

Jerzy Cierniewski  
Jan Piekarczyk  
Adam Marlewski

## MODEL OBRAZU GLEB UPRAWNYCH W ZAKRESIE OPTYCZNYM

### Streszczenie

Omówiony w niniejszej pracy model, opisujący dwukierunkowe odbicie od powierzchni gleb poddanych zabiegom uprawowym, wykorzystano do ilościowego określenia wpływu rozmycia przez deszcz powierzchni zaoranych i bronowanych na tle oddziaływania kierunkowości tych zabiegów względem pozycji Słońca. Dane modelowane wskazują, że wpływ deszczu uwidacznia się najwyraźniej w kierunkach odslonecznych. Świeżo wykonana orka zapewnia większą zmienność wskaźnika znormalizowanego odbicia  $NR$  w funkcji kąta zenitalnego obserwacji niż świeżo wykonane bronowanie. Wskaźnik  $NR$  jest o 5-25% wyższy dla świeżo wykonanej orki niż dla świeżo wykonanego bronowania. Z kolei w stosunku do tego ostatniego zabiegu, powierzchnie zaorane i bronowane rozmyte przez odpowiednio intensywny deszcz cechują się o 5-10% niższym  $NR$ . Podobnie silny jak wpływ deszczu na zmienność wskaźnika  $NR$  ma kąt oświetlenia bruzd świeżo zaoranych powierzchni.

### 1. Wstęp

Nieregularności powierzchni gleb, wynikające z ich uziarnienia, zbrylenia, a także mikroreliefu tworzonego poprzez zabiegi uprawowe, są przyczyną ich częściowego zacienienia. Zacienione fragmenty gleby są ciemniejsze od tych bezpośrednio oświetlonych promieniami słonecznymi. Gleby uprawne, pozbawione pokrywy roślinnej i nie wykazujące ponadto wyraźnych cech odbicia zwierciadlanego, wydają się jaśniejsze, gdy obserwowane są z kierunków, z których dostrzega się mniejszy udział ich zacienionych fragmentów [Graetz, Gentle, 1982]. Modele geometryczne opisujące kierunkowe odbicie od powierzchni gleb zakładają, że zacienienie powierzchni gleb ma większy wpływ na rozkład tego odbicia niż właściwości odbiciowe samego materiału glebowego. Ponadto, materiał ten jako bezpośrednio oświetlony, rozprasza energię w zakresie optycznym równomiernie we wszystkich kierunkach [Norman i in., 1985; Cooper i Smith, 1985; Cierniewski, 1987; Irons i in., 1992]. Później publikowane modele uwzględniają obok dyfuzyjnego komponentu w odbiciu od gleby, także komponent zwierciadlany [Cierniewski i Verbrughe, 1997; Cierniewski 1999].

W niniejszej pracy zastosowano kolejny model geometryczny dla prześledzenia wpływu rozmycia przez deszcz powierzchni poddanych kierunkowym zabiegom uprawowym, takim jak orka i bronowanie, na dwukierunkowe odbicie od gleb w zakresie optycznym. Niniejszy wpływ analizowano ilościowo na tle oddziaływania kierunku wykonania zabiegów względem pozycji Słońca, dokładniej omówionego we wcześniejszej publikacji autorów

niniejszej pracy [Cierniewski i in., 1999]. Obecna, jak i poprzednia praca, były finansowane przez Komitet Badań Naukowych w ramach projektu badawczego 6P04E 02316.

## 2. Metody badań

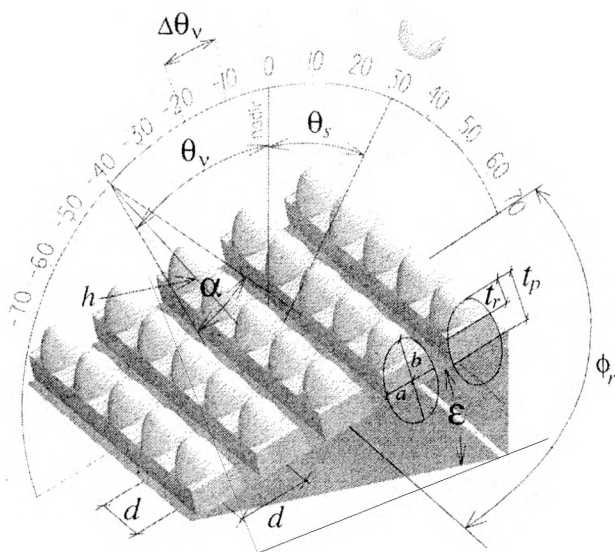
Badania wykonywano w maju i lipcu 1999 roku na 5 poletkach doświadczalnych koło Poznania (52,40°N, 16,84°E). Ich powierzchnię, wytworzoną z piasku słabo gliniastego, najpierw zaorano pługiem trójskibowym, a potem wyrównano przy użyciu brony średniej. Zabiegi te wykonywano w 5 różnych kierunkach. Na powierzchniach, świeżo poddanych wspomnianym zabiegom uprawowym i po ich rozmyciu przez deszcz (przez 52 mm i 16 mm opad odpowiednio na powierzchniach zaoranych i bronowanych), wykonywano kierunkowe pomiary luminancji. Dokonywano ich za pomocą 5-kanałowego luminancjometru polowego CIMEL CE 313-21 o polu widzenia  $\alpha$  10°, działającego w zakresie od 450 do 1650 nm. Luminancję mierzono w głównej płaszczyźnie słonecznej GPS pod 15 różnymi kątami zenitalnymi obserwacji  $\theta_v$  od -70°, poprzez 0°, do +70° w odstępach co 10° przy kątach zenitalnych Słońca  $\theta_s$  oraz kątach poziomych  $\phi_s$ , opisujących kąt pomiędzy kierunkiem Słońca a kierunkiem wykonania zabiegu uprawowego zestawionych w tabeli 1. Luminancję powierzchni zaoranych i bronowanych mierzono odpowiednio z odległości  $h$  300 i 215 cm.

