symbol	rms
17.08.1997	Poznań	Lm	0,057
15.07.2002	Kelecze	Ks	0,066
14.07.2003	Beer Sheva	BSc	0,089

Błąd rms ustalono w stosunku do mierzonych wartości luminancji M po skalibrowaniu luminancjometru. Wyraźnie mniejszą dokładność dopasowania uzyskano dla odbicia od zbrylonej powierzchni uprawnej z mikroreliefem bruzdowym (Bc).

4. Podsumowanie

Przedstawione tu powierzchnie wirtualne, umożliwiają z zadawalającą poprawnością przewidywanie obrazu różnych powierzchni gleb uprawnych i nieuprawnych w zmieniających się warunkach ich oświetlenia i obserwacji.

Model ten mógłby posłużyć jako narzędzie do: 1) generowania kierunkowego odbicia od jakiejś powierzchni, jako uzupełniających danych do pomierzonych wartości, które są trudne, albo niemożliwe do zmierzenia, 2) poprawnego wyliczenia albedo różnych powierzchni uprawnych i nieuprawnych oraz 3) przetwarzania teledetekcyjnych danych glebowych zarejestrowanych w różnych warunkach oświetlenia i widzenia do warunków standardowych przed ich klasyfikacją, co ma szczególne znaczenie przy interpretacji danych pozyskiwanych za pomocą sensorów o dużym polu widzenia oraz wąskim polu widzenia, ale odnoszących się do istotnie różnych kierunków ich obserwacji.

Niniejsza praca została wykonana przy wykorzystaniu materiałów projektu badawczego „Wirtualne powierzchnie do przewidywania obrazu gleb w zmieniających się warunkach oświetlenia i obserwacji ich powierzchni”, sfinansowanego w 2002 roku przez Rektora Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Literatura

- Cierniewski J., Baret F., Verbrugge M., Hanocq J., and Jacquemud (1996): Geometrical modelling of soil bidirectional reflectance incorporating specular effects. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 3691-3704.
- Cierniewski J. and Verbrugge M., (1997): Influence of soil surface roughness on soil bidirectional reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 18: 1277-1288.
- Cierniewski, J. and Marlewski, A. (1998). Model for inferring soil surface roughness from soil directional reflectance data. *Future Trends in Remote Sensing*, A.A. BALKEMA, Rotterdam, Brookfield: 85-90.
- Cierniewski J. (1999): Geometrical modelling of soil bidirectional reflectance in the optical domain. *Bogucki Wydawnictwo Naukowe*, pp. 148.
- Cierniewski J. and Verbrugge M. (2002): Effects of farming works on soil surface bidirectional reflectance measurements and modelling. *International Journal of Remote Sensing*, 23/6: 1075-1094.
- Cierniewski J. Gdala T. and Karnieli A. (2004): A hemispherical-directional reflectance model as a tool for understanding image distinctions between cultivated and uncultivated bare surfaces. *Remote Sensing of Environment*, 90: 505-523.
- Grant R. H., Gao W. and Heisler G. M. (1996): Photosynthetically-active radiation: sky radiance distributions under clear and overcast conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 82: 267-292.
- Karnieli A. and Cierniewski J. (2001): Inferring the roughness of desert rocky surfaces from their bidirectional reflectance data. *Advances in Space Research*, 28/1: 171-176.

Recenzował: prof. dr hab. Katarzyna Dąbrowska-Zielińska