

Próba klasyfikacji warunków środowiskowych fragmentu Małopolski na podstawie obrazu radarowego ERS-2

An attempt to classify the environment conditions of Małopolska fragment basing on imaging radar ERS-2

Katarzyna BŁAŻEJEWSKA

The purpose of this work is to assess the applicability of radar images made by satellites ERS-1 and ERS-2 while classifying the environmental conditions of the areas with varied relief. This work makes an attempt to define the interdependence between the picture of radar image and the environmental structure.

Researches conducted were based on the analysis of radar image coming from satellite ERS-2 and including in its range a part of Karpaty and Podkarpacie. These researches consisted in

the division of research area into homogenous microwave space units (HMJP). The basis to separate HMJP within an analyzed radar image was to create separate strata: tonal, structural, textural, and then put these strata on one another.

Unit types separated this way have been analyzed from the point of view of geologic structure, relief, soils and terrain features. The focus was on the interrelations between image features within a unit and environment elements, which construct it.

Wstęp

W ostatnim dziesięcioleciu obserwuje się wzrastające zainteresowanie zastosowaniem obrazów mikrofalowych w badaniu środowiska. Związane jest to z możliwością uzyskania na ich podstawie nowego rodzaju informacji, jakich nie są w stanie dostarczyć obrazy wykonywane w innych zakresach promieniowania elektromagnetycznego. Promieniowanie mikrofalowe odbijane jest bowiem od powierzchni Ziemi w sposób uzależniony głównie od właściwości fizycznych i elektrycznych tej powierzchni. Wykazuje ono również zdolność przenikania przez glebę, dostarczając tym samym informacji o warstwach podpowierzchniowych. Największą jego zaletą jest jednak zdolność przenikania atmosfery niezależnie od warunków pogodowych i pory dnia. Fakt, że nawet silne zachmurzenie nie powoduje zauważalnego pochłaniania mikrofal, nabiera szczególnego znaczenia w warunkach klimatycznych panujących w naszym kraju, gdzie dużą przeszkodą w rejestrowaniu promieniowania w zakresie widzialnym i podczerwieni są chmury.

W teledetekcji mikrofalowej szczególnie duże zna-

czenie ma urządzenie zwane radiolokatorem obrazowym, zaliczane do aktywnych systemów zdalnego zbierania informacji o powierzchni Ziemi. Urządzenie to wytwarza i transmituje własną energię elektromagnetyczną, w odróżnieniu od systemów pasywnych, rejestrujących promieniowanie pochodzące z innych źródeł. Radiolokator obrazowy umieszczony został na pokładzie wielu satelitów operacyjnych, wśród których można wymienić satelity: ERS-1, ERS-2, JERS-1, RADARSAT oraz od niedawna pracującego satelitę ENVISAT. Łatwo jednak zauważyć, że postęp w zakresie technicznych środków dostarczania danych radarowych jest dużo szybszy niż rozwój metod umożliwiających pełne odczytanie niesionych przez te dane informacji. Obrazy radarowe stwarzają więc ciągle nowe możliwości w badaniu środowiska, a zapotrzebowanie na tego typu badania jest bardzo duże.

Celem niniejszej pracy jest ocena przydatności obrazów radarowych wykonywanych przez satelity ERS-1 i ERS-2 przy klasyfikacji warunków środowiskowych obszarów o urozmaiconej rzeźbie. Praca ta jest próbą określenia zależności pomiędzy rysunkiem obrazu radarowego a strukturą środowiska, zgodnie z koncepcją mówiącą, że informacja o środowisku zarejestrowa-

na jest na materiałach teledetekcyjnych w postaci obrazu o specyficznych cechach tonalno-strukturalno-teksturalnych (Olędzki, 1992).

Przeprowadzone badania polegały na analizie obrazu radarowego, pochodzącego z satelity ERS-2 i obejmującego swoim zasięgiem fragment Karpat i Podkarpacia, metodą wyznaczania homogenicznych mikrofalowych jednostek przestrzennych (HMJP), a następnie określeniu ich relacji do wybranych komponentów środowiska. Pod pojęciem HMJP rozumiemy wyodrębniony na obrazie radarowym obszar posiadający określony odcień szarości, strukturę i teksturę. HMJP odpowiada więc jednostce fotomorficznej obrazu fotograficznego. Podstawą wydzielenia HMJP w obrębie analizowanego obrazu radarowego było stworzenie oddzielnych warstw: tonalnej, strukturalnej, teksturalnej, a następnie nalożenie wymienionych warstw na siebie. Wydzielone w ten sposób typy jednostek zostały przeanalizowane z punktu widzenia budowy geologicznej, rzeźby, gleb i pokrycia terenu. W pracy starano się uchwycić powiązania między cechami obrazu w obrębie jednostki a budującymi ją elementami środowiska. Przedstawiona została również całościowa charakterystyka warunków środowiskowych poszczególnych typów HMJP. W końcowej części opracowania dokonano porównania uzyskanego podziału badanego terenu na homogeniczne mikrofalowe jednostki przestrzenne z istniejącym podziałem na jednostki fotomorficzne przeprowadzonym przez J.R. Olędzkiego (1992) na podstawie obrazów satelitarnych z Landsata.

Przykłady wykorzystania obrazów radarowych ERS-1/2 w badaniu środowiska

Satelita ERS-1 był pierwszym europejskim satelitą operacyjnym przeznaczonym do badania środowiska wyposażonym w radiolokator obrazowy. Został wystrzelony w lipcu 1991 roku przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA). Znajdował się on na orbicie okołobiegunowej, co umożliwiało obserwację całej kuli ziemskiej o jednakowej porze dnia. Działał do maja 1996 roku. W kwietniu 1995 roku ESA wystrzeliła drugiego satelitę z tej serii ERS-2, na którego pokładzie zainstalowane zostały takie same urządzenia radarowe i który okrążał Ziemię po tych samych orbitach co działający jeszcze wówczas satelita ERS-1.

Wprowadzenie na orbitę satelitów obrazujących powierzchnię Ziemi w mikrofalowym zakresie promieniowania dało możliwość otrzymywania zdjęć satelitarnych niezależnie od warunków atmosferycznych. Pozwoliło również na uzyskanie nowych, unikalnych informacji o środowisku. Obrazy radarowe wykorzystywane są w takich dziedzinach jak: ekologia, leśnictwo, rolnictwo hydrologia, oceanografia, glaciologia, geografia i topografia.

Obrazy radarowe mogą stać się źródłem danych o zasobach naturalnych i klęskach żywiołowych. W trakcie powodzi w dolinie Odry w lipcu 1997 roku wykorzystano zdjęcia z satelity ERS-2 do wyznacze-

nia maksymalnego zasięgu fali powodziowej. Na podstawie zgromadzonych w systemie informacji geograficznej wielotematycznych danych przestrzennych określono rodzaj zalanych użytków oraz obliczono ich powierzchnię w obrębie poszczególnych gmin i województw (Ciołkosz, Bielecka, 1998). Dane radarowe znalazły zastosowanie także w badaniu obszarów zniszczonych pożarami w południowej części wyspy Borneo. Kolorowe kompozycje wieloczasowe stworzone z obrazów wykonanych przed, w trakcie i po okresie długotrwałych pożarów ukazały różnice w wartościach współczynnika wstecznego rozpraszania. Na kompozycjach tych wyraźnie zarysowały się również różne formy pokrycia terenu (Lim i in., 1999).

Innym przykładem praktycznego wykorzystania obrazów radarowych są próby określania na ich podstawie wilgotności gleb pod zbożami. W latach 1992–1997 M. Gruszczynska przeprowadziła badania na polu testowym zlokalizowanym w Wielkopolsce, które to badania wykazały, że wilgotność gleb pod zbożami może być obliczona na podstawie współczynnika rozpraszania wstecznego otrzymanego z obrazu radarowego. Zależności pomiędzy wilgotnością gleby i współczynnikiem wstecznego rozpraszania zbadano w obrębie stałych warunków szorstkości i wilgotności roślin. Aby warunki te zostały spełnione, dokonano podziału badanych zbóż na klasy według wartości wskaźnika LAI (mówiącego o szorstkości podłoża) i zawartości wody w roślinach (ściśle związanej z fazami rozwojowymi zbóż).

Podjęmowane były również próby wykorzystania obrazów radarowych do kartowania i monitorowania rozwoju roślin uprawnych. Podstawą do rozróżniania upraw jest zmienność współczynnika wstecznego rozpraszania w czasie, wywołana zmianami właściwości dielektrycznych i geometrycznych pokrywy roślinnej wynikającymi z przechodzenia upraw przez poszczególne fazy rozwojowe. Według badań przeprowadzonych przez M. Mroza (1999) na obszarze Żuław Malborskich mała seria obrazów radarowych ERS pozwala dość dobrze sklasyfikować rodzaje roślin uprawnych z podziałem na takie klasy jak: zboża ozime, rzepak, buraki cukrowe. Podniesienie dokładności klasyfikacji może być osiągnięte przez zwiększenie liczby rejestracji bądź dodatkowe wykorzystanie innych źródeł informacji.

Przykładem ciekawego zastosowania obrazów radarowych w zbieraniu informacji o zjawiskach zachodzących na powierzchni Ziemi są badania wykonywane za pomocą satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR), wykorzystującej zdjęcia SAR wykonane sekwencyjnie – w czasie kolejnych nalożeń. W 1996 roku Z. Perski przeprowadził interferometryczne badania osiadań terenu nad wyrobiskami podziemnymi na obszarze Górnego Śląska, z wykorzystaniem 13 obrazów SAR z satelitów ERS-1 i ERS-2.

Warto wspomnieć, że pomiary interferometryczne są dziś stosowane również do generowania globalnych map topograficznych, do śledzenia ruchu lodowców

i badania różnych zjawisk oceanicznych (Gruszczyńska, 1999).

Przygotowanie obrazów radarowych terenów o urozmaiconej rzeźbie do interpretacji tematycznej

Obrazom radarowym terenów o urozmaiconej rzeźbie towarzyszą duże zniekształcenia radiometryczne i geometryczne. Zniekształcenia te są silnie skorelowane z ukształtowaniem powierzchni, co wynika z samej zasady działania urządzenia radarowego SAR, które dostarcza dokładne informacje o odległości między obiektem na powierzchni ziemi a satelitą. Usunięcie efektu wpływu rzeźby terenu na zmienność intensywności sygnału stanowi podstawowy warunek przygotowania obrazów radarowych terenów górskich do interpretacji tematycznej (Stankiewicz, 1998).