Tabela 1. Wartości kąta zenitalnego Słońca  $\theta_s$  oraz kąta oświetlenia bruzd  $\phi_s$  badanych powierzchni

Świeżo zaorana		zaorana, po deszczu		Świeżo bronowana		Bronowana, po deszczu	
$\theta_s$ (°)	$\phi_s$ (°)	$\theta_s$ (°)	$\phi_s$ (°)	$\theta_s$ (°)	$\phi_s$ (°)	$\theta_s$ (°)	$\phi_s$ (°)
46,2	37	45,1	4	44,2	71	46,6	60
47,2	85	45,3	2	46,3	10	47,1	10
50,8	46	47,6	10	49,2	53	47,9	30
51,8	84	50,5	69	51,5	2	48,5	77
53,3	9	51,7	77	52,2	40	54,4	41
54,3	56	53,9	16	54,8	88	54,9	87
62,5	45	55,1	78	63,7	14	62,2	12
63,4	71	56,9	26	65,4	16	62,3	83
64,0	27	65,3	85	66,3	58	64,3	14
-	-	66,1	8	67,6	75	67,3	75

Wykorzystany w pracy model ustala rozkład wskaźnika promieniowania elektromagnetycznego odbitego w zakresie optycznym od szorstkiej powierzchni glebowej, poddanej kierunkowym zabiegom uprawowym [Cierniewski i in., 1999]. Szorstkość ta wynika z obecności różnej wielkości i różnego kształtu cząstek i agregatów glebowych rozłożonych na jej powierzchni rzędowo, tworząc rodzaj bruzd wzdłuż kierunku wykonywania tych zabiegów. Szorstką powierzchnię glebową symulują nieprzezroczyste, równej wielkości elipsoidy o półosi poziomej  $a$  i pionowej  $b$ , rozłożone w siatce kwadratów o boku  $d$ , odpowiadającym

odległości między rzędami wspomnianych bruzd (rys. 1). Elipsoidy leżą na stoku, nachylonym pod kątem  $\varepsilon$ . Orientację tego stoku określają dwie równoległe do siebie płaszczyzny: niżej usytuowana, przebiegająca w dnie zagłębień między bruzdami oraz wyżej położona, stanowiąca podstawę grzbietu tych bruzd. Elipsoidy są wcisnięte w niżej i wyżej położoną płaszczyznę tak, że ich wierzchołki wystają nad nie odpowiednio na wysokość  $t_p$  i  $t_r$ . Struktura ta oświetlona jest bezpośrednio padającymi na nią promieniami słonecznymi, opisanymi kątem zenitalnym  $\theta_s$  oraz światłem dyfuzyjnym nieba o wskaźniku energii  $f_{di}$ , definiowanym jako ułamek energii bezpośrednio docierającego promieniowania słonecznego. Ponad strukturą umieszczony jest sensor, obserwujący ją wzdłuż głównej płaszczyzny słonecznej GPS. Obserwacja jest dokonywana pod kątem zenitalnym  $\theta_v$ , w odstępach co  $\Delta\theta_v$ , w kierunkach dosłonecznych i odsłonecznych, przyjmujących odpowiednio wartości ujemne i dodatnie. Sensor wycelowany jest stale w ten sam punkt rozpatrywanej powierzchni, znajdujący się od niego w odległości  $h$ . Pole widzenia sensora określa kąt  $\alpha$ . Położenie granicy rozdzielającej bezpośrednio oświetlone i zacienione fragmenty badanej struktury ustalane jest za pomocą odpowiednich równań trygonometrycznych, uwzględniając wzajemne przesłanianie obserwowanych z danego kierunku fragmentów elipsoid i odcinka stoku między nimi. Obliczenia prowadzone są dwukrotnie, zakładając, że GPS przebiega wzdłuż i prostopadle do kierunku bruzd.



