



Maria Gruszczyńska\*

## **Zastosowanie zdjęć satelitarnych ERS-1 SAR w badaniach rolniczych**

*Use of ERS-1 SAR data for agricultural studies*

**T**his study has been carried out for agricultural areas in the Obra River Valley (Poland). ERS-1 SAR data obtained from ESA for Pilot Project PL-4 for the 1992 and 1993 growing seasons have been processed using an ERDAS image processing system. Simultaneously to ERS-1 descending over passes the measurements of soil and vegetation parameters were carried out at 30 points, 15 grassland and 15 crop covered points. Also, surveys were undertaken to record crop type with their actual development stage and grass growing condition. Backscatter coefficient  $\sigma^0$  for each ground truth points were calculated as an average of the block of 6x6 pixels for the crop covered points and 8x8 pixels for the grassland. Such backscatter signature values have been included in the subsequent data analysis. Temporal plots of backscatter for different crop types and grass were plotted and compared (Figs 1-2). With data from two consecutive years 1992 and 1993 it was possible to examine the backscatter differences due to soil moisture differences. For the growing season of 1992 which was affected by drought the backscatter values were significantly lower than in 1993 (Figs 3-6). Backscatter signatures of the same crop types for the different vegetation surface condition caused by the succeeding development stage differ from each other. However, the same crop types show similar profiles of the backscatter signals with consecutive peaks and troughs during the whole growing season. It was noticed that peaks occurred: during grain and maturity stages for cereals, during germination and leaves developed stages for root crops and for rape during

green pods. The troughs occurred: during ripening and stubble stages for cereals and during foliation and root ripening for root crops (Figs 7-8). The highest values of  $\sigma^0$  were caused by highest vegetation surface roughness connected to crop development stage. For the same growing season the development stages of spring crops are about two weeks later than corresponding stages of winter crops which shows the course of their backscatter signatures, particularly in the early growing phase (145-163 Julian Days). During this early stage of growing season the backscatter decreased for spring crops, root crops and corn while for the winter crops and grass it was increasing (Figs 1-2). The highest differences among the backscatter values for particular crop types and grass occurred on images recorded in June (163 Julian Day) — Figs 1-2. However, the crop structure classification should be performed using multitemporal image. Temporal plots of backscatter — soil moisture relationship for crops and grassland showed the two way character of proportionality direct and inverse (Figs 7-8). This was due to various vegetation surface roughness condition throughout a whole growing season due to succeeding development stages of crops. The soil moisture assessment can be considered for the particular growing phases separately for the intervals of different LAI values for example.

The author wants to acknowledge dr K. Dąbrowska-Zielińska for the scientific discussion, our colleagues from the OPOLIS: M. Janowska, K. Stankiewicz, I. Małek for the assistance and A. Kijowski who provided us with the soil parameters data.

\* Mgr inż. Maria Gruszczyńska, Instytut Geodezji i Kartografii, Ośrodek Teledetekcji i Informacji Przestrzennej — OPOLIS, ul. Jasna 2/4, 00-950 Warszawa, Tel.: (48 22) 26 42 21 w. 338, Fax: (48 22) 27 03 28.

## Wstęp

Umieszczenie na orbicie ziemskiej pierwszego europejskiego satelity środowiskowego ERS-1 dało możliwość obserwacji powierzchni Ziemi niezależnie od warunków pogodowych. Szczególne znaczenie tego satelity w badaniach rolniczych wiąże się ze znajdującym się na jego pokładzie radarem z anteną syntetyczną (AMI *synthetic aperture radar*, SAR). W celu określenia zakresu zastosowań danych radarowych ERS-1 SAR w rolnictwie wykonane zostały w IGIK-OPOLIS badania w ramach projektu pilotowego PL-4 zatytułowanego „*Soil moisture and evapotranspiration for crop yield assessment based on ERS-1 data*”, zleconego przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA) w 1992 roku (Dąbrowska-Zielińska i in., 1994). Wyniki niektórych prac przeprowadzonych w ramach: wyżej wymienionego projektu badawczego przedstawione są w kolejnych rozdziałach tego artykułu.