Metodę precyzyjnego wpasowania obrazu radarowego SAR w mapę oraz usunięcia zniekształceń radiometrycznych opracowała K. Stankiewicz (1998). Przygotowane oprogramowanie pozwala na przeprowadzenie procesu transformacji obrazu do układu współrzędnych mapy topograficznej (układ 1942, odwzorowanie Gaussa-Krügera) z wykorzystaniem danych o położeniu i prędkości satelity w trakcie wykonywania zdjęcia oraz z wykorzystaniem numerycznego modelu terenu jako podstawowego źródła informacji. Wyznaczone w trakcie tego procesu relacje przestrzenne umożliwiają następnie wprowadzenie korekcji radiometrycznych. Możliwe jest także określenie na obrazie radarowym miejsc występowania efektu nakładania się sygnału i efektu cienia. O dokładności stosowanej metody w dużym stopniu decyduje dokładność numerycznego modelu terenu.

Opracowana metoda została zastosowana do obrazów mikrofalowych satelitów ERS-1 i ERS-2 obejmujących obszar Gór Izerskich. Dopiero po korekcji możliwe było wyróżnienie kompleksów leśnych, kontrastujących wyraźnie z terenami rolniczymi. Stworzona została również kompozycja barwna oparta na trzech zdjęciach z różnego okresu, która znacznie zwiększyła możliwości interpretacyjne. Ujawniło się zróżnicowanie form na obszarach wylesień i uszkodzonego lasu.

Metody wyróżniania jednostek fotomorficznyc

Na informację zawartą w obrazie fotograficznym lotniczym czy też wizualizowanym cyfrowym obrazie satelitarnym wpływ mają poszczególne komponenty środowiska, które kształtują obraz poszczególnych fragmentów terenu zgodnie z wypadkową ważności. Komponent przewodni, odwzorowany przez największą liczbę cech interpretacyjnych, tworzy zewnętrzny wygląd danej jednostki terytorialnej. Obraz będzie raz oddawał bardziej rzeźbę, innym razem stosunki wodne, zróżnicowanie roślinności, użytkowanie ziemi, bądź inne komponenty środowiska (Olędzki, 1992).

Informacja o środowisku na materiale teledetekcyjnym zarejestrowana jest w postaci trzech parametrów będących jednocześnie bezpośrednimi cechami fotointerpretacyjnymi: fototonu lub barwy, fotostruktury i fototekstury (Olędzki, 1992). Łączne rozpatrywanie tych cech pozwala na uchwycenie zależności pomiędzy rysunkiem obrazu a strukturą środowiska i może stanowić podstawę w badaniach z zakresu typologii i oceny krajobrazu.

Zgodnie z definicją J.R. Olędzkiego (1992) pod pojęciem jednostek fotomorficznyc należy rozumieć jednostki rozpatrywane na zdjęciach, tworzone przez różne konfiguracje fototonalno-strukturalno-teksturalne ograniczone do określonych powierzchni. Charakteryzują się one określonymi cechami obrazu różniącymi daną jednostkę od powierzchni sąsiednich. Różnorodność ta zawiera się bądź w innym fototonie (barwie), bądź w innej fotostrukturze, bądź w innej fototeksturze lub różnych kombinacjach tych elementów.

Wyróżnienie jednostek fotomorficznyc może być przeprowadzone na dwa sposoby. Pierwszy z nich polega na wyodrębnieniu jednostek na podstawie wszystkich trzech elementów fotomorficznyc rozpatrywanych jednocześnie. Proces ten odbywa się w umyśle badacza, który wydziela jednostki wyróżniające się na tle otoczenia. Metodą tą posłużył się między innymi J.R. Olędzki (1992) dokonując podziału Polski na jednostki fotomorficznyc. Drugi sposób zastosowany na przykład przez A. Hernik (1998) w pracy poświęconej badaniom porównawczym struktury krajobrazu fragmentu Narwiańskiego Parku Narodowego, polega na stworzeniu trzech niezależnych warstw: fototonalnej, fotostrukturalnej i fototeksturalnej, a następnie nałożeniu wymienionych warstw na siebie. Tworzenie każdej z warstw może odbywać się na drodze wizualnego rozpoznania – tak jak uczyniła to E. Wołk-Musiał (1994) przy analizie geomorfologicznej okolic Żuromina – bądź przy użyciu innych metod. E. Bielecka (1989) dzieląc obraz satelitarny na jednostki fotomorficznyc, do wyróżnienia klas barwnych posłużyła się klasyfikacją nienadzorowaną według pól. Z kolei R.W. Peplies i T.J. Flynn (1972) proponują przeprowadzenie fotometrycznej analizy gęstości optycznej lub barwy obrazu oraz wykorzystanie analizy furierowskiej w badaniu struktury i tekstury obrazu.

Charakterystyka środowiska badanego obszaru

Badany obszar jest to teren o powierzchni 9560 km² wyznaczony przez zasięg analizowanego obrazu radarowego oraz południową granicę Polski (ryc. 1). Należy on, według podziału administracyjnego Polski z dnia 1 stycznia 1999 roku, do województw małopolskiego, podkarpackiego oraz częściowo świętokrzyskiego.

Zgodnie z podziałem J. Kondrackiego (2000), badany obszar obejmuje swym zasięgiem poczynając od północy: południowy skraj Niecki Nidziańskiej, fragment Kotliny Sandomierskiej, następnie wschodnią



Ryc. 1. Zasięg analizowanego obrazu radarowego ERS-2.

Fig. 1. Range of the analyzed ERS-2 radar image.

część Pogórza Zachodniobeskidzkiego i zachodnią część Pogórza Środkowobeskidzkiego oraz fragment Beskidu Zachodniego i Środkowego. Wyżej wymienione jednostki fizycznogeograficzne należą do kategorii makroregionu i wszystkie z wyjątkiem pierwszej stanowią fragment dużej jednostki regionalnej – prowincji o nazwie Karpaty i Podkarpacie. Makroregion Niecka Nidziańska jako jedyny zaliczany jest do prowincji Wyżyny Polskie.

Z kolei według podziału Polski na jednostki fotomorficzne J.R. Olędzkiego (1992), teren ten położony jest w obrębie jednostek fotomorficznych II rzędu – Przedgórze Krakowsko-Tarnowskiego, Pogórze Karpackiego, Beskidów oraz w niewielkiej części Wyżyny Krakowskiej, Równiny Sandomierskiej i Rowu Podkarpackiego. Znajdują się one w granicach jednostek I rzędu: Małopolski Zachodniej, Małopolski Południowej i Karpat.

Północna część badanego terenu, odpowiadająca obszarowi kotlin podkarpackich, stanowi fragment rozległego zapadliska tektonicznego zwanego zapadliskiem przedkarpackim (Pożaryski, 1974). Zapadlisko to utworzyło się w neogenie przez ugięcie przedpola powstających gór i zostało zalane w miocenie przez morze. Jego południową granicę stanowi brzeg nasunięcia karpackiego fliszu na osady morskie miocenu, zaś granicę północną – częściowo tektoniczna krawędź Wyżyn Polskich. W starszym plejstocenie teren ten został objęty zlodowaceniem południowopolskim. Na obszarze tym występują trzy podstawowe typy rzeźby. Są to: płaskowyże i garby zbudowane z utworów miocenijskich okrytych przeważnie szczątkami osadów zlodowacenia południowopolskiego, równiny denudacyjne wykształcone w osadach lodowcowych i rzeczno-lodowcowych (zdenudowane wysoczyzny morenowe) oraz równiny stożków napływowych i tarasów rzecznych. Te same typy rzeźby, z przewagą płaskowyżów,

spotyka się również w południowej części Niecki Nidziańskiej, także objętej zasięgiem transgresji morskiej w miocenie. Występujące tu osady miocenijskie w postaci wapienistych piaskowców, wapieni, ilów i gipsów, zostały na dużym obszarze przykryte czwartorzędową pokrywą lessową (Kondracki, 2000).

Środkowa i południowa część badanego obszaru zaliczana do Karpat Zewnętrznych (Pożaryski, 1974) to fragment rozległego pasma górskiego zbudowanego niemal wyłącznie z grubego kompleksu utworów fliszowych, sfałdowanych w ciągu neogenu. Można tu wyróżnić tereny o rzeźbie pogórskiej, górskiej oraz dna dolin i kotlin śródgórskich. Grzbiety górskie i progi denudacyjne zbudowane są z serii odpornych piaskowców, obniżenia zaś powstały z reguły w mało odpornych łupkach i rozsypliwych piaskowcach. Teren ten charakteryzuje się urozmaiconą rzeźbą i to nie tylko pod względem wysokości wzniesień, ale także pod względem ich kształtu i ułożenia. Spotkać tu można odosobnione góry inwersyjne, otoczone obniżeniami (Beskid Wyspowy), rozczłonkowane wysokie wały górskie z piętrowo ułożonymi na obrzeżach pogórzami (Beskid Sądecki) oraz góry rusztowe o równoległych grzbiętach rozdzielonych obniżeniami. Rusztowy układ grzbiętów przeważa na wschód od doliny Dunajca (Starkel, 1972).

Obszar badań w całości położony jest w dorzeczu Wisły, obejmując jednocześnie swym zasięgiem fragment jej szerokiej doliny w okolicy ujścia Dunajca oraz odcinki niektórych jej karpackich dopływów. Oprócz Dunajca wraz z jego dopływami (Kamienica, Poprad, Biała i inne) przez teren ten przepływa duża rzeka Wisłoka i uchodzące do niej rzeki: Ropa, Jasiołka. Znajduje się tu również niewielki odcinek doliny rzeki Wisłok – dopływu Sanu. Na pogórze w dolinie Dunajca zbudowano dwie zapory wodne, dzięki którym powstały zbiorniki retencyjne: Jezioro Rożnowskie (16 km²) i Jezioro Czchowskie (3,5 km²).