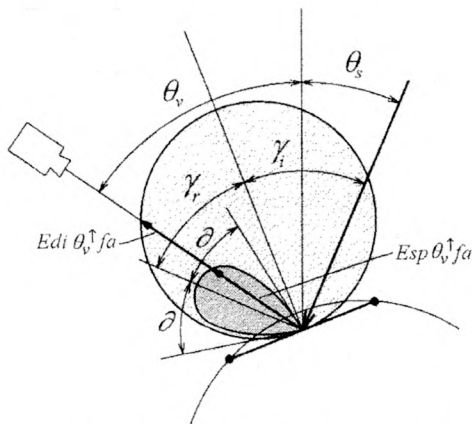
Ryc. 1. Geometria oświetlenia i obserwacji symulowanej powierzchni gleby uprawnej

Ilość energii docierającej do bezpośrednio oświetlonych fragmentów symulowanej struktury glebowej oblicza się za pomocą wskaźnika  $Ei_{v \downarrow fa}$ :

$$Ei_{v \downarrow fa} = \cos\theta_s \cos\beta + \sin\beta + \sin\theta_s \cos(\phi_r - \phi_s),$$

gdzie:  $\beta$  jest kątem nachylenia elementarnego fragmentu tej struktury, a  $\phi_r$  i  $\phi_s$  są kątami azymutalnymi opisującymi odpowiednio położenie stoku glebowego i Słońca. Wskaźnik  $Ei_{v \downarrow fa}$  wyraża cosinus kąta padania promieni  $\gamma$  względem normalnej do rozpatrywanego

elementarnego fragmentu  $fa$ . Bezpośrednio padające promieniowanie odbijane jest zarówno w sposób dyfuzyjny, jak i zwierciadlany, przy czym ich wektory w dwuwymiarowej płaszczyźnie tworzą odpowiednio kształt okręgu oraz wydłużonej elipsy (rys. 2). Długość wektorów komponentu zwierciadlanego, jako światło niespolaryzowanego, zależy od kąta  $\gamma$  i współczynnika załamania światła  $n$  o określonej długości fali i jest wyliczana za pomocą równań Fresnela. Wektor energii odbitej w sposób zwierciadlany  $Esp_{\theta_v} \uparrow_{fa}$  jest zorientowany w taki sposób, że kąt padania  $\gamma_i$  równa się kątowi odbicia  $\gamma_r$ . Efekty odbicia zwierciadlanego dostrzegane są przez sensor tylko w ograniczonym zakresie, definiowanym przez kąt  $2\delta$  wokół kierunku  $\gamma_r$ .



Rys. 2. Rozkład energii odbitej w sposób dyfuzyjny i zwierciadlany od elementarnego fragmentu struktury symulowanej powierzchni glebowej

Do fragmentów bezpośrednio oświetlonych promieniami, jak i zacienionych, dociera także światło dyfuzyjne nieba. Jego wartość  $Esk \downarrow_{fa}$  jest redukowana poprzez obecność sąsiednich elipsoid, ograniczających jego dopływ w stosunku do sytuacji, gdy dociera ono z całej półkuli przestrzeni trójwymiarowej. Wskaźnik luminancji symulowanej powierzchni glebowej, obejmującej oświetlone oraz zacienione elementarne jej fragmenty, widziane z określonego kierunku  $\theta_v$  wzdłuż określonego przekroju  $pr$  definiowany jest jako:

$$L_{\theta_v} \uparrow_{pr} = \sum_{i=1}^j \left[ \left( E_{is} \theta_v \uparrow_{fa(i)} + Esk \uparrow_{fa(i)} \right) \xi_{i_{fa(i)}} \right] + \sum_{i=1}^j \left( Esk \uparrow_{fa(i)} \cdot \xi_{s_{fa(i)}} \right)$$

gdzie  $i$  jest  $i$ -tym fragmentem analizowanej struktury,  $\xi_{i_{fa}}$  oraz  $\xi_{s_{fa}}$  są odpowiednio elementarnymi kątami widzenia oświetlonych i zacienionych fragmentów. Luminancja odbierana przez sensor z całego jego pola widzenia  $L_{\theta_v} \uparrow_{FOV}$  jest średnią wartością luminancji z poszczególnych przekrojów  $L_{\theta_v} \uparrow_{pr}$  oraz przestrzeni między elipsoidami. Kiedy modelowanie kierunkowego odbicia spektralnego ma odnosić się do sytuacji, gdy główna płaszczyzna słoneczna  $GPS$  nie przebiega ani równoległe, ani prostopadle do kierunku bruzd, to luminancję  $L_{(\phi_r, \theta_v)} \uparrow_{FOV}$  tak oświetlonej powierzchni obliczana jest według równania:

$$L_{(\phi_r, \theta_v)} \uparrow_{FOV} = Lr_{\theta_v} \uparrow_{FOV} \left( 1 - \frac{\psi}{90^\circ} \right) + Lp_{\theta_v} \uparrow_{FOV} \frac{\psi}{90^\circ},$$