## Opis poligonu badawczego

Obszar badawczy położony jest w zasięgu mezoregionu — Dolina Środkowej Obry wchodzącego w skład makroregionu — Pradolina Warciańsko-Odrzańska. W skład badanego terenu wchodzi dolina rzeki Obry oraz położona od niej na północ wysoczyzna — Pojezierze Poznańskiego (Kondracki, 1988). Prawie płaskie dno doliny o różnicach wysokości rzędu 1 metra zajęte jest przez łąki i niewielkie lasy (głównie iglaste) porastające lokalne wyniesienia. Obszar ten odwadniany jest przez system kanałów i rowów melioracyjnych. Największe z nich to: Północny Kanał Obry, Środkowy Kanał Obry i Południowy Kanał Obry. W dolinie tej wytworzyły się następujące typy gleb: torfowe, murszowo-torfowe, mulowo-torfowe, murszowo-mineralne i murszowate (*Mapy glebowo-rolnicze ...*, 1983). Tereny przylegające do doliny od północy położone są na wysokości do 15 metrów powyżej jej dna i zajęte są głównie przez pola uprawne i niewielkie pod względem powierzchni obszary leśne. Uprawia się tu głównie zboża (pszenicę, pszenżyto, żyto, jęczmień i kukurydzę), rośliny okopowe (buraki i ziemniaki) oraz rzepak. Na wysoczyźnie wytworzyły się następujące typy gleb: bielcowe oraz brunatne i czarne ziemie. Wymienione typy gleb mają w podłożu piaski luźne, piaski gliniaste lub gliny (*Mapy glebowo-rolnicze ...*, 1983).

Rzeźba terenu, gęsta sieć kanałów i rowów melioracyjnych oraz sąsiedztwo jezior i lasów powodują, że wytworzył się tu specyficzny mikroklimat tzw. łąkowy. Obszar ten jest, jak na warunki polskie, obszarem ciepłym, ustępującym pod tym względem jedynie dolinie Odry i okolicom Tarnowa. W okresie wczesnego lata jest tu jednak więcej dni z przymrozkami niż w innych rejonach, co tłumaczy się mniejszą zawartością pary wodnej w powietrzu, spowodowaną najniższymi w Polsce opadami: średnio 500 mm w skali roku. Długość okresu wegetacyjnego (temperatura powietrza powyżej 5°C) waha się od 220 do 230 dni w roku, co stawia ten teren w czołówce obszarów Polski pod tym względem.

## Dane terenowe

W okresach wegetacyjnych lat 1992 i 1993 wykonane zostały pomiary różnych parametrów glebowych i roślinnych w wyznaczonych wcześniej punktach, obejmujących 15 stanowisk łąkowych i 15 stanowisk ornych. Dni, w czasie których prowadzone były prace terenowe, odpowiadały dniom przelotu satelity ERS-1. Terminy te zostały wybrane spośród propozycji nadesłanych przez ESA. W czasie zbliżonym do godziny przelotu satelity (9:52 GMT) wykonane zostały następujące pomiary: wysokości roślin (h w m), biomasy świeżej — Bw (w g/m<sup>2</sup>), powierzchni projekcyjnej liści — LAI (wskaźnik bezwymiarowy), ilości roślin na 1 m<sup>2</sup> powierzchni (zboża) lub 1 m długości w rzędzie (okopowe), wilgotności gleby (w % objętościowych) — na trzech głębokościach: 0-10, 10-20, 20-30 cm, siły ssącej gleby pF — na trzech głębokościach: 0-10, 10-20, 20-30 cm.

Pomiary powierzchni projekcyjnej liści (LAI) wykonywane były instrumentem LAI-2000 *Plant Canopy Analyzer*, produkcji amerykańskiej firmy LI-COR. Pomiary biomasy świeżej i suchej wykonywane były na zlecenie w laboratorium PGR Obra na podstawie zebranych w terenie prób. Pomiary wilgotności gleby oraz krzywe pF wykonane były przez dr A.Kijowskiego z firmy DEDAL.