Obszar kotlin podkarpackich reprezentuje typ zróżnicowanego krążenia wody, charakteryzujący się między innymi zróżnicowaną infiltracją wody w luźne osady czwartorzędowe oraz małym zasilaniem, głównie z tajania pokrywy śnieżnej na wiosnę. Występuje tu względna równowaga między odpływem powierzchniowym i podziemnym, przy czym spływ powierzchniowy jest szczególnie wzmożony wiosną. Dużymi zasobami wody, ale o małym zasięgu odznaczają się zwirowe stożki napływowe na przedpolu Karpat oraz aluwia dużych dolin rzecznych. Zwierciadło pierwszego poziomu wód podziemnych występuje tu dość płytko, zwykle tylko do 5 m. Zupełnie odmienne warunki hydrologiczne panują na obszarze Beskidów i pogórze. Obserwuje się tu niekorzystne warunki infiltracji. Wsiąkanie wody jest ograniczone ze względu na znaczne spadki i słabo wodonośne skały. Znaczne ilości wody mogą wsiąkać jedynie w pokrywy gruzowe i gruzowo-gliniaste (zwłaszcza u podnóża zboczy) oraz w pokrywy osuwiskowe. Tego typu pokrywy mają jednak tylko znaczenie lokalne. Wskutek znacznych deniwelacji głębokość zwierciadła w skałach podłoża miejscami może

przekraczać nawet 20 m. Wiosenne roztopy i deszcze nawalne występujące głównie latem również nie sprzyjają wsiąkaniu. Spływ powierzchniowy wyraźnie więc przeważa nad spływem podziemnym i jest on szczególnie intensywny wiosną i latem (Dynowska, 1999).

Do najżyźniejszych gleb występujących na badanym obszarze należy zaliczyć czarnoziemy i gleby brunatne wytworzone na pokrywie lessowej. Spotkać je jednak można w zasadzie tylko na terenie Niecki Nidziańskiej. W obrębie Kotliny Sandomierskiej dominują znacznie uboższe gleby bielcowe wytworzone na czwartorzędowych piaskach i glinach morenowych. Dużą powierzchnię zajmują na tym terenie również żyzne mady zlokalizowane w rozległych dolinach rzecznych. Można tu także spotkać gleby brunatnoziemne powstałe na glinach zwałowych, piaskach naglinowych, łąch bądź pyłach oraz lokalnie na lessach (*Mapa gleb Polski 1:500 000*, 1972).

Głównym składnikiem pokrywy glebowej Karpat fliszowych są górskie gleby brunatnoziemne (ok. 70%). Towarzyszą im lokalnie mniejsze lub większe płaty młodych gleb niestrefowych i gleb śródstrefowych. Wśród gleb brunatnych najbardziej rozprzestrzenione są gleby brunatne kwaśne, a następnie gleby brunatne wylugowane. Gleby brunatne kwaśne tworzą jednocześnie najuboższe siedliska porośnięte przez podzespół buczyny kwaśnej. Miejscami, zwłaszcza na pogórzach i w kotlinach śródgórskich, spotyka się także górskie gleby płowe. Wykazują one często cechy ogłębienia opadowo-wodnego. W sąsiedztwie uboższych podtypów górskich gleb brunatnych występują kamienisto-gruzowe gleby bielcoziemne, rozwijające się pod roślinnością lasów świerkowo-jodłowych lub kwaśnych buczyn. W najwyższych partiach Beskidów, zbudowanych z odpornych na wietrze piaskowców, występują niestrefowe gleby inicjalne (litosole) i gleby słabo wykształcone (rankery). Wśród gleb śródstrefowych należy wymienić mady, czarne ziemie, gleby glejowe, torfowe, murszowe i rędziny. Rędziny spotyka się głównie na pogórzach. Powstały one ze zwietrzelin skał fliszowych zawierających znaczne (często ponad 60%) ilości węgla wapnia (Bednarek, Prusinkiewicz, 1997).

Południowa część Niecki Nidziańskiej, ze względu na bardzo dobre warunki glebowe, została intensywnie zagospodarowana rolniczo. Płaty leśne są tu bardzo nieliczne. Brak również dużych osiedli miejskich. Znacznemu przekształceniu antropogenicznemu uległa także – pierwotnie pokryta lasami – Kotlina Sandomierska. Tylko miejscami zachowały się większe fragmenty lasów. Obecnie, pomimo występowania słabo urodzajnych gleb bielcoziemnych, na obszarze tym dominują tereny rolnicze. Znajduje się tu duże miasto Tarnów (ok. 122 tys. mieszkańców), pełniące znaczącą funkcję przemysłową i komunikacyjną. Lasy wypierane są przez rolnictwo również na pogórzach. Spotkać je można na stromych zboczach dolin i na niektórych wyższych garbach wyżynnych. Większym zalesieniem charakteryzuje się część południowa pogórzach, tam gdzie występują gorsze gleby. Kotliny i doliny są gęsto za-

ludnione i zdominowane przez rolnictwo. W zachodnim i środkowym odcinku pasa pogórzach dominują strefy upraw mieszanych w postaci złożonych systemów upraw i działek oraz terenów rolnych z dużym udziałem roślinności naturalnej. Grunty orne przeważają w części wschodniej.

Część Beskidzka badanego obszaru w porównaniu do Kotliny Sandomierskiej i pogórzach jest terenem najściślej przekształconym przez człowieka. W dalszym ciągu przeważają tu lasy. Terenami zasiedlonymi i zajęty pod uprawę są głównie doliny i zrównania śródgórskie. Przy ujściu Kamienicy do Dunajca w Kotlinie Sądeckiej zlokalizowany jest Nowy Sącz, który rozrósł się w największy śródgórski ośrodek miejski w polskich Karpatach. W obrębie badanego terenu, w rozległym kotlinowym obniżeniu należącym do pogórzach i będącym najstarszym w Polsce rejonem wydobywania ropy naftowej, znalazły się również dwa nieco mniejsze miasta: Jasło i częściowo Krosno (Kondracki, 2000; *Mapa użytkowania ziemi 1:100 000*, 1993).

Charakterystyka analizowanego obrazu radarowego

Analizowany obraz radarowy został uzyskany za pomocą urządzenia SAR (Syntetic Aperture Radar – radar z anteną syntetyzowaną) umieszczonego na satelicie ERS-2. Wyposażone jest ono w umocowaną na stałe antenę generującą aperturę syntetyczną. Pozwala to na zwiększenie zdolności rozdzielczej układu bez konieczności powiększenia rozmiarów anteny nadawczo-odbiorczej. W czasie ruchu satelity antena tego urządzenia wysyła impulsowo wąską wiązkę promieniowania mikrofalowego w kierunku ukośnym do toru lotu unoszącej ją platformy. Fala odbija się od powierzchni, na którą pada i następnie zostaje odebrana przez tę samą antenę przełączoną na odbieranie sygnałów. Powracający sygnał zostaje przetworzony tworząc zobrazenie. Podstawą rozróżnienia dwóch obiektów jest czas opóźnienia impulsu, a więc czas jaki upływa od wysłania sygnału do momentu rejestracji odbitego echa.

Badany obraz radarowy jest to tzw. produkt PRI. Charakteryzuje się on już pewnym stopniem przetworzenia. Jest to obraz uzyskany po kompresji w kierunku zasięgu i w kierunku azymutalnym oraz po ponownym próbkowaniu do układu współrzędnych określonych przez zasięg naziemny. Przedstawienie zdjęcia w układzie związanym z zasięgiem naziemnym wymaga przyjęcia założeń dotyczących kształtu obrazowanej powierzchni. Zazwyczaj przyjmuje się, że zobrazenie dotyczy bryły obrotowej aproksymującej geoidę. W przypadku obrazów z satelitów ERS-1 i ERS-2 jest to elipsoida GEM6. Dla obszarów o urozmaiconej rzeźbie przybliżenie takie prowadzi do określonych zniekształceń geometrycznych i radiometrycznych. Powoduje to nie tylko zaburzenia rozdzielczości przestrzennej w zasięgu naziemnym, ale przede wszystkim zmiany intensywności sygnału spowodowane fluktuacjami

rozmiaru rzeczywistej powierzchni traktowanej jako pojedynczy piksel obrazu (Stankiewicz, 1998).

Obraz PRI zbudowany jest z kwadratowych pikseli o bokach 12,5 m. Wielkość tych pikseli nie odpowiada jednak przestrzennej zdolności rozdzielczej określonej w tym wypadku na 30 m (zarówno w kierunku azymutalnym jak i w kierunku zasięgu). Szerokość sceny wynosi 100 km, długość zaś 102 km. Wielkość przypisana pikselom to amplituda sygnału. Wartości amplitudy zapisane są na 16 bitach. Obrazy PRI nie są odniesione do mapy. Podane są jedynie wartości współrzędnych geodezyjnych w układzie WGS66 dla narożników i środka sceny. Jednak dokładność lokalizacji tych punktów wynosi ok. 100 m. Dane te nie mogą więc zostać wykorzystane w procesie rektyfikacji (Stankiewicz, 1998).

Analizowany obraz mikrofalowy został wykonany w dniu 26 sierpnia 1997 roku w godzinach rannych (11²⁹h) z pokładu satelity ERS-2, poruszającej się po orbicie typu *descending* (spadającej). Obraz ten zbudowany jest z 8199 linii i 7874 rzędów pikseli. Obejmuje on swoim zasięgiem obszar o powierzchni 10087,33 km², przy czym 94,8% pokrycia leży w granicach Polski.

Scena charakteryzuje się dużą przejrzystością fotograficzną oraz brakiem widocznych zakłóceń mogących wynikać z nieprawidłowości pracy anteny bądź z występowania wyjątkowo niekorzystnych warunków atmosferycznych w postaci na przykład ulewnych deszczy. Jedynie wysunięta na północ wschodnią część zdjęcia odznacza się nieco jaśniejszym tonem, przy czym rozjaśnienie to nasila się w kierunku krawędzi sceny. Towarzyszy mu lekkie zatarcie szczegółów struktury obrazu. Warto zaznaczyć, że rozjaśnienie to znajduje się od strony przelotu satelity.

Zgodnie z danymi uzyskanymi ze stacji meteorologicznych w Tarnowie, Rzeszowie (poza terenem badań), Szymbarku (Beskid Niski) i Krośnie, moment wykonania zdjęcia radarowego poprzedzony został ponad dziesięciodniowym okresem braku opadów. Okres względnej suszy panował zatem zarówno na obszarze kotlin podkarpackich jak i pogórzy oraz gór. W trakcie przelotu satelity nad badanym terenem, w każdej ze stacji zarejestrowano całkowite (Szymbark) bądź prawie całkowite pokrycie nieba chmurami należącymi do rodzaju *Alto cumulatus* i *Alto stratus*.

