

Michał Faryś

WPLYW ORKI NA DWUKIERUNKOWĄ CHARAKTERYSTYKĘ ODBICIA SPEKTRALNEGO OD POWIERZCHNI GLEB W ZAKRESIE OPTYCZNYM

Prezentowana praca ma na celu określenie wpływu orki na dwukierunkową charakterystykę odbicia spektralnego od powierzchni gleb w zakresie optycznym. Kierunkowość geometrii powierzchni gleb wymaga zbadania wpływu orientacji poziomej kierunku zabiegu na wartość odbicia od analizowanych powierzchni. Wyjaśnienia zjawiska dokonano za pomocą analizy pomiarów spektralnych od powierzchni trzech typów gleb różniących się barwą, składem granulometrycznym, sekwencją uziarnienia, zawartością materii organicznej. W wyniku badań stwierdzono, że wraz ze zmianą orientacji kierunku zabiegów względem promieni słonecznych, następują zmiany w rozkładzie znormalizowanego odbicia w funkcji kąta zenitalnego obserwacji.

1. Wstęp

Dwukierunkowa charakterystyka odbicia spektralnego od powierzchni gleb ma szczególne znaczenie w badaniach teledetekcyjnych. Pojęcie to odnosi się do opisu położenia dwóch elementów: katowej pozycji źródła światła i detektora [Milton E., 1987]. Zmiana kąta oświetlenia czy kąta obserwacji powoduje, że powierzchnia gleby o takich samych właściwościach morfologicznych i fizyko-chemicznych posiada zmienną jasność spektralną. W zakresie optycznym, obejmującym promieniowanie widzialne oraz bliską podczerwień, gleby zachowują się jak obiekty nielambertowskie [Baret F., Jacquemoud S., Hanocq J.F., 1993]. Oznacza to, że padające na nie promieniowanie odbija się w sposób nierównomierny we wszystkich kierunkach. Generalnie gleby wydają się być najjaśniejsze gdy rejestruje się najmniej powierzchni zacienionych w polu widzenia sensora. Dzieje się tak gdy kierunek padania promieni jest zgodny z kierunkiem oświetlenia i kąt obserwacji jest równy kątowi padania promieni słonecznych [Coulson K. L., 1966; Milton E., Webb J., 1987; Cierniewski J., 1987, 1997, 1999].

Nielambertowskie zachowanie powierzchni glebowych jest związane z szorstkością badanych powierzchni rozpatrywaną w mikro i makroskali. Orka tworzy na powierzchni gleb układ bruzd, wgłębień, rowków o charakterze kierunkowym. Zmienna jasność gleb po orce jest spowodowana również przez orientację kierunku uprawy względem poziomej pozycji Słońca.

Celem prezentowanej pracy jest poznanie wpływu orki na dwukierunkową charakterystykę odbicia spektralnego w zakresie optycznym od powierzchni gleb poddanych orce przy zmiennej orientacji płaszczyzny obserwacji i oświetlenia oraz różnym usytuowaniu geometrii powierzchni względem tych płaszczyzn.

2. Metoda badań

Do badań wybrano trzy gleby użytkowane rolniczo różniące się: barwą, składem granulometrycznym, sekwencją uziarnienia w profilu glebowym, zawartością materii organicznej. Wybrane gleby sklasyfikowano według systematyki gleb Polski na podstawie kryteriów genetycznych. Była to czarna ziemia właściwa (D), czarna ziemia zdegradowana (Dz) oraz gleba brunatna typowa (B). Powierzchnie gleb były poddane deszczowaniu w celu modyfikacji jej szorstkości.

Dane opisujące odbicie spektralne od gleb starano się tak gromadzić, aby:

- w pierwszej grupie badań uzyskać informacje o rozkładzie dwukierunkowej charakterystyki spektralnej od gleb po orce. Pomiarów prowadzono w głównej płaszczyźnie słonecznej (SPP), to znaczy w płaszczyźnie zawierającej płaszczyznę zenitalną położenia Słońca i płaszczyznę zenitalną obserwacji od powierzchni gleb jednakowo zorientowanych względem promieni słonecznych: orientacja skib (ϕ) const (90°);
- w drugiej grupie pomiarów poznać wpływ powstającej na skutek orki geometrii kierunkowej powierzchni gleby na rozkład odbicia spektralnego. Eksperyment prowadzono w SPP, a zmianie ulegała orientacja kierunku zabiegu na danej powierzchni względem promieni słonecznych — ϕ zmieniało się co 30° w zakresie od 0° do 90° ;
- w trzecim cyklu obserwacji zapoznać się ze zmianami dwukierunkowej charakterystyki spektralnej poza SPP przy stałej orientacji powierzchni gleb: ϕ const. (90°), a zmianie ulega kąt, przyjmując wartości kąta azymutalnego Słońca powiększony o 30° , 60° lub 90° .

Obserwacji powierzchni gleb dokonywano przy 15 kątach zenitalnych (VZA) od -70° (kierunek dosłoneczny), poprzez 0° (nadir) do $+70^\circ$ (kierunek odsłoneczny) w odstępach co 10° odpowiadającym pozycjom położenia głowicy urządzenia rejestrującego. Kierunkowe odbicie spektralne od wyżej wspomnianych powierzchni glebowych mierzono za pomocą luminancjometru polowego produkcji francuskiej CIMEL CE 313-21 o polu widzenia 10° . Urządzenie to rejestruje luminancję w 5 zakresach widma, odpowiadającym następującym długościom fali: 450 nm, 550 nm, 650 nm, 850 nm, 1650 nm.

