

## POZYSKIWANIE INFORMACJI O PARAMETRACH GLEBOWO-ROŚLINNYCH ZA POMOCĄ SATELITARNYCH ZDJĘĆ MIKROFALOWYCH

### ACQUISITION OF INFORMATION ABOUT SOIL-VEGETATION PARAMETERS BY MEANS OF SATELLITE MICROWAVE IMAGES

Katarzyna Dąbrowska-Zielińska, Wanda Kowalik, Maria Gruszczyńska

Instytut Geodezji i Kartografii

**Słowa kluczowe:** zdjęcia satelitarne ERS-2; JERS; wilgotność gleby; LAI, model, kalibracja  
Keywords: satellite images ERS-2; JERS; soil moisture; water cloud model, LAI, calibration

### Wstęp

Wśród wielu zakresów promieniowania elektromagnetycznego wykorzystywanych w prowadzeniu obserwacji powierzchni Ziemi z pułapu satelitarnego, mikrofałe posiadają największy potencjał do określania wilgotności gleby. Znacznie dłuższa fala niż w przypadku zdjęć wykonywanych w widmie widzialnym czy podczerwieni sprawia, że promieniowanie mikrofalowe przenika przez warstwę roślinności, wnikając w głąb gleby. Stąd też zdjęcia mikrofalowe dostarczają zupełnie innych informacji niż tradycyjne techniki satelitarne wykorzystujące zakres optyczny. Atutem rejestracji promieniowania radarowego w stosunku do promieniowania w zakresie optycznym jest to, że promieniowanie mikrofalowe może być rejestrowane zarówno w dzień jak i w nocy bez względu na zachmurzenie. Zastosowanie techniki mikrofalowej stwarza nowe możliwości w badaniach rolniczych w określaniu nie tylko wilgotności gleby, ale również parametrów roślinnych i jest obecnie szeroko wykorzystywane na świecie. Wyniki dotychczasowych prac pozwalają stwierdzić, że zastosowanie danych mikrofalowych może mieć znaczenie przy rozpoznawaniu upraw, określaniu wilgotności gleby, szacowaniu różnych parametrów roślinnych i prognozowaniu plonów.

Metoda działania urządzenia mikrofalowego typu SAR opiera się na generowaniu, emitowaniu i odbieraniu fali o długości od kilku do kilkunastu centymetrów. Ponieważ urządzenia te same generują energię, zaliczane są do systemów aktywnego obrazowania. Moc zarejestrowanego sygnału zwrotnego (echa radarowego), zależy od właściwości wysyłanej fali jak częstotliwość, polaryzacja, a także kąt padania na powierzchnię. Powracający sygnał jest zintegrowaną informacją charakteryzującą wiele parametrów odbijającej powierzchni, w tym przede wszystkim wielkość stałej dielektrycznej i geometrię powierzchni (Ulaby et al., 1986).

System aktywnego obrazowania SAR stał się obecnie powszechnie stosowanym na pokładach satelitów środowiskowych urządzeniem radarowym. Od roku 1992, a więc od mo-

mentu wystrzelenia na orbitę pierwszego satelity ERS-1, a następnie ERS-2 Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) z urządzeniem radarowym pracującym w paśmie C (5,25 GHz; 5,6 cm) spolaryzowanym w płaszczyźnie pionowej (VV) i o kącie padania wiązki promieniowania  $23^{\circ}$ , Instytut Geodezji i Kartografii prowadzi badania nad określeniem przydatności zdjęć mikrofalowych do badań wilgotności gleb (Dąbrowska-Zielińska i inni, 1994; Gruszczyńska i inni, 1998). Przez sześć lat zdjęcia radarowe dostarczał również satelita JERS-1 skonstruowany przez Japońską Agencję Kosmiczną (NASDA). Satelita ten był wyposażony w urządzenie SAR pracujące w paśmie L (1,27 GHz; 23,6 cm) spolaryzowanym w płaszczyźnie poziomej (HH) i o kącie padania wiązki  $35^{\circ}$ . Zdjęcia wykonane przez wyżej omówione satelity mają zbliżoną rozdzielczość przestrzenną (30 i 18 m).

Od roku 2002 na orbicie znajduje się europejski satelita ENVISAT. Radiolokator obrazowy ASAR (*Advanced Synthetic Aperture Radar*) pracuje w zakresie mikrofalowym w paśmie C, jednak w porównaniu z radarem SAR, który był zainstalowany na satelicie ERS, jego antena polaryzuje falę elektromagnetyczną zarówno pionowo (VV) jak i poziomo (HH). Dane uzyskane w zakresie mikrofalowym o polaryzacji VV i HH jak również o krzyżowej polaryzacji VH wzbogacają informacje pochodzące z satelity ERS-1/2 (polaryzacja fal VV) i dostarczają dodatkowych informacji o wilgotności gleby pokrytej roślinnością.