Przygotowanie obrazu radarowego do analizy

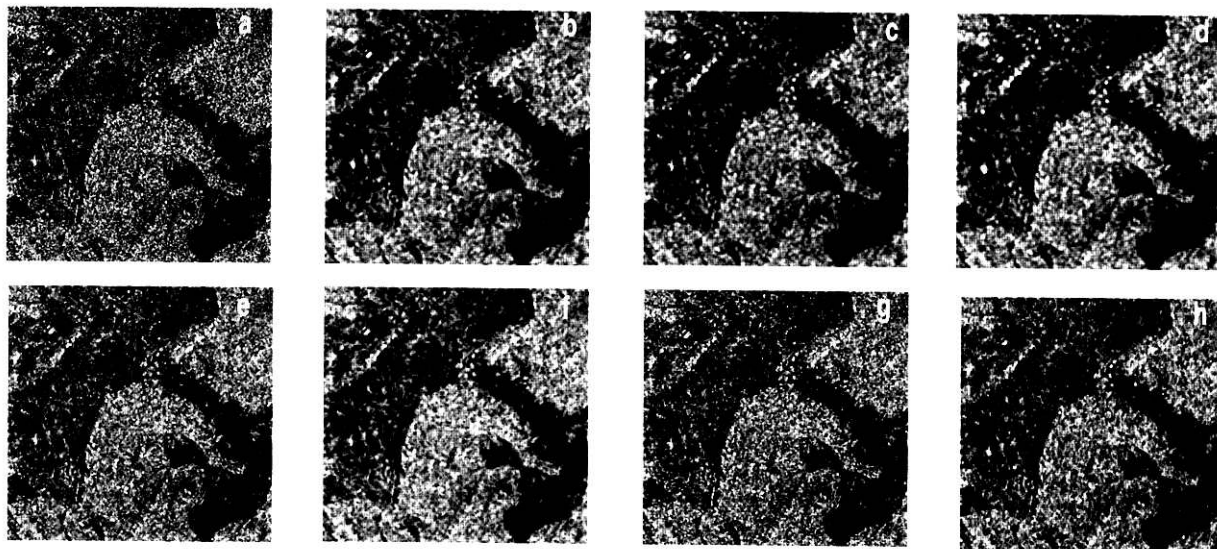
Obraz radarowy typu PRI poddany został wstępnemu przetworzeniu z zastosowaniem programu *Erdas Imagine*. Proces ten miał na celu redukcję szumu ziarnistego*, wzmocnienie radiometryczne obrazu oraz jego transformację do układu współrzędnych „1942”.

Szum ziarnisty nie może być usunięty całkowicie, ale może być znacznie zmniejszony. Niestety jednak programy służące do jego redukcji powodują jednocześnie zmiany zobrazowania. Proces ten wymaga bowiem jakiejś formy uśrednienia wartości w dużym otoczeniu piksela, dla którego tworzymy przefiltrowaną wartość, co z kolei powoduje rozmywanie: krawędzi, silnych rozjaśnień oraz drobnych szczegółów obrazu. Dodatkowo należy pamiętać, że przed redukcją szumu ziarnistego nie powinno się dokonywać: rektyfikacji, ponownego próbkowania danych, opracowania lub klasyfikacji wartości pikseli, ponieważ każde wcześniej przeprowadzone przetworzenie powoduje włączenie szumu do zobrazowania (*ERDAS Field Guide*, 1998). Problematyce zmniejszania efektu plamkowania dużą uwagę poświęciła U. Rączka (1998) w artykule: *Metody filtracji obrazów radarowych*. Autorka oprócz omówienia metod redukcji plamkowania zaproponowała również pewną modyfikację znanych algorytmów filtracji.

Redukcję szumu ziarnistego przeprowadzono przy użyciu filtru mediany o oknie 5 × 5 pikseli. Zasada działania filtru mediany jest bardzo prosta. Wartości jasności wszystkich pikseli, które znajdują się w oknie określonym przez użytkownika, ustawiane są w uporządkowanym szeregu. Dany piksel uzyskuje wartość odpowiadającą środkowi tego rozkładu. Wybór tego filtru poprzedzony został pracami wstępnymi, mającymi na celu porównanie efektów działania, realizowanych w module *Imagine Radar* programu *Erdas Imagine*, algorytmów usuwania szumów ziarnistych. Za optymalne rozwiązanie uznano sytuację, kiedy przy widocznym wygładzeniu plamkowania zmiany zobrazowania były najmniej widoczne i zachowane zostały krawędzie, elementy liniowe, a także rozjaśnienia nie będące wynikiem samego plamkowania. Próby przeprowadzono z użyciem filtrów: mediany, *Gamma-MAP*, wartości średniej, *Lee*, *Lee-sigma*, *Frosta* oraz filtru obszaru lokalnego. Ich działanie zostało szczegółowo omówione w *Przewodniku geoinformatycznym ERDAS Field Guide* (1998). Przykładowe wyniki filtracji przedstawiają ryc. 2 i ryc. 3.

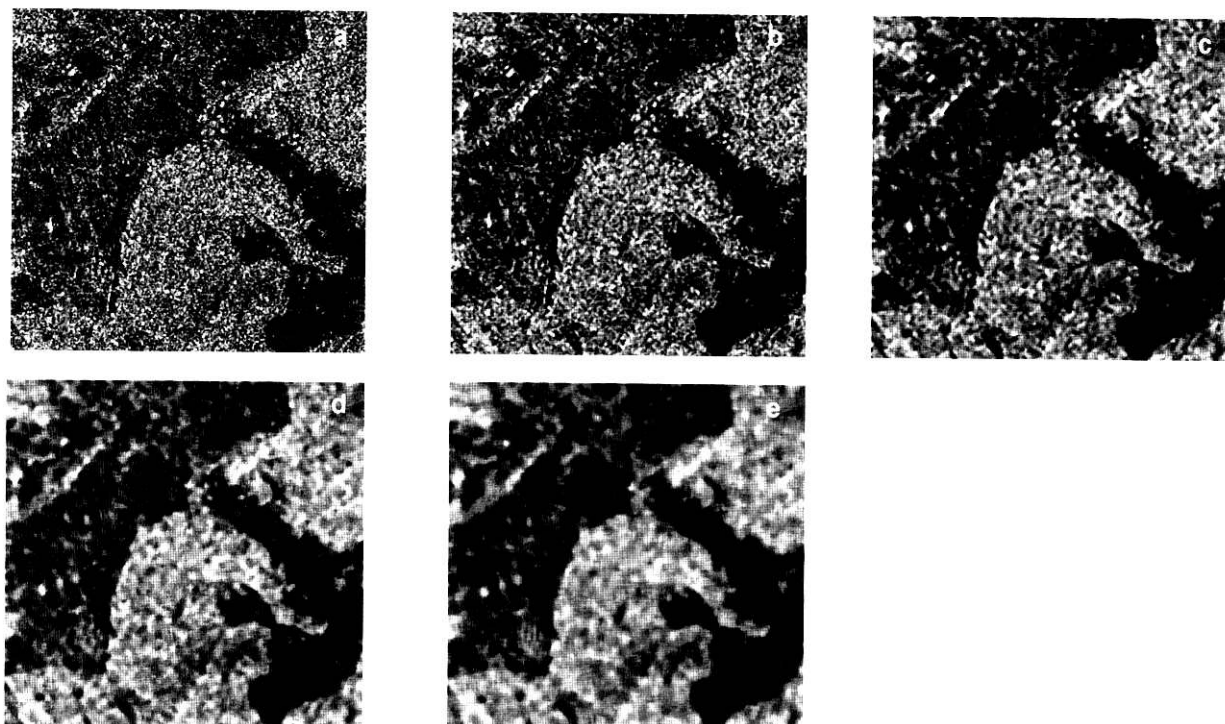
Próby wykazały, że wszystkie analizowane filtry z wyjątkiem filtru mediany wprowadzają duże zmiany w zewnętrznym wyglądzie badanego obrazu. Zmiany te polegają na zbyt silnym podkreśleniu kontrastów (*Lee*, filtr obszaru lokalnego) bądź przeciwnie — na zbyt mocnym wygładzeniu obrazu i zatarciu szczegółów (*Gamma-MAP*, wartości średniej). Specyficznego rodzaju zakłócenia pojawiają się w przypadku zastosowania filtru *Frosta* i *Lee-sigma*. Szczegółowe obserwacje działania filtru mediany, które miały służyć dobraniu odpowiedniego rozmiaru okna pokazały, że niewielkie rozmycie ma miejsce już w przypadku roz-

* Szum ziarnisty jest powszechnie występującym zjawiskiem w radarowych systemach obserwacyjnych. Promieniowanie koherentne emitowane przez aktywny system radarowy po dojściu do obiektu traci zgodność fazową w wyniku wielokrotnego rozproszenia fal. Rozproszone fale mogą interferować ze sobą konstruktywnie i destruktywnie tworząc jasne i ciemne piksele, układające się w charakterystyczną ziarnistą strukturę (Rączka, 1998).



Ryc. 2. Wyniki próbnych filtracji fragmentu obrazu radarowego ERS-2 przy użyciu różnych filtrów o stałej wielkości okna 5 x 5: a – obraz oryginalny, b – filtr mediany, c – filtr Gamma-Map, d – filtr wartości średniej, e – filtr Lee, f – filtr Lee-sigma, g – filtr Frosta, h – filtr obszaru lokalnego.

Fig. 2. Result of trial filtrations of a fragment of ERS-2 radar image with use of various filters with a permanent window size 5 x 5: a – original image, b – median filter, c – Gamma-Map filter, d – mean filter, e – Lee filter, f – Lee-sigma filter, g – Frost filter, h – local region filter.



Ryc. 3. Wyniki próbnych filtracji fragmentu obrazu radarowego ERS-2 przy użyciu filtru mediany o różnej wielkości okna: a – obraz oryginalny, b – okno 3 x 3, c – okno 5 x 5, d – okno 7 x 7, e – okno 9 x 9.

Fig. 3. Result of trial filtrations of a fragment of ERS-2 radar image with use of median filter with a various window size: a – original image, b – window 3 x 3, c – window 5 x 5, d – window 7 x 7, e – window 9 x 9.

miaru 7×7 pikseli, natomiast okno 3×3 , choć zachowuje szczegóły obrazu nie daje zadowalającego efektu zredukowania szumu ziarnistego.