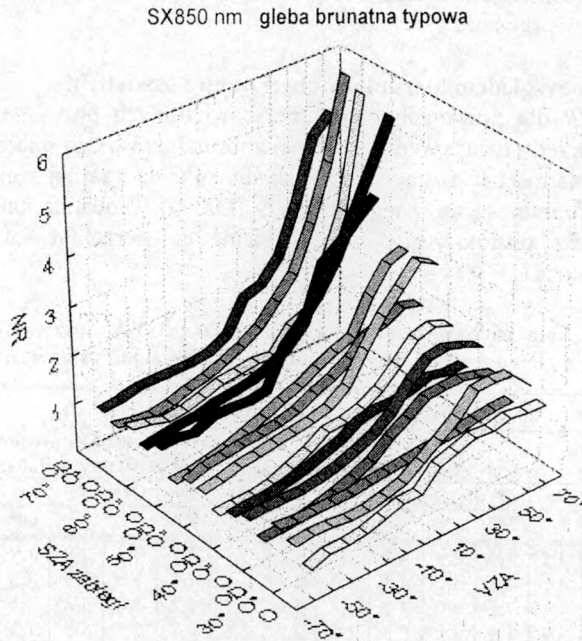
3. Wyniki

Wyniki pomiarów spektralnych powierzchni gleb przedstawiono w postaci wskaźnika znormalizowanego odbicia (*Normalize Reflectance*— *NR*). Miara ta wyraża stosunek wartości luminancji bezwzględnej badanej powierzchni, rejestrowanej przy danym kącie zenitalnym widzenia (VZA), do jej luminancji widzianej w kierunku nadiru.

W celu określenia ilościowych zmian w wartości współczynnika znormalizowanego odbicia od powierzchni po orce postanowiono zgeneralizować kształt krzywej obrazującej rozkład odbicia. Uproszczenie przebiegu krzywej pozwoliło na opisanie jej kształtu matematycznie. Wyznaczono punkty przegięcia funkcji a następnie wyliczono regresję liniową między tymi punktami. Taka analiza danych pozwoliła na ustalenie kąta nachylenia odcinków krzywej spektralnej względem osi odciętych. Na osi rzędnych umieszczono wartości *NR*, a na osi odciętych umieszczono wartości kąta zenitalnego widzenia (VZA). Kąt nachylenia odcinków krzywej stanowi tangens współczynnika kierunkowego równania regresji liniowej.

Dla wnikliwego poznania rozkładu odbicia spektralnego od wybranych gleb podzielono badania na obserwację w kierunkach dosłonecznych —obejmuje kąty zenitalne widzenia z przedziału od -70° do 0° — oraz w kierunkach dosłonecznych, gdzie VZA przyjmuje wartości z przedziału od 0° do $+70^\circ$. Nachylenie dodatnie odcinków krzywej spektralnej odpowiada kątowi liczonemu od osi VZA układu współrzędnych w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara. Wartości ujemne kąta nachylenia danego odcinka krzywej spektralnej oznaczają spadek odbicia od powierzchni gleby wraz ze wzrostem wartości kąta zenitalnego widzenia. Przebieg krzywej spektralnej jest wtedy opadający. Natomiast wzrost odbicia spektralnego od badanej gleby przy zwiększającym się kącie obserwacji powoduje, że współczynnik kierunkowy równania regresji liniowej przyjmuje wartość dodatnią a przebieg krzywej jest wznoszący (tab. 1., tab. 2.).

Wstępna analiza odbicia spektralnego od badanych powierzchni gleb w głównej płaszczyźnie słonecznej przy stałej orientacji kierunku zabiegów względem tej płaszczyzny pozwoliła na stwierdzenie, że wraz ze wzrostem wartości kąta zenitalnego Słońca obserwuje się wyższe wartości współczynnika NR .



Rys. 1.: Rozkład wskaźnika znormalizowanego odbicia NR w funkcji kąta zenitalnego obserwacji (VZA) i kąta zenitalnego oświetlenia (SZA) dla gleby brunatnej typowej w kanale 850 nm po orce.

Dla uchwycenia wpływu szorstkości badanych powierzchni na rozkład odbicia przyjęto stałą orientację ich geometrii względem promienia Słońca. Usytuowanie nieregularności wierzchniej warstwy gleby w stosunku do źródła światła opisano kątem ϕ . W tym przypadku był on stały i wynosi 90° , czyli promienie słoneczne padały prostopadłe do kierunku bruzd.

Sporządzono analizę wartości znormalizowanego odbicia w funkcji kąta zenitalnego widzenia dla wszystkich typów gleb. Tę samą szorstkość generowaną przez orkę, badano

dwukrotnie. Raz obserwowano skiby po orce usytuowane gładką powierzchnią do Słońca, (O) a następnie obróconą o kąt 180° w stosunku do płaszczyzny obserwacji (O°).

Z wstępnej analizy otrzymanych danych pomiarowych dotyczących obserwacji w **kierunkach dosłonecznych**, wynika brak istotnego zróżnicowania w rozkładzie odbicia spektralnego ze względu na długość fali (tab. 1.). W celu określenia różnic w kształcie krzywych NR w różnych długościach fali przeanalizowano wartości odchylenia standardowego populacji wartości kąta nachylenia zgeneralizowanych krzywych wartości NR dla poszczególnych typów gleb.

Czarna ziemia właściwa charakteryzuje się najmniejszym zróżnicowaniem w kanałach (D_O) gdy jest zaorana i zdeszczowana (D_OD), niezależnie od kąta oświetlenia. Natomiast dla gleby brunatnej minimalna wartość odchylenia standardowego od kąta nachylenia krzywej do osi VZA występuje przy powierzchni oświetlonych pod kątem $SZA=30^\circ$. Największe zróżnicowanie w wartości odbicia promieniowania elektromagnetycznego od powierzchni czarnej ziemi zdegradowanej w poszczególnych kanałach występuje dla $SZA=70^\circ$ i gdy gleba jest zaorana (DZ_O $^\circ$). Wszystkie badane powierzchnie wykazują większe zróżnicowanie w wartości NR w poszczególnych kanałach (większa wartość odchylenia standardowego) gdy są oświetlone bardziej skośnie.