Wygaszanie fali przez rośliny w przypadku polaryzacji pionowej VV jest inne niż w przypadku fali spolaryzowanej poziomo HH (Allen i Ulaby, 1984; Le Toan i inni 1984; Paloscia, 1998). Na falę pionowo spolaryzowaną mocniej oddziałują struktura roślin i wilgotność gleby, natomiast na falę spolaryzowaną poziomo silniej oddziałuje gęstość roślin. Analiza sygnału fali spolaryzowanej krzyżowo HV daje dobre wyniki w badaniu wilgotności gleby przykrytej roślinami. Dobre wyniki w interpretacji wygaszania fali przez rośliny i określenia wilgotności gleby z analizy stosunku sygnału fali spolaryzowanej pionowo do fali spolaryzowanej poziomo otrzymali Le Toan i inni (1982). Badania również dowiodły, że im mniejszy kąt padania wiązki promieniowania ( $< 30^{\circ}$ ) tym większy związek pomiędzy zarejestrowanym sygnałem, a wilgotnością gleby ze względu na ograniczenie wpływu szorstkości i efektu wygaszania sygnału przez rośliny.

Celem prac przedstawionych w artykule było zastosowanie mikrofalowych zdjęć satelitarnych wykonanych w różnej długości fali i jej polaryzacji oraz pod różnym oświetlającym teren kątem do pozyskania informacji jak najpełniej charakteryzujących powierzchnię glebo-roślinną. Attema i Ulaby (1978) przedstawili liniową zależność pomiędzy wartością współczynnika wstecznego rozpraszania  $\sigma^{\circ}$  a wilgotnością gleby SM gdy jest stała szorstkość badanej powierzchni:  $\sigma^{\circ} = a + b \text{ SM}$ , gdzie a i b są funkcją kąta, częstotliwości i konfiguracji polaryzacji. Taką zależność pomiędzy współczynnikiem wstecznego rozpraszania a wilgotnością gleby można wyprowadzić dla gleb nie pokrytych roślinnością. Moc rejestrowanej wiązki, odbitej od powierzchni roślin, zależy od szeregu parametrów roślinnych. Do najważniejszych zalicza się :

- stałą dielektryczną liści roślin, która jest ściśle związana z wilgotnością roślin i zmienia się wraz z ich rozwojem,
- gęstość roślin i związana z tym wielkość rozpraszania padającej wiązki,
- kształt liści,
- wysokość roślin.

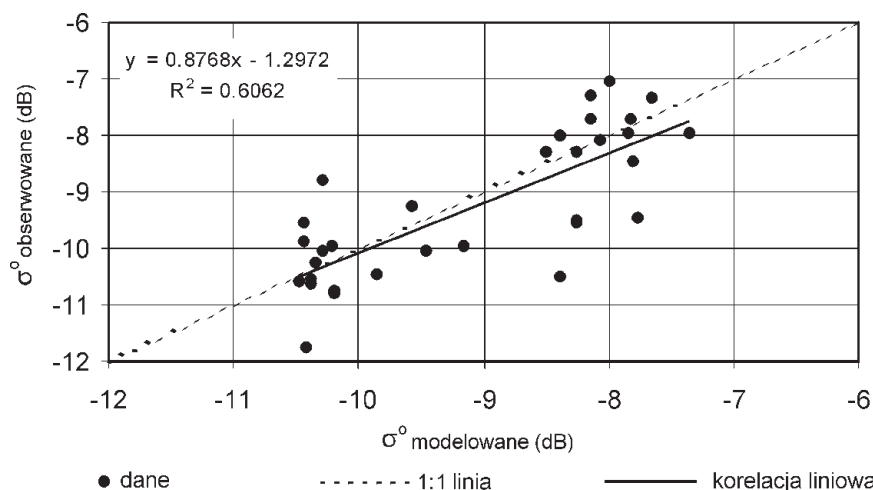
Rejestrowany sygnał zależy od architektury roślin, a więc zarówno od kształtu jak i powierzchni wpływającej na wielkość współczynnika wstecznego rozpraszania, toteż rośliny nie można traktować jak jednorodną powierzchnię lecz zróżnicowaną. Stąd należy zbadać

wpływ poszczególnych parametrów roślinnych, które można zmierzyć w warunkach naturalnych, na współczynnik wstecznego rozpraszania.