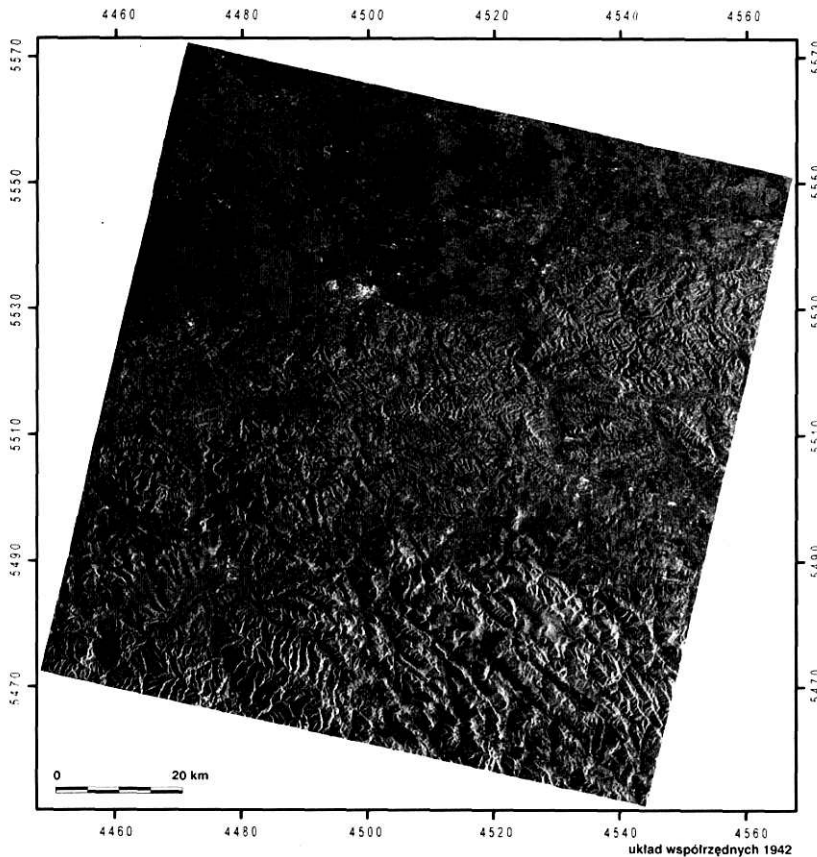
Obraz radarowy po redukcji szumu ziarnistego został wzmocniony radiometrycznie poprzez liniowe rozciągnięcie kontrastu. Następnym etapem wstępnego przetwarzania była obróbka geometryczna, w wyniku której współrzędne obrazu satelitarnego zostały zastąpione przez współrzędne kilometrowe mapy topograficznej 1:200 000 w układzie „1942”. Ze względu na trudności w znalezieniu wspólnych punktów między obrazem radarowym a mapą topograficzną geometryzacja obrazu radarowego została przeprowadzona na podstawie barwnej kompozycji złożonej z kanałów 4, 5, 3 skanera TM satelity Landsat. Do stworzenia kompozycji wykorzystano fragmenty dwóch scen (z dnia 6 sierpnia i 23 września 1992 roku), obejmujących łącznie swym zasięgiem badany obszar. Każdy z nich poddano procesowi rektyfikacji, przypisując współrzędne wyżej wspomnianej mapy topograficznej. Po geometryzacji obrazy zostały zmozaikowane.

nic lasów, zbiorników wodnych, ujść rzek. Problemy te pojawiały się najczęściej na obszarach górskich, gdzie znalezienie charakterystycznych punktów możliwe było jedynie w obrębie dolin rzecznych oraz kotlin i obniżeń śródgórskich.

Zrektyfikowany obraz radarowy został ponownie wzmocniony radiometrycznie. Tak przygotowany (ryc. 4) stanowił podstawę do wydzielenia warstwy strukturalnej i teksturalnej. Przed przystąpieniem do wydzielenia warstwy tonalnej został on poddany dodatkowemu przetworzeniu, które miało służyć podkreśleniu widocznych na nim różnic tonalnych. W tym celu przeprowadzono operację na histogramie polegającą na wydzieleniu 10 klas jasności (ryc. 5).

Metodyka wyznaczania HMJP

Podstawą wydzielenia homogenicznych mikro-falowych jednostek przestrzennych były warstwy: tonalna, strukturalna i teksturalna. Warstwy te — wcześniej wydzielone ręcznie na podkładzie wydrukowane-



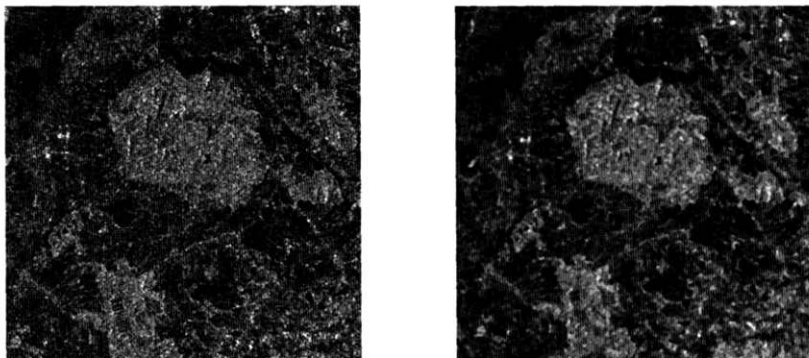
Ryc. 4. Obraz radarowy ERS-2 po wstępnym przetworzeniu.

Fig. 4. ERS-2 radar image after initial processing.

Rektyfikacja obrazu radarowego została przeprowadzona na podstawie punktów kontrolnych umieszczonych najczęściej w miejscach łatwych do określenia, jakimi są na przykład skrzyżowania dróg, mosty. Trudności w lokalizacji tych punktów, wynikające ze specyfiki zobrażeń radarowych, niekiedy zmuszały do wyboru miejsc mniej do tego odpowiednich, tj. gra-

go obrazu radarowego w skali 1:200 000 – zostały zeskanowane, a następnie przedstawione w postaci warstw wektorowych drogą digitalizacji na ekranie w programie Erdas Imagine.

Pierwszym etapem wydzielenia warstwy tonalnej (ryc. 6) było wykreślenie obszarów w miarę jednorodnych tonalnie, wyróżniających się od powierzchni są-



Ryc. 5. Metoda przetwarzania obrazu radarowego ERS-2 prowadząca do podkreślenia jego różnic tonalnych.

Fig. 5. Method of ERS-2 radar image processing leading to emphasize its tonal differences.

siednich. Użycie półprzezroczystej kalki spowodowało zatarcie szczegółów obrazu i uwidoczniło wewnętrzną zwartość wydzielonych fragmentów. Następnie przy użyciu programu Erdas Imagine z każdego wyznaczonego obszaru obrazu radarowego wycięto trzy kwadratowe pola testowe, stanowiące ok. 20% jego powierzchni. Posłużyły one do ilościowej oceny stopnia jasności obszaru, z którego zostały pobrane. Dla każdego z trzech pól testowych odczytano średnią wartość jasności wszystkich pikseli. Stopień jasności danego obszaru został określony jako średnia z trzech wartości uzyskanych z analizy pól testowych. Wyróżniono siedem klas tonalnych:

- 1) ton biały
- 2) ton bardzo jasnoszary
- 3) ton jasnoszary
- 4) ton szary
- 5) ton ciemnoszary
- 6) ton bardzo ciemnoszary
- 7) ton czarny.

Tabela 1. Klasy tonalne
Tonal classes

Ton Tone	Stopień jasności Degree of brightness
Czarny Black	0 – 9999
Bardzo ciemnoszary Very dark grey	10000 – 14999
Ciemnoszary Dark grey	15000 – 19999
Szary Grey	20000 – 24999
Jasnoszary Light grey	25000 – 29999
Bardzo jasnoszary Very light grey	30000 – 34999
Biały White	35000 – 65535

Sposób przyporządkowania wydzielonych obszarów do określonych klas tonalnych ilustruje tabela 1. Natomiast charakterystykę wydzieleni na warstwie tonalnej przedstawia tabela 2. Przy tej charakterystyce posłużono się takimi wskaźnikami jak: sumaryczna, minimalna, maksymalna oraz średnia powierzchnia jednostek.

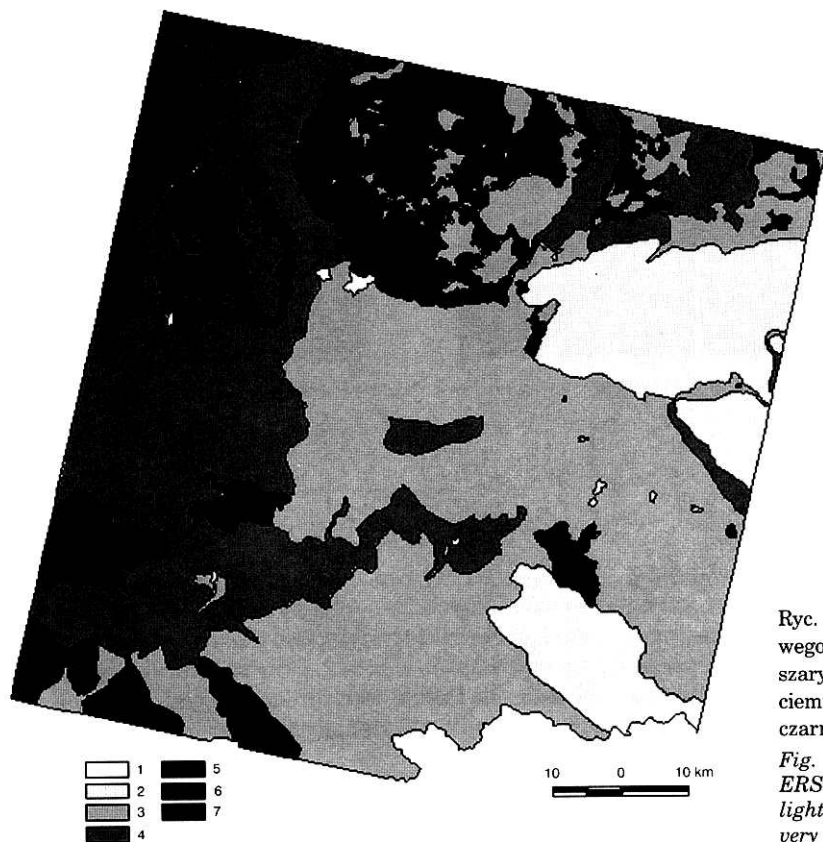
Podstawą wydzielenia warstwy strukturalnej (ryc. 7) obrazu radarowego była wielkość elementów obrazowych, rozumianych jako pewne powierzchnie obrazu agregujące w sobie piksele o jednakowym tonie (Olędzki, 1992). Nie brano jednak pod uwagę kształtu tych elementów, uznając tę cechę za jedno z kryteriów wydzielenia warstwy teksturalnej. Zabieg ten zastosowano ze względu na fakt, że oddzielenie struktury od tekstury często jest bardzo umowne. Odejście od dokładnej definicji struktury i tekstury miało służyć wyraźnemu rozróżnieniu obu warstw. Analizę struktury obrazu radarowego przeprowadzono na drodze wizualnego rozpoznania. Wyróżniono cztery typy struktur:

- 1) gładka
- 2) drobnoelementowa
- 3) średnioelementowa
- 4) wielkoelementowa.