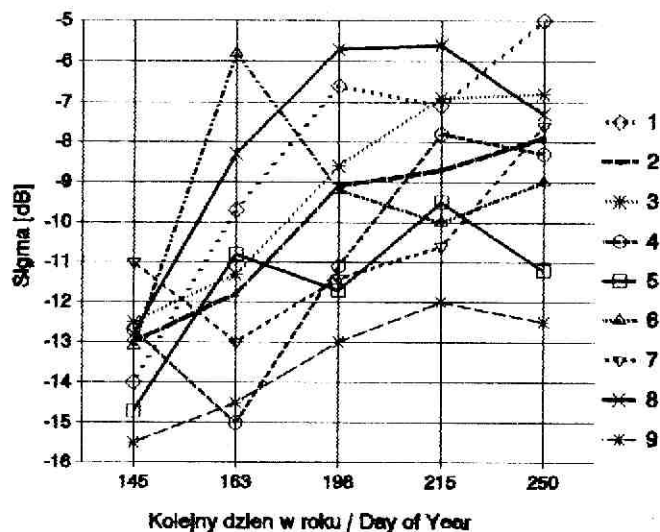
Miejsca wykonywania pomiarów były reprezentatywne dla całego rozpatrywanego pola.

Oprócz wyżej wymienionych prac wykonano kartowanie struktury upraw oraz notowana była aktualna faza rozwojowa roślin i ich kondycja. W dniu pierwszych rejestracji zboża ozime były w fazie kłoszenia i kwitnienia, zboża jare w fazie żdźbienia, kukurydza i buraki cukrowe w fazie wschodów a rzepak w fazie kwitnienia. Rok 1992 był rokiem suchym natomiast rok 1993 można uznać za przeciętny.

## Dane satelitarne

W dniu 17.07.1991 satelita ERS-1 został umieszczony na orbicie polarnej zsynchronizowanej ze Słońcem i odległej od powierzchni Ziemi o 785 km. Plan misji zakładał podział czasu pracy satelity na 7 faz różniących się konfiguracją orbity i celem badań. Zdjęcia, które otrzymano pochodzą z fazy czwartej, multidyscyplinarnej, która trwała od początku kwietnia 1992 do końca 1993 roku. Faza ta charakteryzowała się orbitą o 35-cio dniowym cyklu powtórzeniowym. Ponieważ badany teren rejestrowany był na dwóch sąsiadujących orbitach, częstotliwość obserwacji zwiększyła się dwukrotnie. Zdjęcia satelitarne ERS-1 SAR.PRI otrzymane z ESA do realizacji projektu pilotowego PL-4 odpowiadają następującym datom (w nawiasie kolejny dzień w roku):

23.05.1992 (144)	01.07.1993 (182)
11.06.1992 (163)	17.07.1993 (198)
16.07.1992 (198)	05.08.1993 (217)
01.08.1991 (214)	21.08.1993 (233)
05.09.1992 (249)	09.09.1993 (252)
27.05.1993 (147)	25.09.1993 (268)
12.06.1993 (163)	



Ryc. 1. Przebieg wartości współczynnika  $\sigma^0$  w okresie wegetacyjnym w roku 1992

1 — buraki cukrowe; 2 — kukurydza; 3 — żyto ozime; 4 — pszenica jara; 5 — pszenica ozima; 6 — rzepak; 7 — owies jary; 8 — ziemniaki; 9 — użytki zielone

Fig. 1. Temporal evolution of backscatter  $\sigma^0$  for growing season of 1992. 1 — sugar beet; 2 — corn; 3 — winter rye; 4 — spring wheat; 5 — winter wheat; 6 — rape; 7 — spring oat; 8 — potatoes; 9 — grassland

Zdjęcie satelitarne ERS-1 SAR jest mapą sygnałów radarowych powstających w wyniku skanowania powierzchni z pozycji bocznej. Pojedynczy sygnał SAR PRI charakteryzuje powierzchnię na Ziemi równą  $12,5 \times 12,5$  metra (jest to wymiar piksela obrazu radarowego). Sygnały te zostały uśrednione dla bloków pikseli od  $3 \times 3$  do  $11 \times 11$  i odczytane w systemie ERDAS po zastosowaniu oprogramowania uwzględniającego kalibrację, stworzonego przez K. Stankiewicz. Punkt pomiarów naziemnych znajdował się w środku każdego bloku.