W latach 1998–1999 przeprowadzono badania nad znalezieniem korelacji pomiędzy parametrami glebowo-roślinnymi, a wielkością współczynnika wstecznego rozpraszania na obszarze testowym Wielkopolski, dla którego uzyskano rejestrację wykonaną wówczas przez satelitę ERS-2/SAR oraz satelitę JERS-1/SAR. Otrzymane zdjęcia, po odpowiedniej korekcji geometrycznej i radiometrycznej, wykorzystano do obliczenia wartości współczynnika wstecznego rozpraszania  $\sigma^{\circ}$  (dB). Dla wybranego obszaru otrzymano również zdjęcia wykonane w zakresie optycznym z radiometru ATSR znajdującego się również na pokładzie satelity ERS-2. Celem wykorzystania informacji pochodzącej z urządzenia SAR było przedstawienie możliwości oszacowania parametrów glebowo-roślinnych charakteryzowanych przez różne wskaźniki obliczone na podstawie danych uzyskanych w zakresie widzialnym i podczerwieni termalnej.

### Zależność pomiędzy wilgotnością gleby a współczynnikiem wstecznego rozpraszania

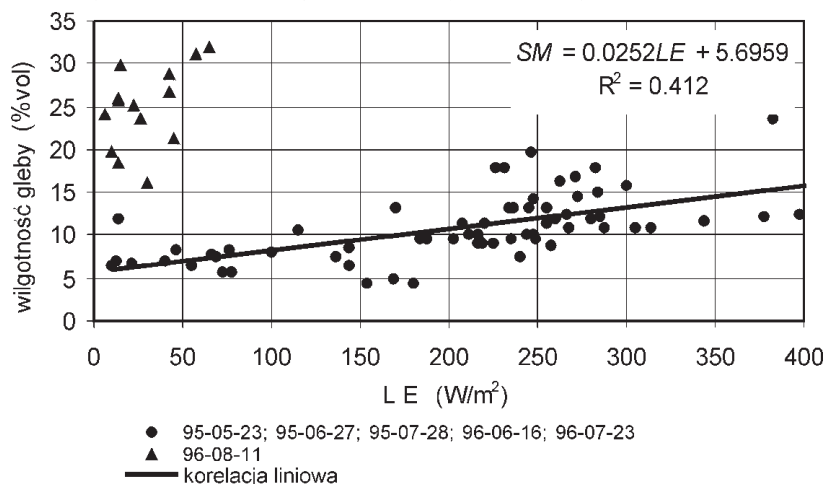
Jak już wspomniano, współczynnik wstecznego rozpraszania zależy od wilgotności gleby oraz szorstkości powierzchni. Jeżeli założymy, że szorstkość roślin na każdym polu była taka sama to możemy stwierdzić, że zróżnicowanie wartości współczynnika wstecznego rozpraszania związane było ze zróżnicowaną wartością wilgotności gleby. Jeżeli weźmiemy pod uwagę jeden typ roślin (pszenica ozima), to wówczas szorstkość powierzchni związana jest z fazą roślin. W takim przypadku wilgotność roślin będących w tej samej fazie jest również stała, a więc w jednakowy sposób wpływa na wartość powracającego sygnału. Rysunek 1 przedstawia zależność współczynnika wstecznego rozpraszania od wilgotności gleby przy wysokiej wilgotności roślin (powyżej 80%). Rośliny były wówczas w fazie kłoszenia i zapełniania ziarnem.



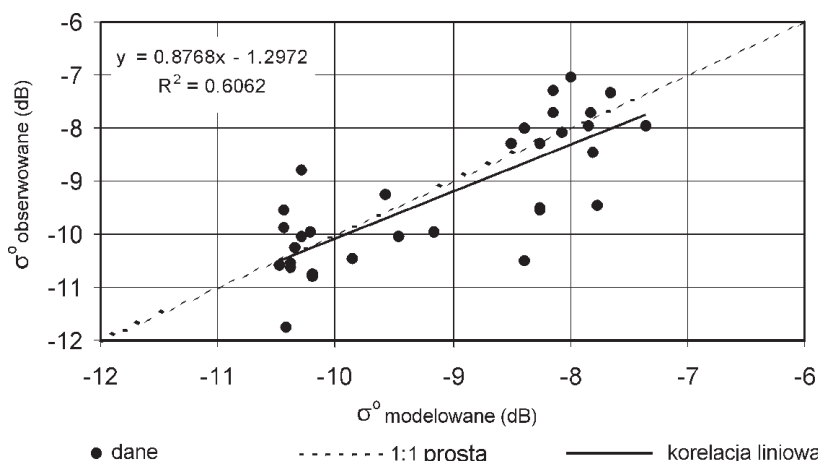
Rys. 1. Zależność pomiędzy współczynnikiem wstecznego rozpraszania i wilgotnością gleby przy stałej wilgotności roślin (80–90%)