Charakterystykę warstwy strukturalnej przedstawia tabela 3.

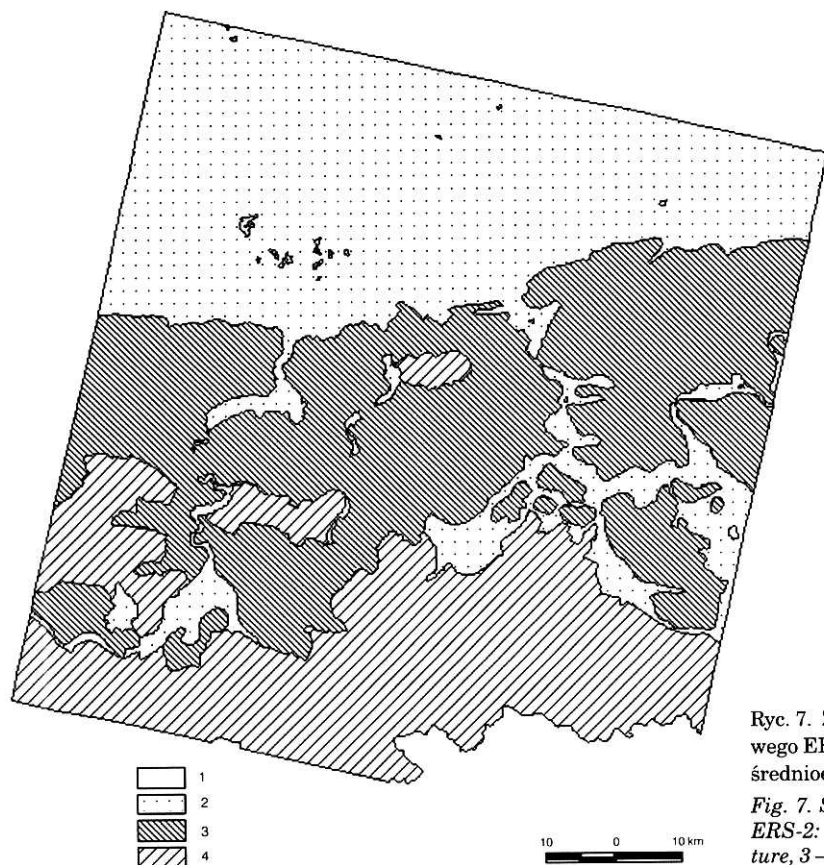
Warstwa teksturalna (ryc. 8) dla analizowanego obrazu radarowego powstała na podstawie wizualnej oceny kształtu elementów obrazowych i ich przestrzennego uporządkowania. Wyróżniono szesnaście typów tekstur:

- 1) amorficzna gładka
- 2) amorficzna
- 3) plamista
- 4) plamista koncentryczna
- 5) gruzelkowata
- 6) robaczkowa
- 7) wałowa
- 8) łuskowa
- 9) żyłkowa uporządkowana



Ryc. 6. Zróżnicowanie tonalne obrazu radarowego ERS-2: 1 – ton biały, 2 – ton bardzo jasnoszary, 3 – ton jasnoszary, 4 – ton szary, 5 – ton ciemnoszary, 6 – ton bardzo ciemnoszary, 7 – ton czarny

Fig. 6. Tonal differentiation of imaging radar ERS-2: 1 – white ton, 2 – very light grey ton, 3 – light grey ton, 4 – grey ton, 5 – dark grey ton, 6 – very dark grey ton, 7 – black ton.



Ryc. 7. Zróżnicowanie strukturalne obrazu radarowego ERS-2: 1 – gładka, 2 – drobnoelementowa, 3 – średnioelementowa, 4 – wielkoelementowa.

Fig. 7. Structural differentiation of imaging radar ERS-2: 1 – plain structure, 2 – fine-element structure, 3 – moderately-element structure, 4 – large-element structure.

Tabela 2. Charakterystyka warstwy tonalnej
Characteristics of tonal layers

Nr Number	Ton Tone	Ogólna liczba jednostek Total number of units	Liczba jednostek w typie Number of units in one type	Powierzchnia Area				
				Sumaryczna Total		Minimalna Minimum	Maksymalna Maximum	Średnia Average
				km ²	%			
1	Biały White	123	14	22,81	0,2	0,36	7,71	1,63
2	Bardzo jasnoszary Very light grey		4	1168,88	12,2	4,45	707,81	292,22
3	Jasnoszary Light grey		44	3742,81	39,1	0,35	3100,36	84,97
4	Szary Grey		14	2407,37	25,2	1,89	1907,66	172,26
5	Ciemnoszary Dark grey		15	1959,75	20,5	2,21	869,39	136,47
6	Bardzo ciemnoszary Very dark grey		8	231,80	2,4	1,85	44,5	18,06
7	Czarny Black		24	26,78	0,3	0,07	13,08	1,12

Tabela 3. Charakterystyka warstwy strukturalnej
Characteristics of structural layers

Nr Number	Struktura Structure	Ogólna liczba jednostek Total number of units	Liczba jednostek w typie Number of units in one type	Powierzchnia Area				
				Sumaryczna Total		Mini- malna Minimum	Maksy- malna Maximum	Śred- nia Average
				km ²	%			
1	Gładka Plain structure	49	24	26,78	0,3	0,07	13,08	1,12
2	Drobnoelementowa Fine-element structure		9	3798,30	39,7	4,31	3161,77	422,03
3	Średnioelementowa Moderately-element structure		12	3374,42	35,3	3,09	2858,78	281,20
4	Wielkoelementowa Large-element structure		4	2360,70	24,7	43,83	1916,85	590,18

- 10) żyłkowa nieuporządkowana
- 11) żyłkowo-robaczkowa
- 12) prążkowa
- 13) beżładna
- 14) smugowa
- 15) blokowa
- 16) blokowo-wyspowa.

Wzorce tekstur zamieszczono na ryc. 9. Charakterystykę wydzieleni na warstwie teksturalnej zawiera tabela 4.

Wyróżnienie poszczególnych rodzajów tekstur okazało się zadaniem dość trudnym. Duża ich liczba wynika z różnorodności przestrzennych układów elementów obrazowych widocznych na analizowanym obrazie radarowym. O bogactwie tych układów świadczy fakt, że 5 typów tekstur spośród 16, reprezentowanych jest przez pojedyncze obszary. Wydzielono je ze względu ich specyfikę i niepowtarzalność. Są to tekstury: łuskowa, żyłkowo-robaczkowa, prążkowa, blokowa i blokowa wyspowa.

Charakterystyka wydzielonych HMJP

W wyniku nałożenia wymienionych warstw uzyskano na badanym obszarze 179 HMJP, należących do 33 typów (ryc. 10). Potencjalna liczba typów HMJP wynosiła 448. Wydzielone typy jednostek zostały uporządkowane przez nadanie im odpowiednich numerów, składających się z trzech liczb oddzielonych znakiem kropki (tab. 5). Liczba pierwsza oznacza rodzaj tekstury, liczba druga rodzaj struktury, a trzecia – tonu (zgodnie z numeracją wprowadzoną w tabelach 2, 3 i 4). Na przykład oznaczenie 6.3.3 wskazuje na typ jednostki charakteryzującej się teksturą robaczkową, strukturą średnioelementową i tonem jasnoszarym.

Charakterystykę liczbową otrzymanych typów HMJP przedstawia tabela 6. Przy charakterystyce tej wykorzystano takie wskaźniki jak: frekwencja jednostek oraz sumaryczna, minimalna, maksymalna i średnia powierzchnia. Dodatkowo posłużono się wskaźnikiem rozczłonkowania (Pietrzak, 1989) obliczonym według wzoru:

Tabela 4. Charakterystyka warstwy teksturalnej
Characteristics of textural layers

Nr Number	Tekstura Texture	Ogólna liczba jednostek Total number of units	Liczba jednostek w typie Number of units in one type	Powierzchnia Area				
				Sumaryczna Total		Mini- malna Minimum	Maksy- malna Maximum	Śred- nia Average
				km ²	%			
1	Amorficzna gładka <i>Amorphous-plain texture</i>	146	24	26,78	0,3	0,07	13,08	1,12
2	Amorficzna <i>Amorphous texture</i>		63	1347,47	14,1	0,35	437,59	21,39
3	Plamista <i>Spotting texture</i>		9	2428,03	25,4	2,21	1067,15	269,77
4	Plamista koncentryczna <i>Spotting-concentric texture</i>		14	22,81	0,2	0,36	7,71	1,63
5	Gruźkowata <i>Tubercular texture</i>		2	449,40	4,7	51,47	397,95	224,71
6	Robaczkowa <i>Wormlike texture</i>		3	1543,46	16,1	4,45	1456,35	514,49
7	Wałowa <i>Bank texture</i>		4	160,92	1,7	14,14	51,96	40,23
8	Łuskowa <i>Scaly texture</i>		1	78,97	0,8	78,97	78,97	78,97
9	Żyłkowa uporządkowana <i>Veined orderly texture</i>		4	462,23	4,8	19,24	329,32	115,56
10	Żyłkowa nieuporządkowana <i>Veined disorderly texture</i>		6	706,83	7,4	16,10	389,85	117,80
11	Żyłkowo-robaczkowa <i>Veined-wormlike texture</i>		1	142,43	1,5	142,43	142,43	142,43
12	Prążkowa <i>Striped texture</i>		1	60,89	0,6	60,89	60,89	60,89
13	Bezładna <i>Chaotic texture</i>		8	235,16	2,5	3,09	140,78	29,39
14	Smugowa <i>Streaky texture</i>		4	654,91	6,9	36,93	282,61	163,73
15	Blokowa <i>Block texture</i>		1	1134,87	11,9	1134,88	1134,88	1134,88
16	Blokowo-wyspowa <i>Block-island texture</i>		1	105,05	1,1	105,05	105,05	105,05

$$F = P \left(2 \times \sqrt{2,14 A} \right)$$

gdzie: F – wskaźnik rozczłonkowania

P – obwód jednostki

A – powierzchnia jednostki.