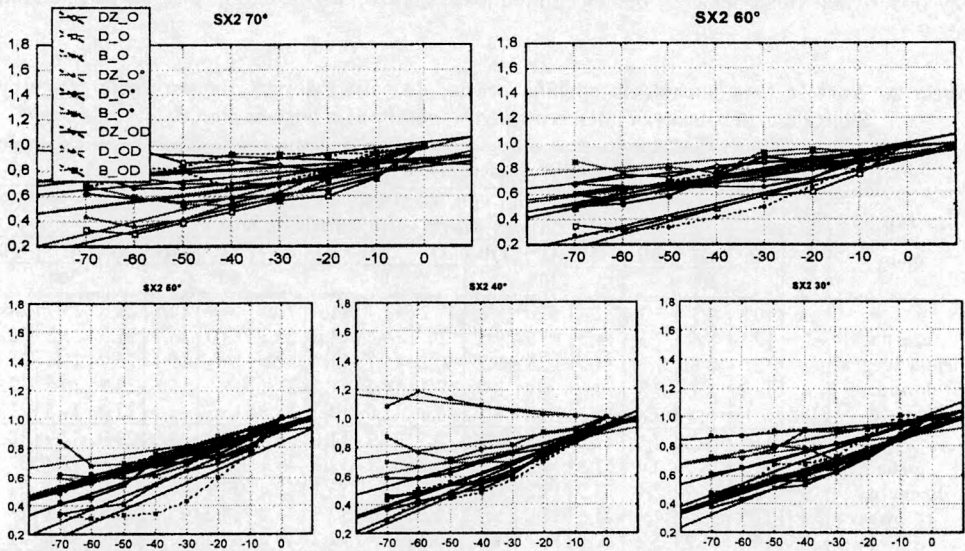
Zmienność odbicia względem kierunków obserwacji i oświetlenia.

Wartości NR dla powierzchni po orce, oświetlonych pod kątem padania promieni słonecznych 70° , przedstawiają wzrost wartości znormalizowanego odbicia wraz ze wzrostem kąta obserwacji. Wartości te rosną najszybciej dla orki na czarnej ziemi właściwej (D_O), a najwolniej dla czarnej ziemi zdegradowanej (DZ_O). Również taką samą zależnością w zmianach odbicia charakteryzują się te same powierzchnie obserwowane skibami ustawionymi do Słońca (D $^\circ$ _O i DZ_O $^\circ$).

Tabela 1.: Wartość kąta nachylenia odcinka prostej do osi VZA przy danym kącie zenitalnym Słońca dla gleb oranych i deszczowanych– obserwacja dosłoneczna

obserwacja w SPP, w kierunkach dosłonecznych																
Typ gleby	Kanał(SX)	Wartość kąta nachylenia odcinka prostej do osi VZA przy danym kącie zenitalnym Słońca— SZA														
		30°			40°			50°			60°			70°		
		O	O $^\circ$	OD	O	O $^\circ$	OD	O	O $^\circ$	OD	O	O $^\circ$	OD	O	O $^\circ$	OD
czarna ziemia zdegradowana	1	3,5	1,9	2,5	4,1	1,3	3,3	3,1	1,7	3,2	1,9	2,9	-1,4	0,9	1,7	
	2	4,1	2,3	3,2	4,4	1,6	3,4	3,5	1,8	3,5	2,3	2,5	3,1	-1,7	1,3	1,9
	3	4,1	2,1	3,0	4,2	1,4	3,1	3,3	1,2	3,0	1,8	2,1	2,7	-1,4	0,5	1,3
	4	3,9	1,9	3,0	3,8	1,0	2,9	2,8	0,7	2,5	1,3	1,3	2,1	-2,0	-0,6	0,6
	5	3,8	2,1	2,9	4,1	0,5	3,1	2,9	1,3	3,4	2,0	1,5	3,2	-1,7	0,5	1,7
gleba brunatna typowa	1	3,7	1,2	0,8	4,7	1,9	4,1	4,8	3,3	3,5	5,1	0,7	3,5	1,0	1,7	1,9
	2	4,6	1,6	1,0	5,3	2,2	4,3	5,3	3,8	3,9	5,9	1,6	3,9	1,2	2,8	2,5
	3	4,5	1,3	0,7	5,2	1,9	4,1	5,1	3,4	3,6	5,5	1,0	3,4	0,4	1,9	1,8
	4	4,6	1,1	0,7	5,0	1,4	3,9	4,7	2,7	3,1	4,9	1,1	2,6	0,2	0,8	0,8
	5	4,2	1,1	0,7	4,2	2,2	4,3	4,9	2,9	3,6	4,6	0,1	2,9	1,3	1,0	0,9
czarna ziemia właściwa	1	4,9	4,0	3,8	5,0	4,0	3,6	4,6	3,7	3,6	4,5	3,1	1,8	4,3	4,2	4,3
	2	5,1	4,2	4,2	5,3	4,4	3,8	5,1	4,3	3,3	5,0	4,0	2,8	5,1	2,6	5,5
	3	5,0	4,0	4,0	5,1	4,2	3,6	5,0	4,2	3,4	4,9	3,9	2,6	5,0	5,0	5,3
	4	4,7	3,7	3,7	5,0	3,8	3,5	4,9	3,7	3,4	4,5	3,2	1,8	4,6	4,6	4,8
	5	4,8	4,1	3,2	4,9	4,1	3,2	4,7	3,7	3,4	4,5	2,9	1,5	4,6	4,5	4,0

Obserwacja dosłoneczna czarnej ziemi zdegradowanej SX 650nm



Rys. 2.: Rozkład wskaźnika znormalizowanego NR w funkcji kąta zenitalnego obserwacji, obserwacja dosłoneczna dla trzech typów gleb w kanale 650 nm

Sądzi się, że o rozkładzie wartości NR decyduje barwa gleby. Gleba D charakteryzuje się ciemniejszą barwą w stosunku do DZ. Przy obserwacji skośnej widzi się najwięcej powierzchni zacienionej, a ta oświetlona promieniowaniem rozproszonym i tak z natury swojej jest ciemna, stąd mała wartość NR.