Otrzymane w ten sposób wartości współczynnika rozpraszania wstecznego —  $\sigma^0$  (backscattering coefficient) zostały poddane analizie zmierzającej do wyboru optymalnej wielkości bloku pikseli. Tak uśrednione wartości zostały zastosowane do dalszych badań.

### Analiza wartości współczynnika $\sigma^0$

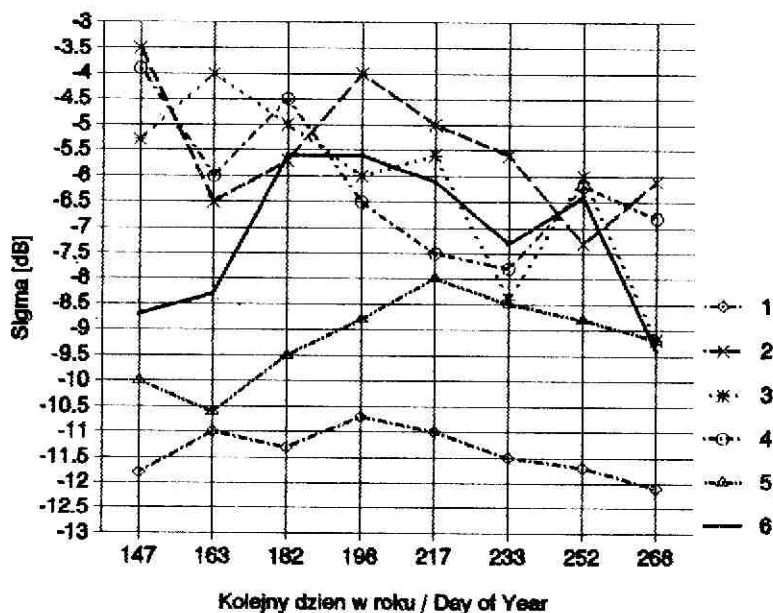
Dla każdego punktu pomiarowego w obu latach zostały obliczone wartości współczynnika  $\sigma^0$  przy czym dla upraw rolnych były to wartości średnie dla bloków  $6 \times 6$  pikseli a dla użytków zielonych wartości średnie dla bloków  $8 \times 8$  pikseli. Wartości uśrednione z mniejszej liczby pikseli nie charakteryzowały odpowiednio badanego pola. Następnie dla poszczególnych upraw i użytków zielonych wykonano wykresy przebiegu wartości w czasie okresu wegetacyjnego w obu rozpatrywanych latach (ryc. 1 i 2). Analiza wykresów pozwoliła na sformułowanie poniższych uwag.

1. Na tych samych stanowiskach i dla tych samych upraw wartości  $\sigma^0$  były różne

w obu latach. Były one mniejsze dla mniejszej wilgotności gleby, to jest w roku suchym — 1992 (ryc. 3-6). Różnice wartości wahały się w zależności od typu rośliny, jej fazy rozwojowej i stanowiska. Jak widać na rycinie 3 ściernisko w obu latach miało podobne wartości współczynnika  $\sigma^0$  (-6dB), co może świadczyć o przeważającym wpływie szorstkości powierzchni nad wilgotnością gleby. Przy czym w roku 1993 były to wartości jedne z mniejszych a w 1992 jedne z większych.