Wskaźnik ten wskazuje na stopień urozmaicenia konturu i może przyjmować wartości od 1 dla jednostek zwartych do nieskończoności dla jednostek o rozczłonkowanym konturze.

Duża liczebność wyróżnionych typów jednostek wiąże się z różnorodnością środowiska badanego obszaru. Różnorodność ta znalazła swoje odzwierciedlenie przede wszystkim w teksturze i tonie obrazu radarowego. Cechy te w decydujący sposób wpłynęły na fakt, że spośród 33 wyróżnionych typów jednostek aż 15 reprezentowanych jest przez pojedyncze obszary.

Dominujące pod względem liczebności są jednostki o teksturze amorficznej gładkiej, amorficznej i plamistej koncentrycznej. Są to typy: 1.1.7, 2.2.3, 2.2.4, 4.2.1. Wśród nich największą frekwencję (27,4%) wykazuje typ 2.2.3. Jednostki o dużej liczebności posiadają zwykle jednocześnie niewielkie pola powierzchni. Naj-

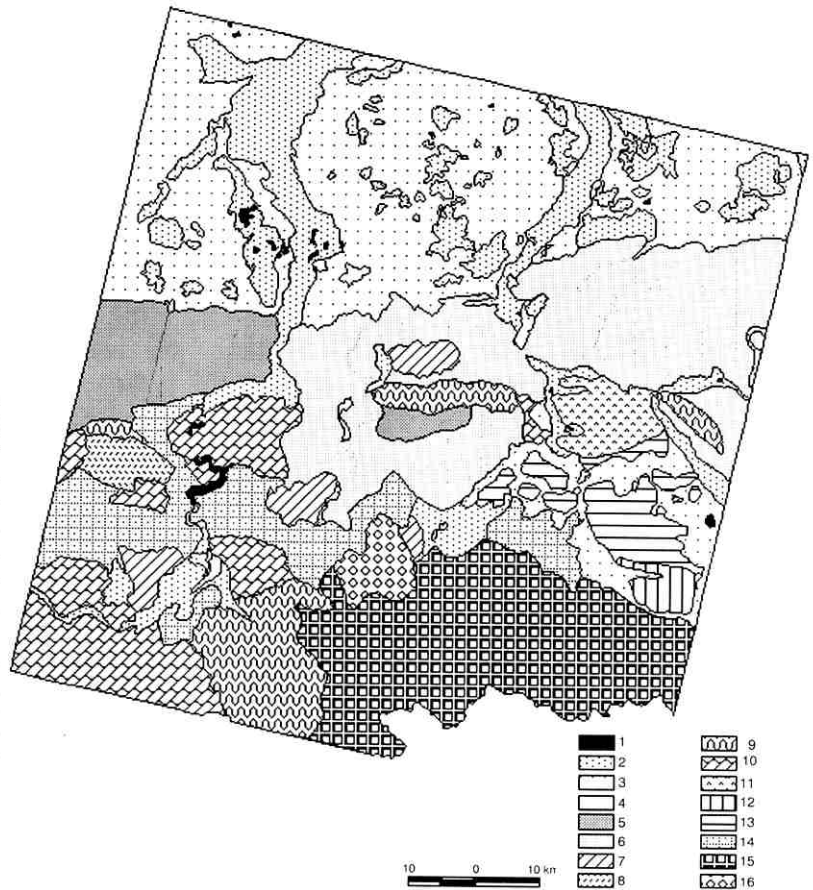
mniejszą powierzchnię średnią mają typy: 1.1.7 (1,12 km²) i 4.2.1 (1,63 km²). Charakteryzują się one jednocześnie najmniejszym średnim obwodem wynoszącym odpowiednio 4,85 i 5,74 km.

Największy udział w całkowitej powierzchni badanego obszaru przysługuje jednostkom o teksturze plamistej, strukturze drobnoelementowej i tonie ciemnoszarym (3.2.5). Jednostki tego typu wyróżniają się również pod względem rozpiętości powierzchni, która to rozpiętość waha się od 2,21 km² do 869,38 km². Porównywalne różnice w wielkościach jednostek indywidualnych występują jeszcze w przypadku typu 6.3.2 (tekstura robaczkowa, struktura średnioelementowa, ton bardzo jasnoszary).

Kształt wydzielonych jednostek został scharakteryzowany przy użyciu wskaźnika rozczłonkowania, który przyjmuje średnie wartości od 1,24 do 2,98. Najbardziej rozczłonkowana jest jednostka reprezentująca (jako jedyna) typ 6.3.3 (tekstura robaczkowa, struktura średnioelementowa, ton jasnoszary) ma ona największą średnią wartością wskaźnika. Najbardziej

Ryc. 8. Różnicowanie teksturalne obrazu radarowego ERS-2: 1 – amorficzna gładka, 2 – amorficzna, 3 – plamista, 4 – plamista koncentryczna, 5 – gruzelkowa, 6 – robaczkowa, 7 – wałowa, 8 – łuskowa, 9 – żyłkowa uporządkowana, 10 – żyłkowa nieuporządkowana, 11 – żyłkowo-robaczkowa, 12 – prążkowa, 13 – bezładna, 14 – smugowa, 15 – blokowa, 16 – blokowo-wyspowa.

Fig. 8. Textural differentiation of imaging radar ERS-2: 1 – amorphous-plain texture, 2 – amorphous texture, 3 – spotting texture, 4 – spotting-concentric texture, 5 – tubercular texture, 6 – wormlike texture, 7 – bank texture, 8 – scaly texture, 9 – veined orderly texture, 10 – veined disorderly texture, 11 – veined-wormlike texture, 12 – striped texture, 13 – chaotic texture, 14 – streaky texture, 15 – block texture, 16 – block-island texture.



zwarte są natomiast jednostki o strukturze wielkoelementowej należące do typów: 10.4.6, 8.4.4, 7.4.3 oraz 16.4.3 (wartość wskaźnika mniejsza od 1,30).

Wśród typów reprezentowanych przez pojedyncze jednostki obserwuje się duże zróżnicowanie wielkości: powierzchnie ich wahają się od 16,0 km² (10.3.3) do 748,55 km² (6.3.3). Typy te posiadają także różne wartości wskaźnika rozczłonkowania. Należy jednak zauważyć, że wszystkie jednostki z wyjątkiem typu 3.2.4 charakteryzują się strukturą wielkoelementową (8 typów) i średnioelementową (6 typów). Dominują one w środkowej i południowej części badanego obszaru, gdzie obserwuje się dużą różnorodność wydzielonych tekstur.

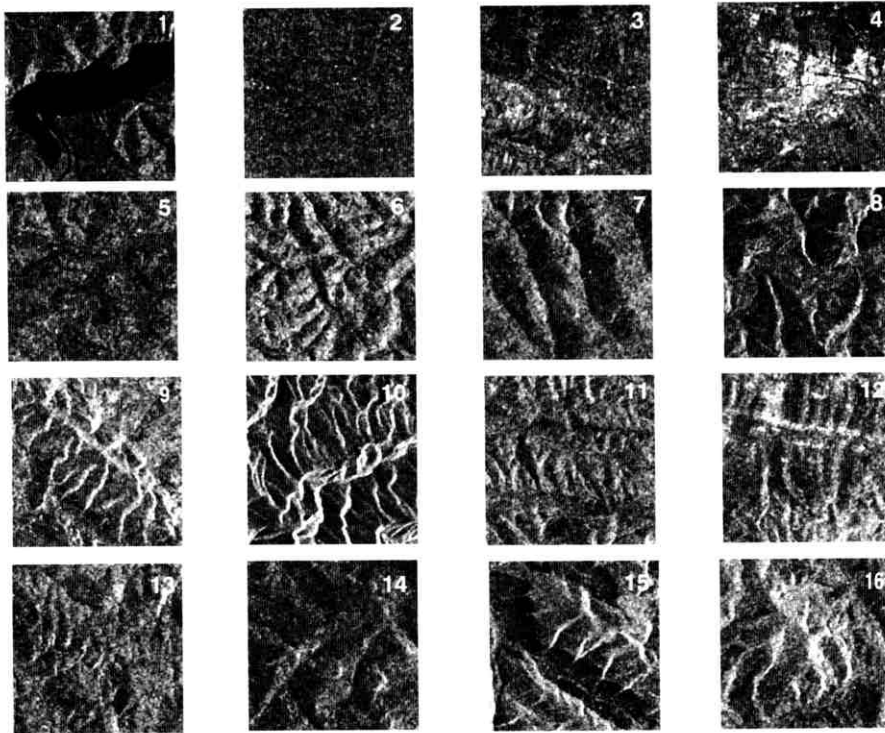
Relacja HMJP do wybranych komponentów środowiska

Przy analizie poszczególnych typów homogenicznych mikrofalowych jednostek przestrzennych starano się wykazać powiązania cech obrazu radarowego z przestrzennym zróżnicowaniem takich komponentów środowiska jak budowa geologiczna, rzeźba, gleby i pokrycie terenu. Przeprowadzone badania zostały oparte na następujących materiałach kartograficznych:

Mapa geologiczna Polski 1:200 000, Przeglądowa mapa geomorfologiczna Polski 1:500 000, Polska — mapa gleb 1:500 000 oraz mapa użytkowania ziemi 1:100 000 opracowana w ramach programu CORINE Land Cover na podstawie zdjęć satelitarnych Landsat TM.

HMJP a budowa geologiczna

Wśród wyodrębnionych typów homogenicznych mikrofalowych jednostek przestrzennych w wielu przypadkach stwierdzono przejawy i wpływ elementów litologicznych budowy geologicznej oraz tektoniki na kształtowanie fizjonomii obrazu radarowego. Przejawy te najsilniej widoczne są na obszarze gór i pogórzy. W przypadku bardziej płaskich obszarów kotlin podkarpackich oraz obniżen i kotlin śródgórskich obserwuje się dużą zgodność przebiegu granic jednostek z granicami występujących tu utworów geologicznych. Dobrym przykładem są tu jednostki o wydłużonym kształcie i teksturze amorficznej należące do typów: 2.2.3, 2.2.4, reprezentujące obszary prawie całkowicie zbudowane z mać, ilów, piasków, miejscami żwirów akumulacji rzecznej oraz torfów. Dużym udziałem tych utworów charakteryzuje się również typ 3.2.6. Natomiast jednostki o teksturze plamistej i różnym tonie



Ryc. 9. Wzorce tekstur: 1 – amorficzna gładka, 2 – amorficzna, 3 – plamista, 4 – plamista koncentryczna, 5 – gruzelkowata, 6 – robaczkowa, 7 – wałowa, 8 – łuskowa; 9 – żyłkowa uporządkowana, 10 – żyłkowa nieuporządkowana, 11 – żyłkowo-robaczkowa, 12 – prążkowa, 13 – bezladna, 14 – smugowa, 15 – blokowa, 16 – blokowo-wyspowa.