gdzie  $Lr_{\theta_v}$  i  $Lp_{\theta_v}$  są wartościami luminancji obliczonymi odpowiednio wzdłuż i prostopadle do kierunku bruzd, a  $\psi$  jest kątem poziomym mierzonym między  $GPS$  i kierunkiem przebiegu wspomnianych bruzd. Ostatecznie odbicie od szorstkiej powierzchni gleby wzdłuż głównej płaszczyzny słonecznej  $GPS$  jest opisywane za pomocą znormalizowanego wskaźnika  $NR_{(\phi_v=GPS, \theta_v)}$ , definiowanego jako stosunek całkowitej luminancji powierzchni gleby mierzonej skośnie do jej luminancji mierzonej w kierunku nadiru. Zakładając, że wskaźnik ten w płaszczyźnie do niej prostopadłej  $PP$  dla każdego kąta  $\theta_v$  przyjmuje wartość 1, rozkład  $NR_{(\phi_v=GPS, \theta_v)}$  we funkcji kąta azymutalnego  $\phi_v$  pomiędzy  $GPS$  a  $PP$  ma przebieg prostoliniowy i jego wartość  $NR_{(\phi_v, \theta_v)}$  dla dowolnie zorientowanej płaszczyzny może być definiowana jako:

$$NR_{(\phi_v, \theta_v)} = NR_{(\phi_v=GPS, \theta_v)} \left( 1 - \frac{\phi_v}{90^\circ} \right) + \frac{\phi_v}{90^\circ},$$

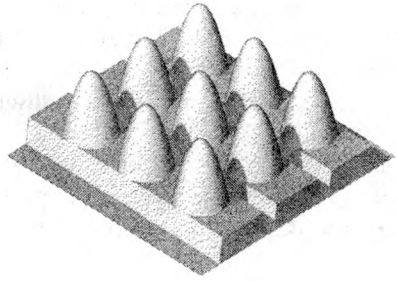
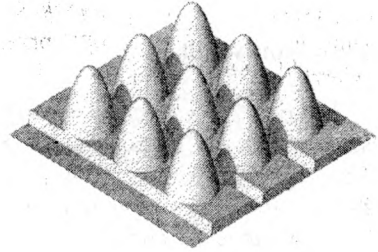
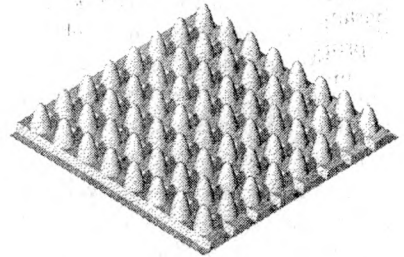
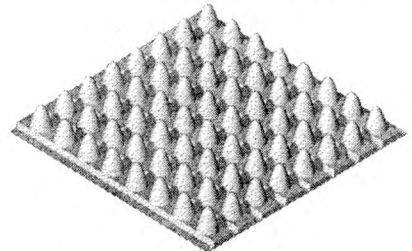
gdzie  $\phi_v$  jest względnym poziomym kątem określającym odległość kątową od  $GPS$ .

### 3. Omówienie wyników

Zaorane powierzchnie tworzyły bruzdy o głębokości około 7 cm, przebiegające w rozstawie co 28 cm. Zabronowanie spowodowało rozdrobnienie największych brył. Bruzdy po tym zabiegu, o średniej głębokości 2,8 cm, przebiegały w rozstawie co 12 cm (rys. 3). Rozmycie tych powierzchni przez deszcz zmniejszyło zasadniczo nieregularności ich powierzchni mniejsze od kilku milimetrów.

Rozkład wskaźnika znormalizowanego odbicia  $NR$  od badanych powierzchni uprawnych we funkcji kąta zenitalnego obserwacji  $\theta_v$  dla pięciu mierzonych kanałów wykazuje bardzo niewielkie zróżnicowanie. Choć w niniejszej pracy prezentowane krzywe wskaźnika  $NR$  analizowanych powierzchni odnoszą się tylko do jednego wybranego kanału, 850 nm, to charakteryzują one również w bardzo podobny sposób pozostałe kanały.

Poprawność funkcjonowania omawianego modelu oszacowano metodą analizy regresji liniowej wartości wskaźników znormalizowanego odbicia  $NR$ , mierzonych za pomocą luminancjometru na badanych powierzchniach uprawnych i wygenerowanych przez model za pomocą parametrów uzyskanych przez odwrócenie działania tego modelu. Zestaw parametrów, wyobrażających geometrię powierzchni i jej właściwości odbiciowe, zaproponowano nazywać „powierzchnią wirtualną” (Cierniewski, 1998). Właściwe wartości parametrów ( $a$ ,  $b$ ,  $d$ ,  $t_p$ ,  $i$ ,  $t_r$ ,  $n$  i  $f_{\text{fil}}$ ) tworzące wirtualne powierzchnie badanych gleb uzyskano za pomocą specjalnie przygotowanej procedury. W pierwszym etapie dla danej powierzchni obliczano średni błąd kwadratowy między danymi  $NR$  pomierzonymi a wygenerowanymi za pomocą modelu dla danych warunków jej oświetlenia, określonych kątami  $\theta_v$  i  $\phi_v$ .