Promieniowanie w zakresie czerwonym i podczerwonym zarejestrowane przez radiometr AATSR zostało wykorzystane do obliczenia Znormalizowanego Wskaźnika Zieleni (NDVI), natomiast promieniowanie w zakresie podczerwieni termalnej zostało wykorzystane do obliczenia strumienia ciepła utajonego (LE), (Dąbrowska-Zielińska, 1995). Obliczony dla pól pszenicy ozimej strumień ciepła utajonego charakteryzuje w dużym stopniu wilgotność gleby oraz fazę rozwoju roślin, a więc również ich wilgotność (rys. 2). Zależność pomiędzy strumieniem ciepła utajonego, a wilgotnością gleby nie istnieje już w fazie dojrzałości pełnej zboża, kiedy ewapotranspiracja roślin jest niewielka niezależnie od wilgotności gleby.

W przeprowadzonych badaniach założono, że obliczony Znormalizowany Wskaźnik Zieleni (NDVI) może charakteryzować szorstkość roślin. Wówczas na wielkość zarejestrowanego przez urządzenie SAR sygnału ma wpływ szorstkość wyrażona poprzez NDVI, wilgotność roślin oraz wilgotność gleby wyrażona przez gęstość strumienia ciepła utajonego LE. Rysunek 3 przedstawia zależność pomiędzy współczynnikiem wstecznego rozpraszania obliczonym ze zdjęcia mikrofalowego a obliczonym w funkcji NDVI i LE.



Rys. 2. Zależność pomiędzy wilgotnością gleby SM i gęstością strumienia ciepła utajonego LE



Rys. 3. Zależność pomiędzy współczynnikiem wstecznego rozpraszania obliczonym ze zdjęcia mikrofalowego i obliczonym w funkcji NDVI i LE.

## Metoda obliczania parametrów glebowo-roślinnych przez zastosowanie modeli

Wpływ roślin i gleby na rejestrowany sygnał nie może być opisany prostym równaniem liniowym stąd proponowane są modele nieliniowe, które przy przeprowadzeniu kalibracji doprowadzą do obliczenia odpowiednich parametrów roślinnych i glebowych wpływających na moc sygnału mikrofalowego.

W projekcie został zastosowany model WCM (*Water Cloud Model*) opisujący powierzchnię roślinną jako chmurę. Model ten został stworzony przez Atema i Ulaby (1978) i zmodyfikowany przez Prevot (1993) i Champion (2000). Model WCM oblicza całkowitą wartość współczynnika wstecznego rozpraszania  $\sigma^o$  jako sumaryczną wartość sygnału pochodzącego od roślin  $\sigma_v^o$  oraz od gleby  $\sigma_s^o$ :

$$\sigma^o = \sigma_v^o + \tau^2 \sigma_s^o \quad (1)$$

$$\sigma_v^o = A \cdot V_1^E \cdot \cos \theta (1 - \tau^2) \quad (2)$$

$$\tau^2 = \exp(-2B \cdot V_2 / \cos \theta) \quad (3)$$

$$\sigma_s^o = C + D \cdot SM \quad (4)$$

stąd:

$$\sigma^o = [A V_1^E \cos \theta (1 - (\exp(-2B V_2 / \cos \theta)))] + [\exp(-2B V_2 / \cos \theta) \sigma_s^o] \quad (5)$$

gdzie:  $\theta$  – kąt padania fali,  $\tau^2$  – wygaszanie (osłabianie) fali przez rośliny;  $V_1$  i  $V_2$  – parametry roślinne; SM – wilgotność gleby; A, B, C, D i E – parametry modelu obliczenia przez odpowiednie procedury podczas modelowania wartości współczynnika wstecznego rozpraszania.