Przy wyższej pozycji Słońca, SZA=50° zaobserwowano mniejsze zróżnicowanie w wartościach NR dla poszczególnych powierzchni po orce. W przypadku tych powierzchni następuje nadal (podobnie jak przy SZA=70°) wzrost wartości znormalizowanego odbicia wraz ze zbliżaniem się od obserwacji skośnej (VZA=-70°) do patrzenia pionowego, gdy VZA=0°. Jeśli glebę po orce obserwuje się z nadiru to jest ona jaśniejsza od obserwowanej skośnie.

Gdy SZA wynosi około 30°, zmienność w jasności spektralnej omawianych gleb po orce jest najmniejsza. Charakter tych zmian jest analogiczny do wyżej opisanych (rys. 2.).

Dla każdego typu gleby i długości fali wraz ze wzrostem wartości kąta zenitalnego widzenia i wartości kąta zenitalnego Słońca następuje wzrost wartości NR. Im mniej urozmaicona geometria gleby, tym wartość znormalizowanego odbicia jest większa i wzrost ten następuje przy mniejszym odchyleniu od nadiru.

Zmiany w rozkładzie znormalizowanego współczynnika odbicia (NR) w funkcji kąta zenitalnego widzenia (VZA) przy obserwacji w kierunkach odsłonecznych są wyraźnie zależne od kąta zenitalnego położenia Słońca (SZA). Wartości NR maleją wraz ze spadkiem wartości SZA. Gleby po orce, oświetlone pod kątem SZA 70° i obserwowane pod VZA= 70° osiągają NR ≈6. Natomiast powierzchnie gleb o mniejszej szorstkości, po orce i deszczowane, nie przekraczają wartości NR ≈4,5, we wspomnianej geometrii układu obserwacji i oświetlenia.

Podano analizie zmienność odbicia w funkcji długości fali. W analogiczny sposób jak przy obserwacji dosłonecznej, badano zmienność wskaźnika *NR* w poszczególnych kanałach (tab. 2.).

Tabela 2. Wartość kąta nachylenia odcinka prostej do osi VZA przy danym kącie zenitalnym Słońca dla gleb oranych i deszczowanych— obserwacja odsłoneczna.

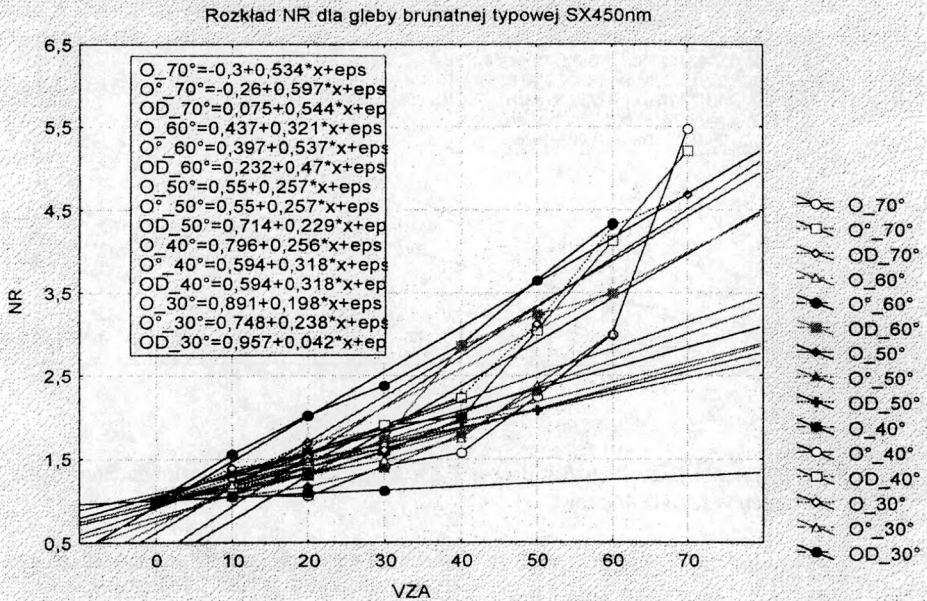
obserwacja w SPP, w kierunkach odsłonecznych																
Typ gleby	Kanał(SX)	Wartość kąta nachylenia odcinka prostej do osi VZA przy danym kącie zenitalnym Słońca— SZA														
		O	O°	OD	O	O°	OD	O	O°	OD	O	O°	OD	O	O°	OD
		30°			40°			50°			60°			70°		
czarna ziemia zdegradowana	1	10,8	7,5	7,2	12,8	9,5	9,0	17,7	13,4	11,6	21,1	14,9	14,5	28,5	24,7	24,6
	2	12,3	8,6	7,3	14,3	10,5	9,5	20	14,4	12,6	25,8	19,0	16,4	31,3	25,2	26,0
	3	12,9	8,8	7,3	14,6	10,5	9,3	20,2	14,7	12,2	22,6	16,6	16,1	26,9	25,2	25,4
	4	13,2	8,7	7,3	14,6	10,1	8,9	19,4	14,2	11,4	21,1	15,5	15,3	24,1	25,5	22,6
	5	7,1	6,0	5,8	10,3	9,0	8,5	14,8	12,0	10,0	17,5	13,7	11,9	27,4	24,5	21,4
gleba brunatna typowa	1	11,3	14,8	2,1	12,2	17,5	4,2	12,5	22,2	11,6	16,6	30,2	23,9	29,9	32,9	30,1
	2	12,2	15,7	2,4	12,8	19,6	4,9	13,2	25,2	12,7	17,1	32,9	26,2	29,9	32,4	32,2
	3	12,1	14,7	2,4	13,5	19,2	6,4	13,9	24,3	13,1	17,7	30,1	26,4	30,4	31,1	31,8
	4	11,3	13,4	2,4	14,4	17,6	6,7	14,4	22	12,9	17,8	28,2	25,2	28,1	30,8	28,5
	5	10,1	11,2	2,2	10,8	16,2	4,2	12,4	19,9	12,2	14,5	31,4	22,8	28,6	31,0	26,9
czarna ziemia właściwa	1	7,4	8,6	5,0	9,3	10,4	1,3	24,0	15,1	7,1	25	27,4	16,2	28,5	28,5	9,0
	2	7,5	9,2	5,0	9,3	11,2	1,3	24,0	14,9	7,1	24,8	26,9	16,4	28,9	29,7	7,9
	3	10,8	7,5	7,2	12,8	9,5	9,0	17,7	13,4	11,6	21,1	14,9	14,5	28,5	24,7	24,6
	4	12,3	8,6	7,3	14,3	10,5	9,5	20	14,4	12,6	25,8	19	16,4	31,3	25,2	26,0
	5	12,9	8,8	7,3	14,6	10,5	9,3	20,2	14,7	12,2	22,6	16,6	16,1	26,9	25,2	25,4