**Zaorana, po deszczu****Świeżo zaorana****Zaorana, po deszczu****Bronowana, po deszczu****Świeżo bronowana****Bronowana, po deszczu**

Rys. 3. Rzeczywiste powierzchnie rozmyte przez deszcz, zaorana i bronowana, na tle ich wirtualnych odpowiedników bezpośrednio po wykonaniu zabiegów uprawowych i po deszczu

Odległość  $d$  między elipsoidami zgodnie z założeniami modelu odpowiada odległości między rzędami brzd powstałych w trakcie wykonywania zabiegów uprawowych. Przyjęto, że współczynnik  $n$  dla fali podczerwonej o długości 850 nm wynosi 2,5, a wskaźnik  $f_{di}$ , 0,05. Kąt nachylenia stoku  $\varepsilon$  wynosił 0, a pozostałe parametry opisujące warunki oświetlenia i obserwacji analizowanych powierzchni,  $\theta$ ,  $\phi$ ,  $h$ ,  $\alpha$ , były przyjmowane poprzez ich zmierzenie. W drugim etapie dla wszystkich zestawów parametrów  $a$ ,  $b$ ,  $d$ ,  $t_p$ ,  $t_r$ ,  $n$  i  $f_{di}$  danej powierzchni obliczano ich sumę. Za najwłaściwszy zestaw wartości parametrów umożliwiających przewidywanie kierunkowego odbicia spektralnego od danych powierzchni z jak najmniejszym błędem, uznawano ten, dla którego powyższa suma była najmniejsza. W przyjętej procedurze wykorzystano po 9-10 krzywych  $NR$  dla każdej z 4 badanych powierzchni. Każda krzywa zawierała od 13 do 14 par wartości  $NR$ . Z obliczeń średniego błędu kwadratowego rms wyłączono bowiem te pary danych  $NR$ , dla których luminancjometr miał w swoim polu widzenia również fragmenty gleby przez siebie zacienione.

Stosując opisaną procedurę ustalono, że odbicie kierunkowe w zakresie bliskiej podczerwieni od badanych powierzchni z najmniejszym błędem może być przewidywane za pomocą następujących powierzchni wirtualnych, wyobrażonych na rys. 3 i scharakteryzowanych parametrami zestawionymi w tabeli 2. Powierzchnie wirtualne gleb zaoranych, jak i bronowanych tworzą elipsoidy o znacznym pionowym wydłużeniu. Elipsoidy powierzchni zaoranych, są około 2,5-krotnie większe i o około 20% bardziej wydłużone. Półosie pionowe  $b$  elipsoid świeżo przeprowadzonych zabiegów są o 5-15% dłuższe od elipsoid charakteryzujących powierzchnie rozmyte przez deszcz. Elipsoidy te niewiele wystają ponad płaszczyznę stoku, przy czym ich wysokość ponad tę płaszczyznę  $t$  jest większa poprzecznie do kierunku uprawy; odpowiednio o 40% i 35% dla świeżo zaoranej i rozmytej przez deszcz gleby. Porównując kształt omawianych powierzchni wirtualnych z ich rzeczywistymi odpowiednikami widać wyraźnie, że powierzchnie syntetyczne tworzą około 5-krotnie wyższe nieregularności.

Tabela 2. Zestaw parametrów geometrycznych dla modelowania kierunkowego odbicia od badanych powierzchni glebowych

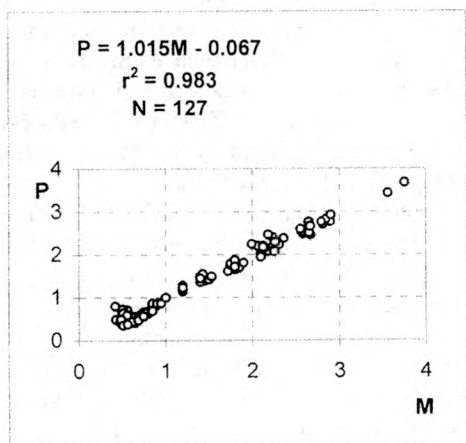
Powierzchnie uprawne:	Parametry:				
	$a$ (cm)	$b/a$	$d/a$	$t_p/a$	$t_r/a$
Świeżo zaorana	20	8,5	1,4	1,75	1,25
Zaorana, po deszczu	20	8,0	1,4	1,50	1,25
Świeżo bronowana	7,5	8,0	1,6	1,75	1,3
Bronowana, po deszczu	7,5	7,0	1,6	1,50	1,2

$a$  – pozioma półoś elipsoid;  $b$  – pionowa półoś elipsoid;  $d$  – odległość między elipsoidami;  $t_p$  i  $t_r$  – wysokość wierzchołków elipsoid ponad płaszczyznę stoku odpowiednio w kierunku poprzecznym i równoległym do kierunku uprawy.