Przedstawiona metoda umożliwiła określenie stopnia, w jakim poszczególne parametry roślinno-glebowe wpływają na sygnał rejestrowany w zakresie mikrofalowym. Dopasowując parametry modelu metodami numerycznymi oblicza się wartości współczynnika wstecznego rozpraszania tak, aby były jak najbardziej zbliżone do wartości odczytanych ze zdjęć satelitarnych. Wartości współczynnika wstecznego rozpraszania zostały obliczone dla par zdjęć wykonanych w paśmie C (ERS-2), L (JERS-1) dla różnych kątów padania i różnej polaryzacji wiązki radarowej, (Dąbrowska-Zielińska i inni, 2005). Inwersja tego modelu pozwala na uzyskanie wartości parametrów roślinnych takich jak biomasa i powierzchnia projekcyjna liści tzw. LAI oraz wilgotności gleby pod roślinami. Do modelu wprowadzone zostały wartości ww. parametrów roślinnych oraz wilgotność gleby pochodzące z badań terenowych. Inwersja modelu i sprawdzenie dokładności wartości otrzymanych w stosunku do rzeczywistych pozwala na określenie precyzji, z jaką model ten może być stosowany. Mając skalibrowane wartości współczynników A, B, C, D, E i wartości współczynnika wstecznego rozpraszania odczytanego ze zdjęć, można dla innego obszaru i w innym czasie uzyskać dane dotyczące biomasy i wilgotności gleby.

Do modelu wprowadzono trzy parametry roślinne, które były mierzone w terenie: powierzchnia projekcyjna liści – LAI, wilgotność gleby oraz zawartość wody w roślinach (różnica pomiędzy świeżą i suchą biomasa). W prezentowanej pracy wykorzystano wyniki

badan terenowych przeprowadzonych w dniach 10-14.05.1998. W tych dniach zboża ozime znajdowały się pod koniec fazy kłoszenia, zboża jare pod koniec fazy krzewienia lub na początku strzelania w źdźbło, rzepak w fazie pączkowania, łąki w fazie kwitnienia. Ze względu na wpływ na powracający sygnał rejestrowany przez urządzenie SAR, zarówno masy roślinnej, jak i wody zawartej w roślinach, autorzy wprowadzili parametr charakteryzujący zarówno powierzchnię liści jak również ich wilgotność,  $LWAI = LAI * W$ , gdzie  $W$  jest wilgotnością liści. Jako parametr charakteryzujący ilość wody znajdującej się w roślinach został obliczony Wskaźnik Zawartości Wody (VWM). Jest to różnica pomiędzy ciężarem biomasy świeżej i suchej przypadająca na jednostkę powierzchni ( $1 \text{ m}^2$ ). Każdy z wyżej wymienionych wskaźników został następnie wprowadzony do modelu, po czym odpowiednimi procedurami zostały obliczone współczynniki A, B, C, D, E tak, aby symulowane wartości współczynnika wstecznego rozpraszania były jak najbardziej zbliżone do tych odczytanych ze zdjęć satelitarnych ERS-2 i JERS.

## Dyskusja nad wynikami modelowania – zastosowanie danych z ERS-2 i JERS-1

Tabela 1 przedstawia wartości współczynników A, B, C, D, E uzyskanych w wyniku numerycznego dopasowania wartości współczynnika wstecznego rozpraszania otrzymanego z modelu do wartości ze zdjęć ERS-2/SAR oraz JERS-1/SAR.

**Tabela 1. Parametry modelu uzyskane metodą numerycznego dopasowania współczynnika  $\sigma^0$**

Konfiguracja radarowa	Współczynniki odpowiadające parametrom roślinnym		Współczynniki odpowiadające parametrom glebowym		
	A	B	E	C	D
C 23° VV					
LAI	0,0846	0,0615	0,0	-14,8465	15,907
LWAI	0,0957	0,0656	0,0	-15,1976	15,907
VWM	0,0795	0,1464	0,0	-14,8332	15,907
L 35° HH					
LAI	0,0027	0,1957	2,2290	-10,9495	6,6325
LWAI	0,0045	0,4179	2,1654	-7,4185	6,6325
VWM	0,0110	0,0430	2,9038	-14,2928	6,6325

Wyniki analizy wskazują, że powracająca wiązka promieniowania w zakresie C i L jest osłabiona przez rośliny. Wraz ze wzrostem gęstości roślin sygnał pochodzący od gleby o wilgotności poniżej 10% jest znikomy. Przy małym kącie padania promieniowania mikrofalowego, jak w przypadku fali wysłanej przez radiolokator ASAR satelity ERS-2 (23°), wpływ wilgotności gleby na wartość zarejestrowanego sygnału jest silny. Przy dużych wartościach wilgotności gleby – ponad 50%, sygnał pochodzi również od gleby, nawet przy gęstym pokryciu roślinnym (LAI równe 6) (rys. 4).