Stwierdzono, że wartości znormalizowanego odbicia najbardziej się różnią od pozostałych podczas obserwacji w kanale 450 nm (SX4). W tym zakresie promieniowania elektromagnetycznego następuje najsilniejsza absorpcja światła przez gleby, więc odbicie jest najmniejsze i również wartości *NR* są mniejsze. Najmniejszym zróżnicowaniem w kanałach charakteryzuje się czarna ziemia właściwa po orce obserwowana przy kącie zenitalnym Słońca 50°. Odchylenie standardowe od kątów nachylenia krzywej *NR* w poszczególnych kanałach wynosi zero. Duże zróżnicowanie w kanałach notuje się dla czarnej ziemi zdegradowanej, gdy jest ona zaorana i obserwowana przy SZA 60° ($\sigma=2,16$) oraz dla gleby brunatnej typowej również po orce ale SZA 40° ($\sigma=1,81$), a także dla czarnej ziemi właściwej po orce o skibach zorientowanych od Słońca, gdy SZA 60° ($\sigma=2,2$).

Dokładniej rozkład odbicia spektralnego od powierzchni gleb po orce w funkcji kąta zenitalnego obserwacji przeanalizowano, podobnie jak przy obserwacji dosłonecznej, opisując rozkład wskaźnika *NR* za pomocą równania liniowego. Wartość *x* odpowiada wartościom kąta zenitalnego widzenia z przedziału od 0° do 70°. Zmiany w odbiciu spektralnym od gleb o różnej szorstkości zostały rozpatrzone z podziałem na mniejsze odcinki. Ze względu na zmianę charakteru przebiegu funkcji wydzielono odcinki od VZA=0° do VZA opowiadającym wartości kąta zenitalnego Słońca (SZA), gdzie występuje efekt *hot-spot* (pik odbicia przy kącie obserwacji zbliżonym liczbowo do SZA), a następnie analizowano kształt krzywej od VZA=SZA do VZA=70°.

Dokonano analizy zmienności rozkładu wskaźnika znormalizowanego odbicia w funkcji długości fali dla wszystkich typów gleb poddanych orce. Najwyższe wartości *NR* zanotowano przy obserwacji zaoranej czarnej ziemi zdegradowanej pod kątem 70° (5,8) i gdy

SZA=70°. Pozostałe typy gleb miały równie wysokie wartości NR. Dla czarnej ziemi właściwej i gleby brunatnej typowej wynosił około 5,6 obserwowanych w tej samej geometrii układu. Przy oświetleniu badanych powierzchni gleb pod kątem SZA=50° zaobserwowano mniejszy wzrost wartości NR w funkcji VZA. Przy obserwacji bardziej skośnej niż VZA=SZA poziom jasności utrzymuje się na stałym poziomie, takim samym jak dla NR przy obserwacji pod kątem zenitalnym 50°. Gleby orane deszczowane, obserwowane pod kątem 50° do nadiru, odbijają o około 15% mniej promieniowania, niż te same typy gleb zaoranych.



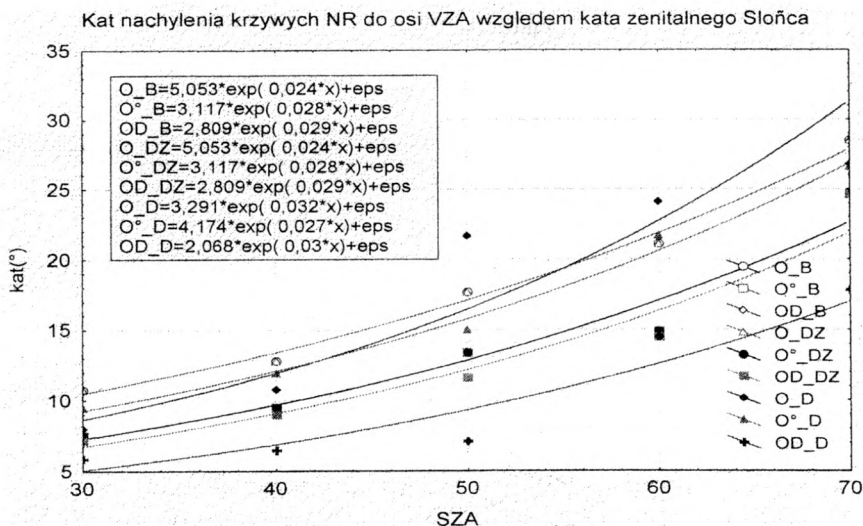
Rys. 3.: Rozkład znormalizowanego wskaźnika odbicia NR w funkcji kąta zenitalnego obserwacji w kanale 450 nm dla gleby brunatnej typowej (indeks w legendzie oznacza szorstkość i kąt zenitalny Słońca).