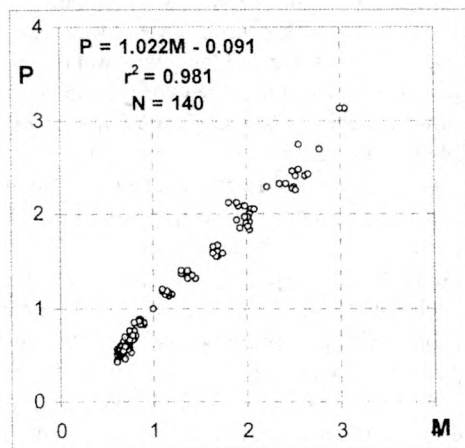
Wartości średniego błędu kwadratowego  $rms$  między mierzonymi a modelowanymi wartościami  $NR$ , określają poprawność działania tego modelu. Względnie niskie wartości tego błędu, obliczone dla poszczególnych krzywych  $NR$  badanych powierzchni uprawnych wzdłuż  $GPS$  przy zmieniających się warunkach ich oświetlenia (tab. 3), świadczą o poprawnym działaniu przedstawionego modelu. Mniejszy błąd tego modelu stwierdzono w odniesieniu do powierzchni rozmytych przez deszcz. Posługując się współczynnikiem determinacji  $r^2$  stwierdzono, że poprawność przewidywania wskaźnika znormalizowanego odbicia  $NR$  za pośrednictwem modelu dla wszystkich analizowanych powierzchni wynosi około 98% (rys. 4).

Duża dokładność omówionego modelu, pozwoliła wykorzystać go również jako narzędzi ilościowej analizy wpływu kierunku przeprowadzenia orki i bronowania względem pozycji Słońca oraz wpływu ich rozmycia przez deszcz.

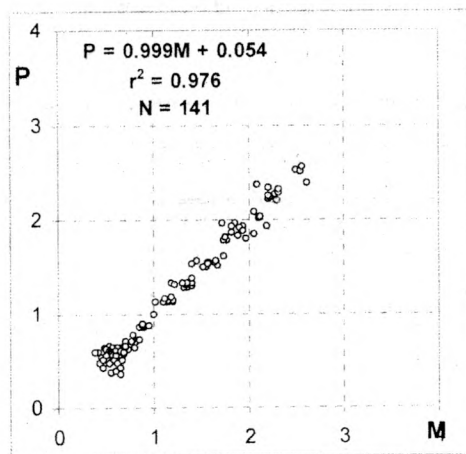
### Świeżo zaorana



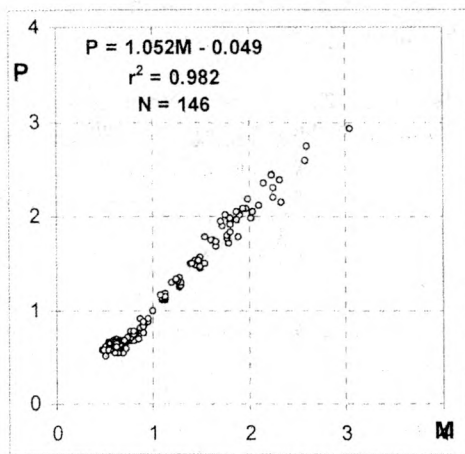
### Zaorana, po deszczu



### Świeżo bronowana



### Bronowana, po deszczu



Rys. 5. Zależność pomiędzy mierzonymi (M) i przewidywanymi za pomocą modelu (P) wartościami wskaźnika znormalizowanego odbicia  $NR$  badanych powierzchni.  $r^2$  jest współczynnikiem determinacji, a  $N$  jest liczbą par danych, wykorzystaną do obliczeń regresji.

Analizowano krzywe  $NR$  badanych powierzchni o współczynniku załamania światła  $n = 2,5$  dla fali o długości 850 nm odnoszące się do 3 istotnie różnych warunków oświetlenia opisanych kątami zenitalnymi Słońca  $\theta$ , 30°, 50° i 70° oraz stałego wskaźnika udziału światła



dyfuzyjnego  $f_{di} = 0,05$ . Krzywe te generowano posługując się parametrami geometrycznymi wyżej ustalonych powierzchni wirtualnych w głównej płaszczyźnie słonecznej  $GPS$ , w której zmienność  $NR$  w funkcji kąta zenitalnego obserwacji  $\theta_s$  jest największa (rys. 5).

Dane obrazujące wpływ rozmycia powierzchni glebowej przez deszcz wygenerowano dla warunków, gdy oświetlenie bruzd wytworzonych przez orkę i bronowanie, określone kątem poziomym  $\varphi_r$  między kierunkiem uprawy a  $GPS$ , wynosi  $90^\circ$  (rys. 5a). Uzyskane krzywe wskazują, że wpływ ten uwidacznia się najwyraźniej w kierunkach odśrodkowych, skąd wskaźnik znormalizowanego odbicia  $NR$  obu rozmytych powierzchni, zaoranej i bronowanej, jest prawie taki sam przy 3 analizowanych kątach zenitalnych Słońca  $\theta_s$ .