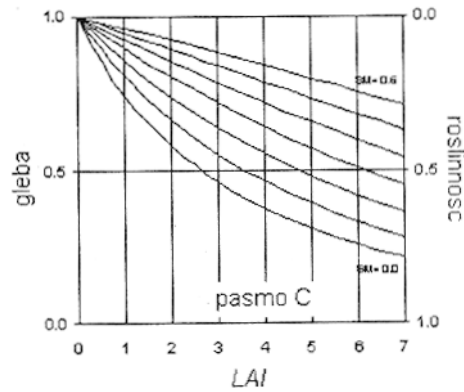
Rysunki 5 i 6 przedstawiają wyniki inwersji modelu, czyli obliczeń parametrów glebowych i roślinnych na podstawie znanych wartości współczynników rozpraszania wstecznego. We wszystkich trzech przypadkach osiągnięto zadowalającą dokładność.



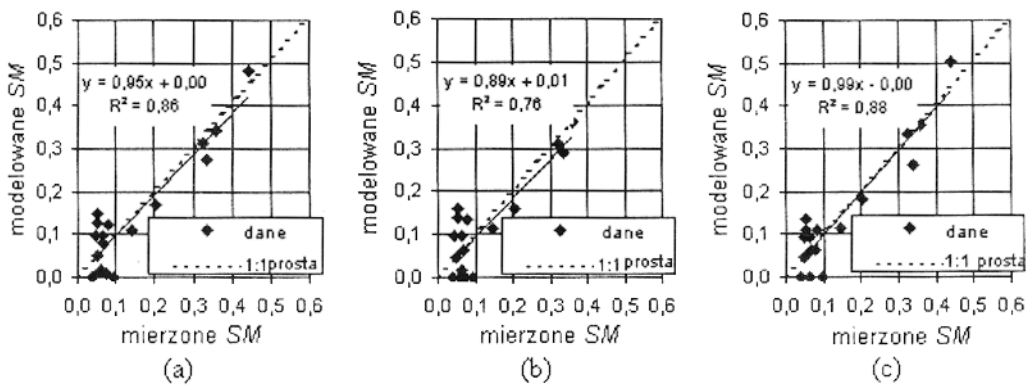
Najlepszą korelację pomiędzy zmierzoną i obliczoną wartością wilgotności gleby uzyskano w przypadku parametru VWM:  $r^2$  równe 0,88, błąd średni 0,037 z odchyleniem standardowym 0,028. Korelacja obliczonego i zmierzonego parametru VWM charakteryzowała się wielkościami:  $r^2 = 0,65$ , błąd średni 0,43 z odchyleniem standardowym 0,30. Użycie w modelu parametru LAI dało również dobre rezultaty:

- dla wilgotności gleby:  $r^2 = 0,86$ , błąd średni 0,043 z odchyleniem standardowym 0,025;
- dla LAI:  $r^2 = 0,60$ , błąd średni 0,66 z odchyleniem standardowym 0,48.

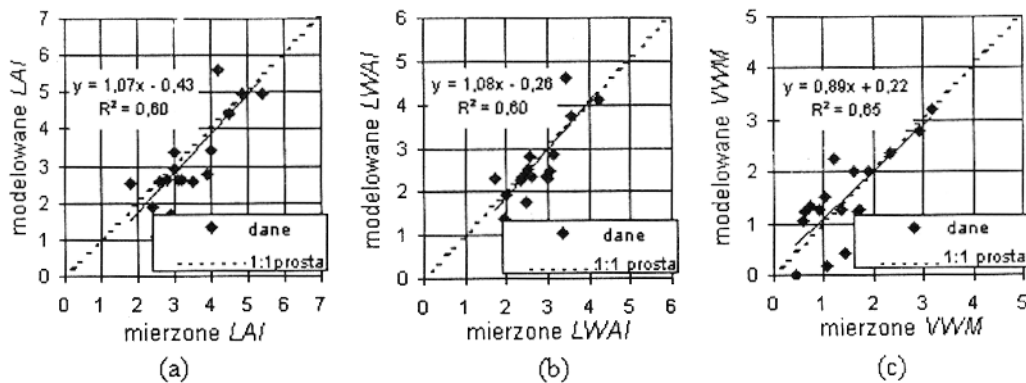
Rezultaty obliczeń z użyciem parametru LWAI tylko nieznacznie odbiegały dokładnością od poprzednich –  $r^2$  odpowiednio równe 0,84 i 0,64.