Najmniejsze zróżnicowanie w rozkładzie krzywych NR ze względu na szorstkość powierzchni obserwuje się przy maksymalnej wartości kąta zenitalnego Słońca (30°). Wartości maksymalne NR nie przekraczają 2. Im gleba gładziej, tym jej krzywa spektralna położona jest niżej na wykresie (rys. 1., rys. 3.).

Na podstawie współczynnika kierunkowego równania regresji określono kąt nachylenia tej funkcji do osi odciętych (wartości VZA). Wyniki tych kalkulacji zawarto w tab. 2. Wartości zestawione w tabeli posłużyły do skonstruowania wykresów rozrzutu wartości kąta nachylenia równania regresji liniowej w przedziale od VZA=0° do VZA=SZA względem wartości kąta zenitalnego Słońca. Celem takiego zestawienia wyników było wykrycie zależności między kształtem krzywej spektralnej a pozycją Słońca, przy uwzględnieniu długości fali i rodzaju materiału glebowego (rys. 4.).

Z przeprowadzonych badań wynika jednakowy przebieg otrzymanych krzywych we wszystkich kanałach obserwowanych przy jednakowej pozycji Słońca. Krzywe ilustrujące odbicie spektralne od gleb o największej szorstkości, z indeksem O, charakteryzują się największym wzrostem odbicia wyrażonego NR wraz z niższą pozycją Słońca nad horyzontem

(wyższa wartość SZA). Wzrost kąta nachylenia krzywych do osi SZA dla czarnej ziemi zdegradowanej jest najgwałtowniejszy przy kącie zenitalnym Słońca z przedziału $<40^{\circ};70^{\circ}>$. W całym zbiorze wartości SZA gleby o największej szorstkości, orane, przybierają rozkład zbliżony do równania wykładniczego.



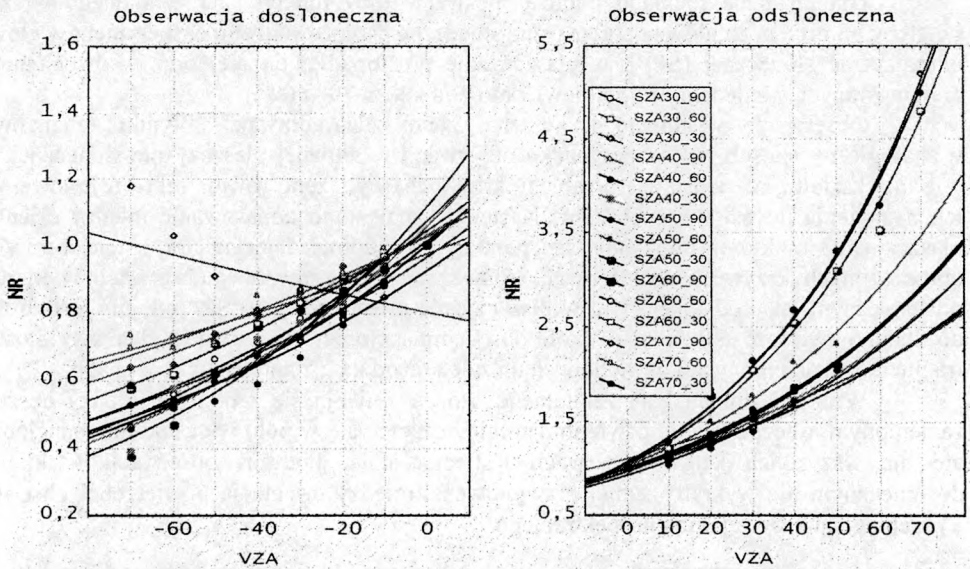
Rys. 4.: Kąt nachylenia krzywych NR do osi VZA względem kąta zenitalnego Słońca dla trzech typów gleb w kanale 850 nm .

Im wykładnik w równaniu zmian w kształcie krzywych spektralnych jest większy, tym wyższe wartości NR charakteryzują daną powierzchnię przy niższej pozycji Słońca (rys. 4.).

Zbadano również wpływ geometrii wynikającej z przeprowadzonej orki na wartość odbicia spektralnego od tychże powierzchni. Eksperyment przeprowadzono dla jednego typu gleby — czarnej ziemi zdegradowanej. Polegał on na pomiarach w SPP przy zmieniającej się orientacji kierunku orki względem tej płaszczyzny. Zilustrowano zmiany w rozkładzie współczynnika znormalizowanego odbicia w funkcji kąta zenitalnego obserwacji. Analizy dokonano w sposób analogiczny jak przy obserwacji ze stałą orientacją skib po orce (kierunki dosłoneczne i odsłoneczne, analiza wartości równania regresji liniowej).