**Tabela 3. Średni błąd kwadratowy  $rms$  krzywych znormalizowanego odbicia  $NR$  od analizowanych powierzchni uprawnych w zakresie 850 nm przewidywanych przez model.  $\theta_s$  jest kątem zenitalnym Słońca, przy którym dokonywano pomiarów luminancji**

Świeżo zaorana		Zaorana, po deszczu		Świeżo bronowana		Bronowana po deszczu	
$\theta_s$ ( $^\circ$ )	$rms$	$\theta_s$ ( $^\circ$ )	$Rms$	$\theta_s$ ( $^\circ$ )	$rms$	$\theta_s$ ( $^\circ$ )	$rms$
46,2	0,032	45,1	0,016	44,2	0,032	46,6	0,029
47,2	0,040	45,3	0,026	46,3	0,031	47,1	0,027
50,8	0,026	47,6	0,025	49,2	0,029	47,9	0,017
51,8	0,039	50,5	0,025	51,5	0,030	48,5	0,024
53,3	0,036	51,7	0,026	52,2	0,026	54,4	0,029
54,3	0,023	53,9	0,034	54,8	0,032	54,9	0,025
62,5	0,024	55,1	0,016	63,7	0,037	62,2	0,013
63,4	0,032	56,9	0,013	65,4	0,041	62,3	0,026
64,0	0,039	65,3	0,043	66,3	0,031	64,3	0,012
-	-	66,1	0,041	67,6	0,033	67,3	0,026
Średni $rms$	0,032	Średni $rms$	0,026	Średni $rms$	0,032	Średni $rms$	0,023

Oznacza to, że szorstkość powodowana tymi zabiegami po odpowiednio intensywnym deszczu może nie różnicować dodatkowo zmienności obrazu powierzchni gleb. Świeżo wykonana orka zapewnia jednak większą zmienność  $NR$  w funkcji kąta zenitalnego obserwacji  $\theta_s$ , niż świeżo wykonane bronowanie. Wskaźnik  $NR$  we wspomnianym warunkach jest o 5-25% wyższy dla świeżo wykonanej orki niż dla świeżo wykonanego bronowania.  $NR$  tego ostatniego zabiegu jest z kolei o 5-10% wyższy od wskaźnika powierzchni zaoranych i bronowanych po rozmyciu przez deszcz.

Na tle danych obrazujących wpływ oświetlenia bruzd, wyrażonych kątem  $\varphi_r$ , (rys. 5b) zauważyć można, że podobnie silny jak wpływ deszczu na zmienność wskaźnika  $NR$  w funkcji  $\theta_s$  wzdłuż  $GPS$  ma kąt oświetlenia bruzd poddanych świeżo wykonanym zabiegom uprawowym, a szczególnie powierzchni świeżo zaoranych. Powierzchnie dostatecznie rozmyte przez deszcz ujawniają co najmniej 5% wpływ kąta  $\varphi_r$  na zmienność ich kierunkowego odbicia w omawianych warunkach tylko przy większych niż  $50^\circ$  kątach zenitalnych Słońca  $\varphi_r$ .

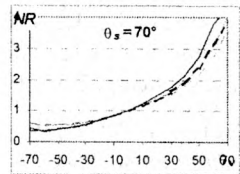
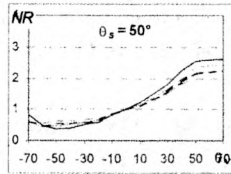
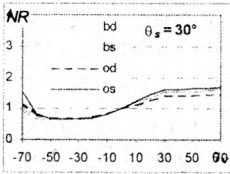
## Podsumowanie

Mikrorelief brzdowy, wytworzony w trakcie zabiegów uprawowych, takich jak orka i bronowanie, ze względu na kierunkowy rozkład tworzących go agregatów wykazuje zmienną szorstkość powierzchni glebowych w stosunku do kierunku wykonywania zabiegów. Decyduje o tym, że jasność powierzchni glebowych poddanych brzdowym zabiegom uprawowym zależy również od kąta poziomego pomiędzy główną płaszczyzną słoneczną a kierunkiem uprawy. Omówiony w niniejszej pracy model, opisujący dwukierunkowe odbicie od powierzchni uprawnych, wykorzystano do ilościowego określenia wpływu rozmycia przez deszcz pól zaoranych i bronowanych na tle oddziaływania kierunkowości tych zabiegów względem pozycji Słońca.