2. Wartości  $\sigma^0$  zależą silnie od fazy rozwojowej roślin. Krzywe przebiegu tych wartości w czasie okresu wegetacyjnego mają dla tych samych upraw podobne profile z kilkoma maksimum i minimum. Na przykład w roku 1993 wartości maksymalne dla zbóż wystąpiły w fazie zawiązywania ziarna i ponownie w fazie dojrzałości pełnej tuż przed żniwami natomiast minimalne w fazie dojrzewania i dla ścierniska (ryc. 7). Dla roślin okopowych wartości maksymalne wystąpiły w fazie wschodów oraz ponownie w fazie wypuszczania trzeciej pary liści (ryc. 8) a dla rzepaku w fazie zawiązywania strąków. Tam gdzie przeważał udział gleby w rozpatrywanej powierzchni wartości  $\sigma^0$  były największe niezależnie od typu uprawy i wilgotności. Zatem wartości największe współczynnika  $\sigma^0$  związane były z dużą szorstkością powierzchni.

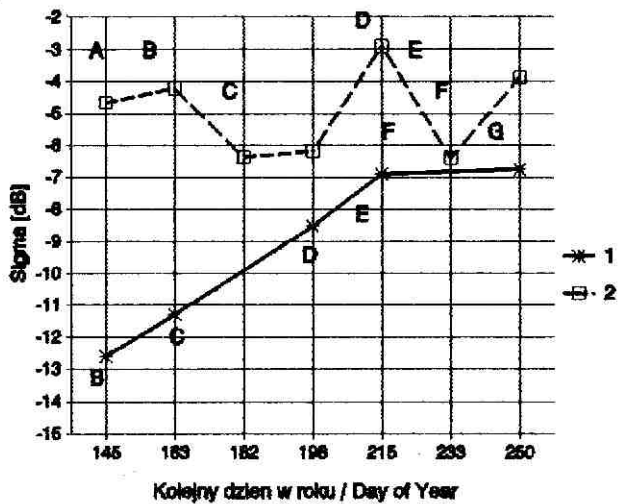
3. Wykresy wartości  $\sigma^0$  w czasie, mają odmienny przebieg dla zbóż jarych i ozimych we wczesnej fazie rozwoju roślin. Dla zbóż jarych wartości  $\sigma^0$  maleją do połowy czerwca, natomiast dla zbóż ozimych w tym samym czasie rosną (ryc. 1 i 2). Również kukurydza i rośliny okopowe podobnie jak zboża jare mają w tym czasie malejące wartości  $\sigma^0$ , jednak jego wartości były wyższe od zbóż.



Ryc. 2. Przebieg wartości współczynnika  $\sigma^0$  w okresie wegetacyjnym w roku 1993. 1 — użytki zielone; 2 — buraki cukrowe; 3 — rzepak; 4 — kukurydza; 5 — pszenica jara; 6 — żyto ozime

Fig. 2. Temporal evolution of backscatter  $\sigma^0$  for growing season of 1993.

1 — grassland; 2 — sugar beet; 3 — rape; 4 — corn; 5 — spring wheat; 6 — winter rye



Ryc. 3. Porównanie przebiegu wartości współczynnika  $\sigma^0$  dla żyta ozimego w sezonach wegetacyjnych lat: 1992 i 1993.

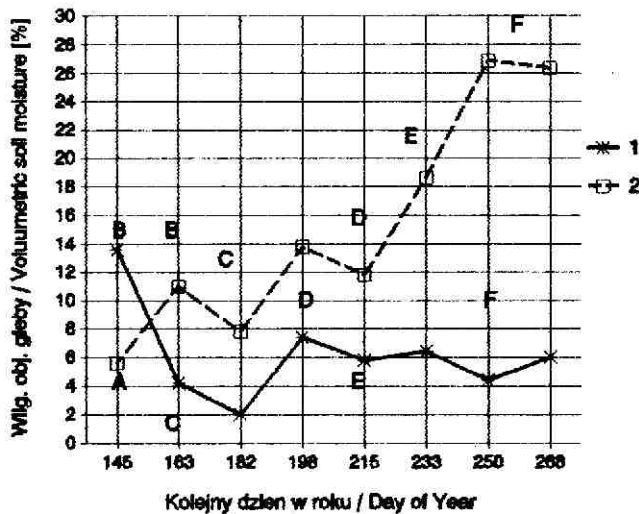
1 — współczynnik  $\sigma^0$  w roku 1992; 2 — współczynnik  $\sigma^0$  w roku 1993; A — kwitnienie; B — zawiązywanie ziarna; C — dojrzewanie; D — dojrzałość pełna; E — zbiór; F — rżysko; G — orka

Fig. 3. Comparison of temporal evolution of backscatter  $\sigma^0$  for growing seasons of 1992 and 1993 for winter rye.