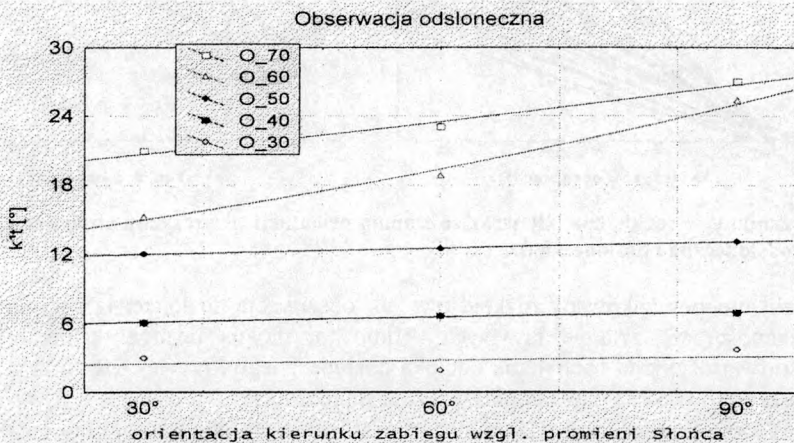
Charakterystyka dwukierunkowego odbicia spektralnego w SPP przy zmieniającej się orientacji kierunku zabiegów względem tej powierzchni w kanale SX1 (850 nm) dla czarnej ziemi zdegradowanej oranej pozwala zauważyć, że wraz ze zmianą orientacji powierzchni o kierunkowym zbrzyleniu obserwuje się spadek odbicia spektralnego (rys. 5.). Jeśli bruzdy po orce są usytuowane prostopadłe do głównej płaszczyzny słonecznej ($\phi_r=90^{\circ}$), to notuje się największe zróżnicowanie w rozkładzie odbicia w funkcji kąta zenitalnego obserwacji.

Zmniejszanie się wartości SZA prowadzi do mniejszego zróżnicowania wartości NR. Dla SZA 50° wartość NR przy VZA= 50° , dla gleby po orce wynosi 2,1. Przy wychyleniu kierunku zabiegu względem promieni słonecznych o 30° , a więc $\phi_r=60^{\circ}$, wartość ta wynosi 2,0.



Rys. 5.: Rozkład względnego wskaźnika odbicia w funkcji kąta obserwacji w SPP od powierzchni czarnej ziemi zdegradowanej w kanale 650 nm przy zmieniającej się orientacji kierunku orki (w legendzie podano SZA i kąt ϕ)

Wraz ze zmianą orientacji kierunku zabiegów względem Słońca (ϕ przyjmuje mniejsze wartości) zaobserwowano spadek wartości odbicia. Gdy zmniejsza się wartość kąta opisującego orientację geometrii powierzchni z zabiegiem kierunkowym w przedziale od 90° do 60° , obserwuje się gwałtowny spadek w odbiciu spektralnym. W kolejnym przedziale ϕ od 60° do 30° zanotowano również spadek w wartościach współczynnika NR, ale był on wolniejszy. Krzywa zmian ma przebieg zbliżony do równania funkcji wykładniczej (rys. 6.).

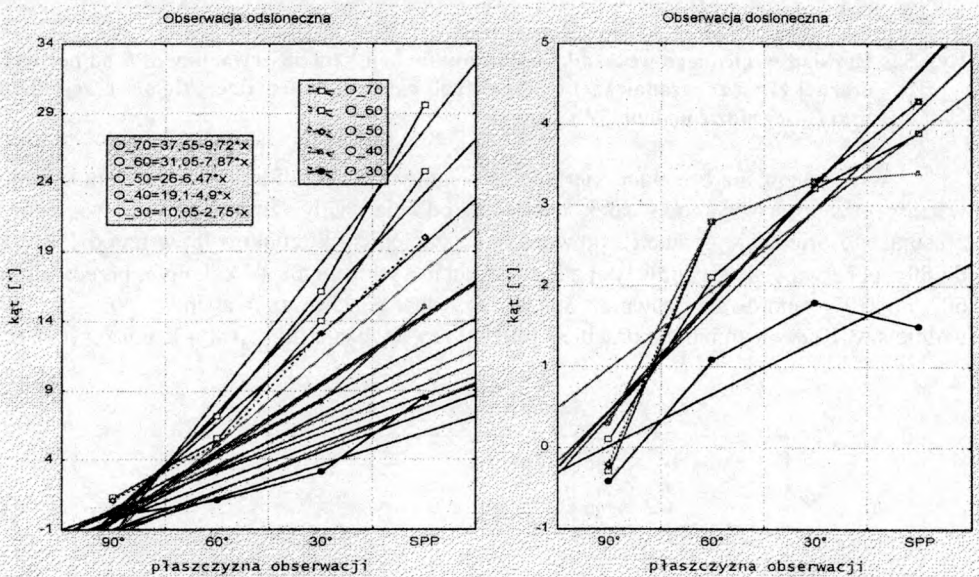


Rys. 6. Zmiany w rozkładzie NR wraz ze zmianą kierunku orki względem promieni Słońca

Dla zbadania rozkładu odbicia spektralnego w funkcji kąta zenitalnego widzenia od gleby po orce poza główną płaszczyzną słoneczną przeprowadzono eksperyment w głównej płaszczyźnie słonecznej (SPP), w płaszczyźnie prostopadłej do niej oraz w dwóch innych zorientowanych względem SPP, odpowiednio pod kątem 30° i 60°.

Obserwację wykonano na czarnej ziemi zdegradowanej. Wyniki zanalizowano w analogiczny sposób, jak w przypadku obserwacji w głównej płaszczyźnie słonecznej. Dla opisu kształtu, na podstawie przebiegu krzywych, wyliczono równia regresji liniowej i kąt ich nachylenia do osi wartości VZA. Następnie znaleziono dopasowanie między orientacją płaszczyzny, w której odbywały się pomiary, a odpowiadającym im kątem nachylenia uproszczonych krzywych spektralnych. Zauważono, że zarówno w obserwacji w kierunku dosłonecznym jak i odsłonecznym w płaszczyźnie prostopadłej do SPP odbicie jest zbliżone do stałego (wartość NR wynosi około 1). Luminancjometr obserwuje jednakowy stosunek fragmentów zacienionych i oświetlonych niezależnie od kąta zenitalnego obserwacji.