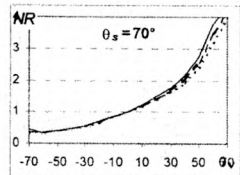
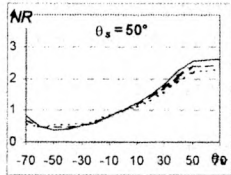
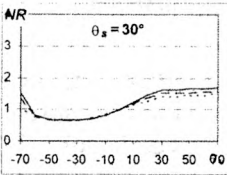
Model ten traktuje powierzchnię gleby jako płaszczyznę pokrytą siatką elipsoid obrotowych, o określonej wielkości i określonym kształcie, wciśniętych w płaszczyznę stoku. Parametrem geometrycznym różnicującym szorstkość symulowanej powierzchni glebowej względem kierunku uprawy jest mniejsza wysokość wierzchołków wspomnianych elipsoid ponad płaszczyznę stoku wzdłuż kierunku uprawy niż poprzecznie do niego. Niniejszy model zakłada, że odbicie fal elektromagnetycznych od gleby ma charakter dyfuzyjny, jak i zwierciadlany.

Dane wygenerowane za pomocą tego modelu, przy wykorzystaniu odpowiednich powierzchni wirtualnych, wskazują, że wpływ rozmycia powierzchni brzdowych uwidacznia się najwyraźniej w kierunkach odślonecznych. Świeżo wykonana orka zapewnia większą zmienność wskaźnika znormalizowanego odbicia  $NR$  w funkcji kąta zenitalnego obserwacji niż świeżo wykonane bronowanie. Wskaźnik  $NR$  jest o 5-25% wyższy dla świeżo wykonanej orki niż dla świeżo wykonanego bronowania. Z kolei w stosunku do tego ostatniego zabiegu, powierzchnie zaorane i bronowane rozmyte przez odpowiednio intensywne deszcze cechują się o 5-10% niższym wskaźnikiem  $NR$ . Podobnie silny jak wpływ deszczu na zmienność wskaźnika  $NR$  ma kąt oświetlenia brzd świeżo zaoranych powierzchni.

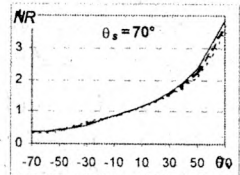
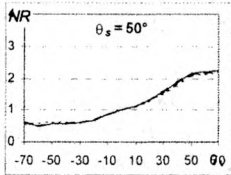
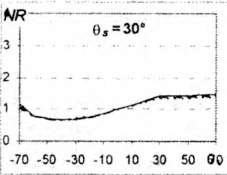
**a) Wpływ rozmycia przez deszcz**



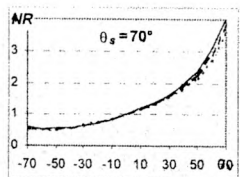
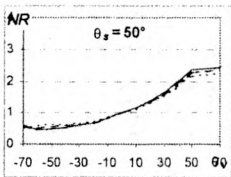
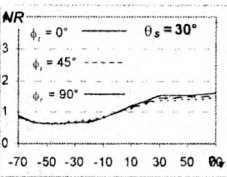
**b) Wpływ kierunku uprawy**  
Świeżo zaorana (os)



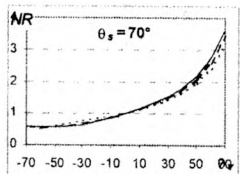
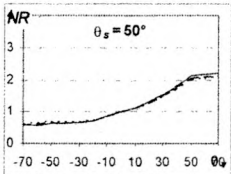
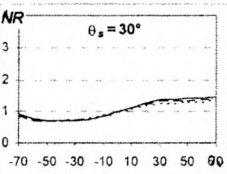
Zaorana, po deszczu (od)



Świeżo bronowana (bs)



Bronowana, po deszczu (bd)



Rys.5. Generowany przez model wpływ: a) rozmycia przez deszcz i b) kierunku oświetlenia brzozy analizowanych powierzchni względem pozycji Słońca

**Literatura**

1. 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, 23, 97-115.
2. Cierniewski J., Verbrugge M., 1997, *Influence of soil surface roughness on soil bidirectional reflectance*. International Journal of Remote Sensing, 18, 1277-1288.
3. Cierniewski J., 1998, *Wirtualne powierzchnie symulujące jasność gleb wzmieniających się warunkach ich oświetlenia i obserwacji*. Fotointerpretacja w Geografii, 27, 34-47.
4. Cierniewski J., 1999, *Geometrical modelling of soil bidirectional reflectance in the optical domain*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, pp. 148.
5. Cierniewski J., Piekarczyk J., Marlewski A., 1999, *Modelowanie kierunkowego odbicia od powierzchni gleb w zakresie optycznym z uwzględnieniem kierunku ich uprawy*. Fotointerpretacja w geografii, Problemy Telegeoinformacji, z. 30, 62-75.
6. Cooper K.D., Smith J.A., 1985, *A Monte Carlo reflectance model for soil surfaces with three-dimensional structure*. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 1GE-23, 668-673.
7. Graetz R.M., 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, 148, 1721-1736.
8. Irons J. R., Campbell G. S., Norman J. M., Graham D. W., Kovalick W. M., 1992, *Prediction and measurement of soil bidirectional reflectance*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30, 2, 249-260.
9. Norman J. M., Welles J. M., Walter E. A., 1985, *Contrast among bidirectional reflectance of leaves, canopies, and soils*. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 1GE-23, 659-667.

Recenzowała: dr inż. Beata Hejmanowska