1 — backscatter  $\sigma^0$  for 1992; 2 — backscatter  $\sigma^0$  for 1993; A — flowering; B — graining; C — ripening; D — maturity; E — harvest; F — stubble; G — ploughing;

4. Największe różnice między wartościami  $\sigma^0$  dla poszczególnych typów upraw wystąpiły w obu latach na zdjęciu satelitarnym z połowy czerwca. Jednak dokładną klasyfikację struktury upraw należy przeprowadzić na podstawie kompozycji wieloterminowej.

W następnym etapie pracy wykonane zostały wykresy zależności współczynnika  $\sigma^0$  od wilgotności objęto-

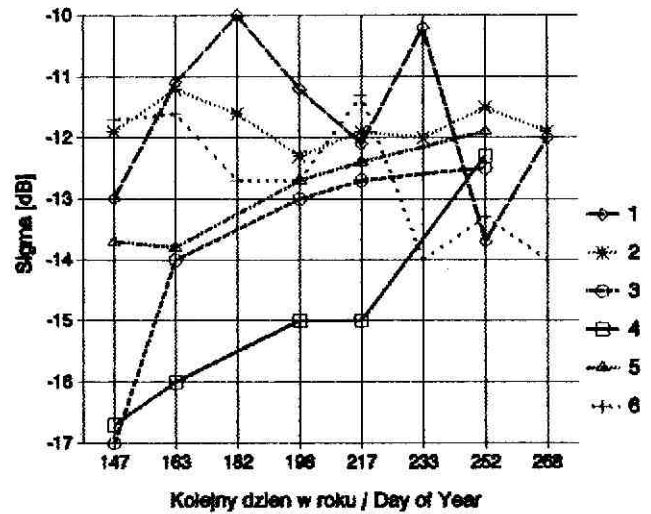


Ryc. 4. Porównanie przebiegu wartości wilgotności gleby (% obj. w warstwie 0-10 cm) dla żyta ozimego w sezonach wegetacyjnych lat: 1992 i 1993

1 — wilgotność gleby w roku 1992; 2 — wilgotność gleby w roku 1993; A — kwitnienie; B — zawiązywanie ziarna; C — dojrzewanie; D — dojrzałość pełna; E — rżysko; F — orka

Fig. 4. Comparison of temporal evolution of soil moisture (% vol. for 0-10 cm depth) for growing seasons of 1992 and 1993 for winter rye

1 — soil moisture for 1992; 2 — soil moisture for 1993; A — flowering; B — graining; C — ripening; D — maturity; E — stubble; F — ploughing



Ryc. 5. Porównanie przebiegu wartości współczynnika  $\sigma^0$  dla użytków zielonych w sezonach wegetacyjnych lat: 1992 i 1993

1 — punkt 9 w roku 1993; 2 — punkt 10 w roku 1993; 3 — punkt 9 w roku 1992; 4 — punkt 11 w roku 1992; 5 — punkt 10 w roku 1992; 6 — punkt 11 w roku 1993

Fig. 5. Comparison of temporal evolution of backscatter  $\sigma^0$  for growing seasons of 1992 and 1993 for grassland

1 — site for 1993; 2 — site 10 for 1993; 3 — site 9 for 1992; 4 — site 11 for 1992; 5 — site 10 for 1992; 6 — site 11 for 1993