Wraz ze zmianą kąta zenitalnego Słońca zmienia się proporcja między obszarem zacienionym a bezpośrednio oświetlonym mieszczącym się w polu widzenia luminancjometru ale dla wszystkich kątów obserwacji jest ona stała. Podczas obserwacji w kierunku dosłonecznym nie wykryto żadnej prawidłowości między orientacją powierzchni obserwacji a przebiegiem krzywej odbicia spektralnego.



Rys 7.: Zmiany w rozkładzie NR wraz ze zmianą orientacji płaszczyzny obserwacji (obserwacja odsłoneczna i dosłoneczna).

Taki nieuporządkowany rozkład (rys. 7., obserwacja dosłoneczna), wynika z niewielkiej zmienności w kształcie krzywych. Mimo to, można dostrzec generalną tendencję do wzrostu wartości kąta nachylenia odcinka dosłonecznego krzywej NR wraz ze zbliżaniem się do obserwacji w SPP (głównej płaszczyźnie słonecznej).

W czasie obserwacji w kierunkach odsłonecznych zaobserwowano spadek wartości NR wraz z „wychodzeniem” z głównej płaszczyzny słonecznej. Wartości znormalizowanego odbicia wtedy maleją według równania liniowego (rys. 7., obserwacja odsłoneczna).

4. Wnioski i podsumowanie

Wszystkie typy gleb o geometrii spowodowanej orką wykazują nielambertowski rozkład odbicia spektralnego.

Największe zróżnicowanie w rozkładzie dwukierunkowej charakterystyki spektralnej badanych gleb obserwuje się w głównej płaszczyźnie słonecznej. Wartość wskaźnika znormalizowanego odbicia maleje wraz ze wzrostem kąta zenitalnego Słońca (SZA). Przy obserwacji w kierunkach odstłonecznych wraz z niższą pozycją Słońca następuje wzrost wartości znormalizowanego odbicia. Dla gleb po orce zmiany mają przebieg zbliżony do wykładniczego. Badane gleby są najjaśniejsze gdy obserwuje się je pod kątem równym wartości liczbowej kąta zenitalnego Słońca ($VZA=SZA$). Wraz ze zmianą orientacji kierunku orki względem promieni słonecznych, następują zmiany w rozkładzie znormalizowanego odbicia w funkcji VZA. Maksymalne zróżnicowanie wartości NR obserwuje się przy orientacji skib prostopadłej do promieni słonecznych ($\phi_r=90^\circ$) a minimalne gdy usytuowanie geometrii wywołanej zabiegiem agrotechnicznym jest równoległe do promieni słonecznych. Odchylając kierunek orki od ustawienia prostopadłego do promieni Słońca zmiany wartości NR zmieniają się początkowo nieznacznie. Wraz ze zbliżaniem się do ustawienia równoległego geometrii powierzchni do promieni słonecznych zmiany, NR są gwałtowniejsze. Zmiany wartości NR względem ϕ_r dopasowują się według funkcji zbliżonej do wykładniczej.

Prowadzenie obserwacji poza główną płaszczyznę słoneczną (SPP) powoduje spadek wartości wskaźnika znormalizowanego odbicia. W płaszczyźnie prostopadłej do SPP niezależnie od typu gleby, barwy i innych właściwości powierzchni wartość NR jest stała i zbliżona do jedności. Wraz z wychodzeniem z obserwacją poza SPP maleje wartość NR , zmiany te odbywają się według funkcji prostoliniowej.

Omawiane w tej pracy zależności między szorstkością gleby spowodowaną orką a warunkami jej oświetlenia i obserwacji wskazują na istotne znaczenie ich w badaniach teledetekcyjnych. Istnieje konieczność uwzględnienia opisanych zależności przy interpretacji materiałów teledetekcyjnych przedstawiających powierzchnie gleb. Szczególnie przy interpretacji danych otrzymanych z satelitów obserwujących powierzchnię Ziemi skośnie oraz satelitów wyposażonych w szerokokątne sensory obrazowe [Tucker 1977; Derring 1989, Cierniewski 1999].

5. Literatura

1. Baret F., Jacquemoud S., Hanocq J.F., 1993, *The soil line concept in Remote Sensing*. *Rem. Sens, Reviews* 7: 65-82.;
2. Cierniewski J., 1987, *A model for soil roughness influence on the spectral response of bare solis in the Visible and Near-Infrared Range*, *Rem. Sens. Env.* 23: 97-115.;
3. Cierniewski J., Verbrugge M., 1997, *Influence of soil surface roughness on soil bidirectional reflectance*, *Int. J. Rem. Sens.* 18 (6): 1277-1288.;
4. Cierniewski J., 1999, *Geometrical modelling of soil Bidirectional reflectance in the optical domain*, Bogucki Scientific Publishers, Poznań.;

5. Coulson K.L., 1966, *Effect of reflection properties of natural surfaces in aerial reconnaissance*, Applied Optics, 5: 905-917.;
6. Deering D.W., 1989, *Field measured of bidirectional reflectance*, w: Theory and Applications of Rem. Sens. (Ghasem Asrar, red.), Wiley, New York, 15-63.;
7. Milton E.J., 1987, *Principles of field spectroscopy*, Int. J. Rem. Sens. 8(12): 1807-1827.;
8. Milton E.J. and Webb J.P., 1987, *Ground radiometry and airborne, multispektral survey of bare solis*, Int. J. Rem. Sens. 8 (1): 3-14.;
9. Tucker C.J. 1977, *Spectral estimation of grass canopy variables*, Rem. Sens. Env. 6: 11-13.

Recenzowała: dr inż. Beata Hejmanowska