Rys. 4. Udział gleby i roślinności w wartości współczynnika wstecznego rozpraszania



Rys. 5. Porównanie zmierzonych i otrzymanych w wyniku inwersji modelu wartości wilgotności gleby



Rys. 6. Porównanie zmierzonych i otrzymanych w wyniku inwersji modelu wartości parametrów roślinnych

## Podsumowanie

W prezentowanej pracy wykorzystano pomiary wykonane w czasie jednej kampanii terenowej, w trakcie której zostały zarejestrowane dwa zdjęcia mikrofalowe pochodzące z satelity ERS-2 oraz JERS-1. W związku z tym badane rośliny znajdowały się w tych samych fazach fenologicznych. W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano, że w zakresie C promieniowania mikrofalowego (kąąt padania 23°) dominujący wpływ na wartość współczynnika  $\sigma^{\circ}$  ma gleba, mniejszy roślinność ją pokrywająca. Stwierdzono również, że w warunkach suszy (wilgotność gleby mniejsza od 0.1) wpływ gleby maleje w miarę wzrostu gęstości roślin. Spośród przebadanych parametrów glebowo-roślinnych, parametr VWM, opisujący ilość wody w roślinach, miał największy wpływ na wartość współczynnika  $\sigma^{\circ}$ . Wygaszanie przez roślinność sygnału pochodzącego od gleby zanotowano w przypadku każdego z trzech badanych parametrów (LAI, LWAI, VWM), jednak największe dla parametru VWM.

W zakresie L promieniowania mikrofalowego (kąąt padania 35°) dominujący wpływ na wartość współczynnika  $\sigma^{\circ}$  miała roślinność charakteryzująca się LAI>3. Wpływ wilgotności gleby na wartość współczynnika  $\sigma^{\circ}$  zaczyna być znaczący, gdy roślinność charakteryzuje się LAI<2.

Prace będą kontynuowane przy zastosowaniu zakresu L o różnej polaryzacji, pochodzącego z przyszłego satelity japońskiego ALOS/PALSAR, oraz zakresu C o różnej polaryzacji pochodzącego z satelity ENVISAT/ASAR. W tym celu wykorzystany zostanie model *Michigan Microwave Canopy Scattering model* (Ulaby et al., 1990). Ten semiempiryczny model będzie zastosowany dla roślin o różnym kształcie liścia (od wąskiego, np. zboża, do szerokiego, np. buraki cukrowe) w celu sprawdzenia możliwości zwiększenia precyzji szacowania wyżej wymienionych parametrów glebowo-roślinnych.

## Literatura

- Allen, C.T., Ulaby, F.T., 1984: Modelling the Polarization Dependence of the Attenuation in Vegetation Canopies. Proc. IGARSS'84 Symposium, 119-124.
- Attema, E.P., Ulaby, F.T., 1978: Vegetation modeled as a water cloud. *Radio Science*, vol. 13, No 2, pp. 357-364.
- Champion, I., Prevot, L., Guyot, G., 2000: Generalized semi-empirical modelling of wheat radar response. *Int. J. Rem. Sens.*, vol.21, No 9, pp. 1945-1951.
- Dąbrowska-Zielińska, K., Gruszczyńska, M., Janowska, M., Stankiewicz, K., Bochenek, Z., 1994: Use of ERS-1 SAR data for soil moisture assessment. Proc. First Workshop on ERS-1 Pilot Projects, pp. 79-84.
- Dąbrowska-Zielińska K., 1995: Szacowanie ewapotranspiracji, wilgotności gleb i masy zielonej łąk na podstawie zdjęć satelitarnych NOAA. *Prace Geograficzne Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN*, Nr 165, Wrocław, s. 82.
- Dąbrowska-Zielińska, K., Y. Inoue, W. Kowalik, M. Gruszczyńska, 2005: Inferring the Plant and Soil Variables on C- and L-Band SAR Backscatter over Agricultural Fields based on Model Analysis, *Advances in Space Research*, in press.
- Gruszczyńska M., Dąbrowska-Zielińska K., 1998: Application of microwave images from European Remote Sensing Satellites (ERS-1/2) for soil moisture estimates. *Journal of Water and Land Development*, No 2, pp. 7-18.



- Le Toan, T., Lopes, A., Huet, M., 1984: On the relationships between radar backscattering Coefficient and Vegetation Canopy Characteristics. Proc. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 155-160.
- Le Toan, T., 1982: Active microwave signatures of soils and crops: significant results of three years of experiments. Proc. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, (New York: I.E.E.E.), pp. 25-32.
- Paloscia S., 1998: An empirical approach to estimating leaf area index from multifrequency SAR data. *Int. J. Rem. Sens.* vol. 19, No 2, pp. 359-364.
- Prevot, L., Champion, I., Guyot, G., 1993: Estimating surface soil moisture and leaf area index of a wheat canopy using a dual – frequency (C and X bands) scatterometer. *Rem. Sens. Environ.*, No 46, pp. 331-339.
- Ulaby, F.T., Moore, R.K., Fung, A.K., 1986: Microwave Remote Sensing, Active and Passive, vol. III: From Theory to Applications, M. A. Dedham Ed. Artech House.
- Ulaby F.T., Sarabandi K., McDonald K., Whitt M., Dobson M.C., 1990: Michigan Microwave Canopy Scattering Model. *Int. J. Remote Sens.* vol. 11, no 7 pp. 1223-1253.