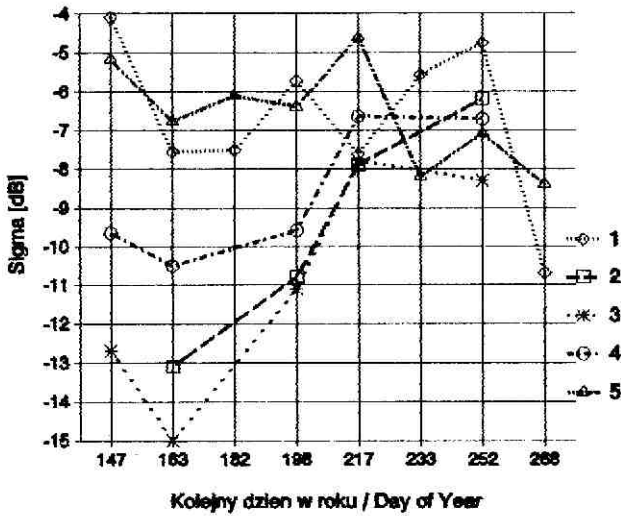
ciowej gleby (0-10 cm) w czasie sezonu wegetacyjnego dla wszystkich punktów pomiarowych. Analiza tych wykresów wykazała ich dwukierunkowość związaną silnie z fazą rozwojową roślin, która z kolei wpływa na szorstkość badanych powierzchni. Dla powierzchni szorstkich, które wystąpiły głównie we wczesnych i późnych fazach rozwojowych upraw, kiedy wartości powierzchni projekcyjnej liści tzw. LAI były małe, zależność między  $\sigma^0$  a wilgotnością gleby była odwrotnie proporcjonalna. W okresie pełnego pokrycia powierzchni gleby masą zieloną, kiedy wartości LAI były duże, zależność ta była wprost proporcjonalna (ryc. 7 i 8). Nasuwa się wniosek, że wilgotność gleb można szacować na podstawie zdjęć satelitarnych ERS-1 SAR w ramach pewnych przedziałów wartości LAI (szorstkości) czyli dla określonych faz rozwojowych roślin oddzielnie.

## Podsumowanie

Analiza wykresów przebiegu wartości współczynnika  $\sigma^0$  w czasie okresu wegetacyjnego (niepełnego z racji ograniczeń zdjęciowych ERS-1) wykazała możliwości zastosowania zdjęć radarowych w rolnictwie a w szczególności do:

- rozróżniania zbóż jarych od ozimych we wczesnych fazach okresu wegetacyjnego,
- określania struktury upraw na wieloterminowym zdjęciu radarowym,
- określania wilgotności gleb w zależności od fazy rozwojowej roślin.

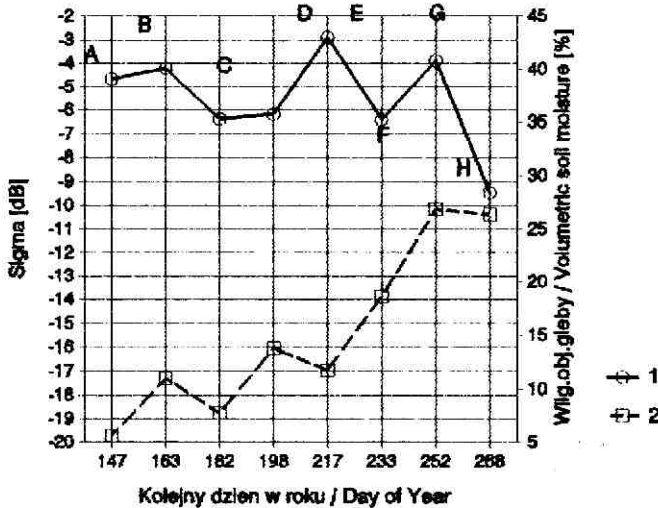
Powyższe wnioski należy traktować jako wstępne z racji krótkiego, dwuletniego okresu badań. Potwierdzenie otrzymanych wyników będzie możliwe dopiero po analizie danych z roku 1994.