### Summary

*The monitoring of vegetation growth conditions is a very important problem in proper agricultural management and in yield forecasting. Spectral reflectance signatures taken in the optical spectrum are useful for such applications, and a variety of information from optical sensors can be applied for estimating soil moisture values and conditions of vegetation growth. However, the acquisition of optical sensor data is often hampered by unfavorable weather conditions. Radar sensors are able to collect the data despite of clouds. This is the major reason why they are much more likely to provide useful information. The microwave backscatter value depends on sensor configuration such as incident angle and polarization (Allen and Ulaby, 1984; Le Toan et al., 1984; Paloscia, 1998; Ulaby, 1978). Furthermore, it is affected by soil and plant dielectric and geometric properties (Ulaby et al., 1986; Dabrowska-Zielinska et al., 1994; Gruszczynska et al., 1998). Thus, it has been suggested that the combination of microwave signatures at different frequencies and/or polarizations may provide information on soil and vegetation conditions (Le Toan, 1982). The strong interaction of backscatter signal with soil and vegetation cannot be expressed by a simple linear function. It seems that mechanistic models may better characterize the contribution of various parameters on the observed backscattering signatures. The simulation of backscattering coefficient using the Water Cloud Model (WCM) was presented in the paper of Atema and Ulaby (1978) and modified by Prevot et al. (1993) and Champion (2000). The analysis based on the WCM uses two different SAR frequencies. Numeric inversion of the model may be useful in estimating soil moisture and vegetation descriptors. Thus, the goal of this study was to extract from dual-frequency and incidence angle satellite SAR signatures consistent information about moisture in soils and about various features of plants by implementation of the water-cloud model.*

*The study was carried out on Polish agricultural regions but it is hoped that it will be applicable anywhere on the planet. During satellite overpasses, the ground-based measurements required such as soil moisture, Leaf Area Index, and biomass were collected. The backscattering coefficients were collected from ERS-2.SAR (C-VV band at 5.3 GHz, incidence angle 23°, spatial resolution 30 m) and from JERS-SAR (L-HH band at 1.275 GHz, incidence angle 35°, spatial resolution 18 m). The applicability of three different vegetation descriptors to the semi-empirical water-cloud model was investigated. The contribution to the backscatter values of vegetation features such as leaf area expressed in the Leaf Area Index (LAI) and the dielectric properties of leaf surface expressed in the Leaf Water Area Index (LWAI) and the Vegetation Water Mass (VWM) was examined in order to reveal the best fit of the model. It was found that in C-band, which had an incidence angle of 23°, the soil moisture contribution to the sigma value was predominant over the vegetation contribution. When the canopy cover increases, the sensitivity of a radar signal to dry soil conditions ( $SM < 0.1$ ) decreased. The sigma*

value was the most sensitive to vegetation descriptor *VWM* which described the amount of water in vegetation. Attenuation of soil signal by the canopy was found in all three vegetation descriptor types; the strongest attenuation effect was observed in the case of *VWM*. In *L*-band (where the incidence angle was 35°), the dominant signal to total  $s^\circ$  value comes from volume scattering of vegetation for  $LAI > 3$ . When  $LAI < 3$  the vegetation contribution to total  $s^\circ$  value appeared in two-way attenuation. The results gave us the possibility of comparing the modelled parameters with the measured soil and vegetation-parameters.

The study will continue using *L* band with different polarization from future *ALOS PALSAR* satellite and *C* band from *ENVISAT ASAR* various polarization. The combination of model simulating back-scattering coefficient from canopy as Michigan Microwave Canopy Scattering model (Ulaby et al., 1990) and semi empirical model will be applied for different vegetation types not only for narrow leaf crops but also for broad leaves in order to verify possibility to increase the precision in obtaining soil vegetation descriptors.

prof. dr hab. Katarzyna Dąbrowska-Zielinska  
kasia@igik.edu.pl  
tel. (0-22) 329 19 74

mgr inż. Wanda Kowalik  
wanda@igik.edu.pl  
tel. (0-22) 329 19 78

dr inż. Maria Gruszczyńska  
mary@igik.edu.pl  
tel. (0-22) 329 19 75  
fax (0-22) 329 19 50