Ryc. 6. Porównanie przebiegu wartości współczynnika  $\sigma^0$  dla pszenicy jarej w sezonach wegetacyjnych lat: 1992 i 1993  
1 — punkt 61 w roku 1993; 2 — punkt 61 w roku 1992; 3 — punkt 60 w roku 1992; 4 — punkt 62 w roku 1992; 5 — punkt 59 w roku 1993

Fig. 6. Comparison of temporal evolution of backscatter  $\sigma^0$  for growing seasons of 1992 and 1993 for spring wheat  
1 — site 61 for 1993; 2 — site 61 for 1992; 3 — site 60 for 1992; 4 — site 62 for 1992; 5 — site 59 for 1993

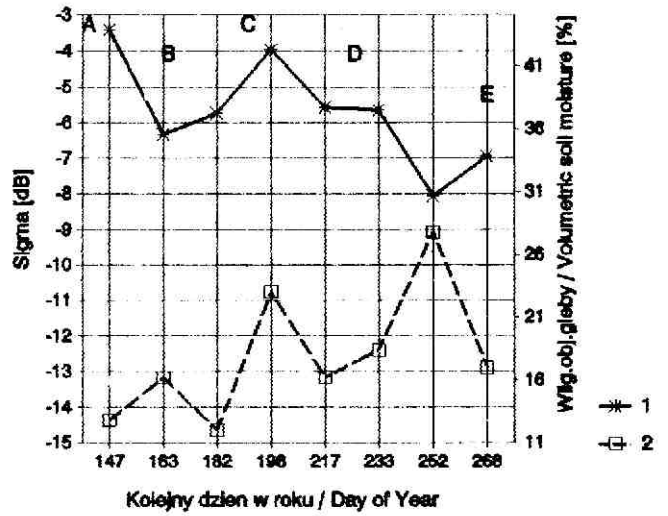
Podziękowania. Autorka serdecznie dziękuje dr Katarzynie Dąbrowskiej-Zielińskiej za cenną dyskusję naukową, mgr inż. Małgorzacie Janowskiej za pomoc w zbieraniu i opracowywaniu danych terenowych, mgr Krystynie Stankiewicz za przetworzenie zdjęć satelitarnych oraz dr Andrzejowi Kijowskiemu za badania wilgotności gleb.



Ryc. 7. Przebieg wartości współczynnika  $\sigma^0$  i wilgotności (% obj. w warstwie 0-10cm) dla żyta ozimego w sezonie wegetacyjnym w 1993 roku

1 — wartości  $\sigma^0$ ; 2 — wartości wilgotności gleb; A — kwitnienie; B — zawiązywanie ziarna; C — dojrzewanie; D — dojrzałość pełna; E — zbiór; F — rżysko; G — orka

Fig. 7. Temporal evolution of backscatter  $\sigma^0$  and soil moisture (% vol. for 0-10cm depth) for growing season of 1993 for winter rye  
1 — backscatter  $\sigma^0$ ; 2 — soil moisture; A — flowering; B — graining, C — ripening; D — maturity; E — harvest; F — stubble; G — ploughing



Ryc. 8. Przebieg wartości współczynnika  $\sigma^0$  i wilgotności gleby (% obj. w warstwie 0-10cm) dla buraka cukrowego w sezonie wegetacyjnym w roku 1993

1 — wartości  $\sigma^0$ ; 2 — wartości wilgotności gleb; A — wschody; B — li-stnienie; C — max. masa zielona; D — dojrzewanie; E — dojrzałość techniczna

Fig. 8. Temporal evolution of backscatter  $\sigma^0$  and soil moisture (% vol. for 0-10cm depth) for growing season of 1993 for sugar beet  
1 — backscatter  $\sigma^0$ ; 2 — soil moisture; A — germination; B — foliation; C — max. green biomass; D — root ripening; E — maturity

## Literatura

Dąbrowska-Zielińska K., Gruszczyńska M., Janowska M., Stankiewicz K., 1994: Use ERS-1 SAR data for soil moisture assessment. *Proceedings of the Pilot Project Members meeting*, June 1994, Toledo, Hiszpania.  
Kondracki J., 1988: *Geografia fizyczna Polski*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.

Mapa glebowo-rolnicza województw: zielonogórskiego, ark. 2; poznańskiego, ark. 3; leszczyńskiego, ark. 1; skala 1:100 000, 1983: IUNG, Puławy.

Maszynopis złożono w Redakcji: 1994.09.26.