Fig. 9. Textures patterns: 1 – amorphous-plain texture, 2 – amorphous texture, 3 – spotting texture, 4 – spotting-concentric texture, 5 – tubercular texture, 6 – wormlike texture, 7 – bank texture, 8 – scaly texture, 9 – veined orderly texture, 10 – veined disorderly texture, 11 – veined-wormlike texture, 12 – striped texture, 13 – chaotic texture, 14 – streaky texture, 15 – block texture, 16 – block-island texture.

(3.2.3, 3.2.4, 3.2.5) w obrębie zapadliska przedkarpackiego będą odpowiadały przede wszystkim terenom pokrytym różnymi utworami pochodzenia lodowcowego (piaskami, żwirami, glazami, ilami i glinami) bądź lessami z okresu zlodowacenia północnopolskiego. Miejscami spotkać tu można również materiał akumulacji rzecznej oraz pozbawione pokrywy czwartorzędowej utwory miocenijskie, głównie iły, mułowce i piaskowce. Występująca tu różnorodność elementów litologicznych nie znajduje w zasadzie, z wyjątkiem obszarów pokrytych lessami, swojego odbicia w rysunku obrazu radarowego.

Jednostki charakteryzujące się strukturą średnio- i wielkoelementową reprezentują obszary zbudowane z utworów fliszu karpackiego z przewagą piaskowców i łupków różnego wieku i odporności. Wśród nich jednostki o teksturze gruzelkowej i robaczkowej (5.3.4, 6.3.2, 6.3.3), typowe dla obszarów pogórzy, wyróżniają się sporym udziałem lessów i lessów piaszczystych, które osadzały się tu w czasie trwania zlodowacenia północnopolskiego. Granice występujących tu jednostek często, przynajmniej częściowo, pokrywają się z granicami spotykanych tu utworów geologicznych. Bardzo duże dopasowanie widoczne jest chociażby w przypadku jednostek typu 13.3.3 (tekstura bezlad-

na, struktura średnioelementowa, ton jasnoszary) względem obszaru piaskowców i ilów krośnieńskich w obrębie Kotliny Jasielsko-Krośnieńskiej.

Elementy tektoniki rejestrowane są w obrębie niektórych jednostek charakterystycznych dla obszarów gór i pogórzy. Dobrym przykładem są jednostki o teksturze blokowej (15.4.2, 15.4.3). Charakter ich tekstury oddaje równoległość biegu warstw skalnych, różnych pod względem wieku i odporności.

Niektóre odcinki granic jednostek pokrywają się również z nasunięciami głównych jednostek tektonicznych (np. fragment nasunięcia płaszczowiny magurskiej). Dodatkowo, pośrednio poprzez rzeźbę, dostrzec można na obrazie radarowym przejawy elementów uskokowych. Wiele bowiem poprzecznych linii uskokowych, często towarzyszących podłużnym wzniesieniom, wykorzystywanych jest przez doliny rzek (np. typ 9.3.2).

Warto zaznaczyć, że północny zasięg jednostek o strukturze średnioelementowej prawie dokładnie wyznacza granicę nasunięcia karpackiego. Nie wykazano niestety dużych zbieżności między granicami jednostek a maksymalnym zasięgiem zlodowacenia południowopolskiego, z wyjątkiem odcinków wzdłuż wyraźnych krawędzi morfologicznych oraz wzdłuż północnej granicy jednej z jednostek należącej do typu 9.3.3.

Tabela 5. Typy HMJP
Types of HMJP

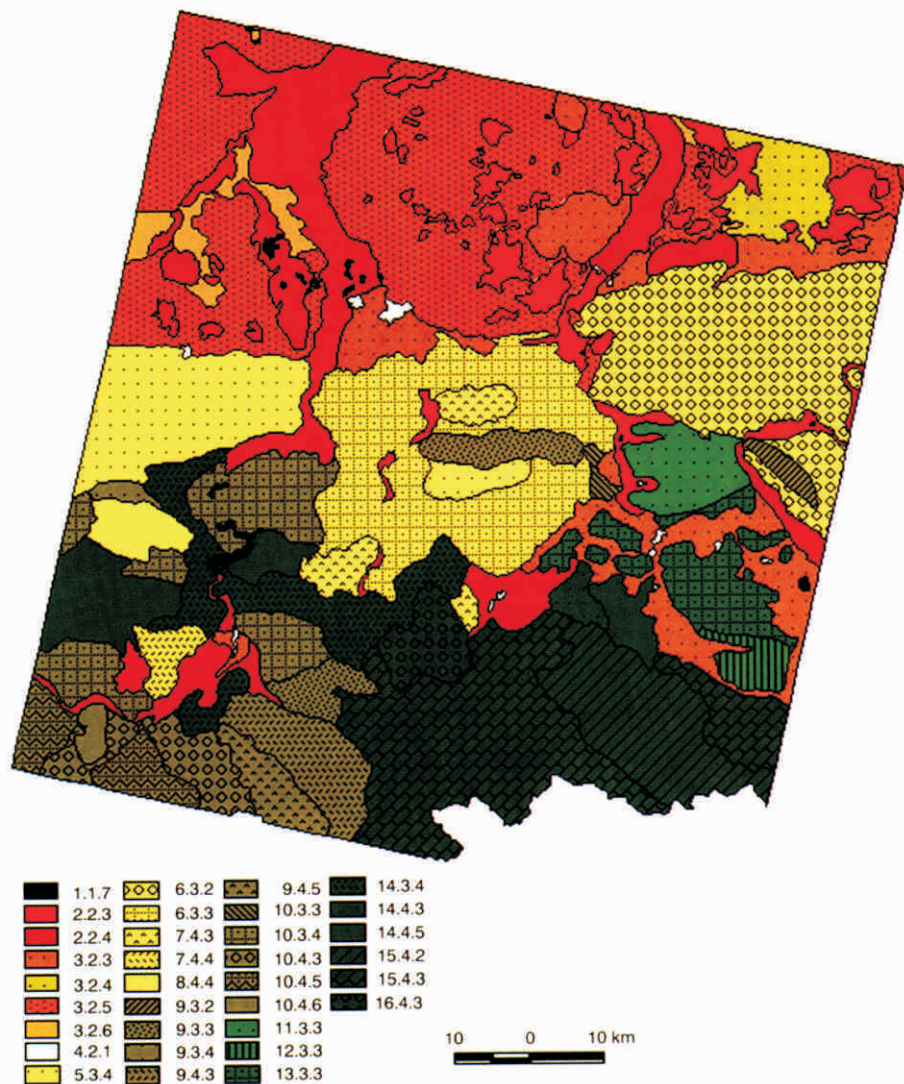
Typy HMJP Types of HMJP	Tekstura Texture	Struktura Structure	Ton Tone
1.1.7	Amorficzna gładka <i>Amorphous-plain texture</i>	Gładka <i>Plain structure</i>	Czarny <i>Black</i>
2.2.3	Amorficzna <i>Amorphous texture</i>	Drobnoelementowa <i>Fine-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
2.2.4	Amorficzna <i>Amorphous texture</i>	Drobnoelementowa <i>Fine-element structure</i>	Szary <i>Grey</i>
3.2.3	Plamista <i>Spotting texture</i>	Drobnoelementowa <i>Fine-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
3.2.4	Plamista <i>Spotting texture</i>	Drobnoelementowa <i>Fine-element structure</i>	Szary <i>Grey</i>
3.2.5	Plamista <i>Spotting texture</i>	Drobnoelementowa <i>Fine-element structure</i>	Ciemnoszary <i>Dark grey</i>
3.2.6	Plamista <i>Spotting texture</i>	Drobnoelementowa <i>Fine-element structure</i>	Bardzo ciemnoszary <i>Very dark grey</i>
4.2.1	Plamista koncentryczna <i>Spotting-concentric texture</i>	Drobnoelementowa <i>Fine-element structure</i>	Biały <i>White</i>
5.3.4	Gruzelkowata <i>Tubercular texture</i>	Średnioelementowa <i>Moderately-element structure</i>	Szary <i>Grey</i>
6.3.2	Robaczkowa <i>Wormlike texture</i>	Średnioelementowa <i>Moderately-element structure</i>	Bardzo jasnoszary <i>Very light grey</i>
6.3.3	Robaczkowa <i>Wormlike texture</i>	Średnioelementowa <i>Moderately-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
7.4.3	Wałowa <i>Bank texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
7.4.4	Wałowa <i>Bank texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Szary <i>Grey</i>
8.4.4	Łuskowa <i>Scaly texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Szary <i>Grey</i>
9.3.2	Żyłkowa uporządkowana <i>Veined orderly texture</i>	Średnioelementowa <i>Moderately-element structure</i>	Bardzo jasnoszary <i>Very light grey</i>
9.3.3	Żyłkowa uporządkowana <i>Veined orderly texture</i>	Średnioelementowa <i>Moderately-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
9.3.4	Żyłkowa uporządkowana <i>Veined orderly texture</i>	Średnioelementowa <i>Moderately-element structure</i>	Szary <i>Grey</i>
9.4.3	Żyłkowa uporządkowana <i>Veined orderly texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
9.4.5	Żyłkowa uporządkowana <i>Veined orderly texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Ciemnoszary <i>Dark grey</i>
10.3.3	Żyłkowa nieuporządkowana <i>Veined disorderly texture</i>	Średnioelementowa <i>Moderately-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
10.3.4	Żyłkowa nieuporządkowana <i>Veined disorderly texture</i>	Średnioelementowa <i>Moderately-element structure</i>	Szary <i>Grey</i>
10.4.3	Żyłkowa nieuporządkowana <i>Veined disorderly texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
10.4.5	Żyłkowa nieuporządkowana <i>Veined disorderly texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Ciemnoszary <i>Dark grey</i>
10.4.6	Żyłkowa nieuporządkowana <i>Veined disorderly texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Bardzo ciemnoszary <i>Very dark grey</i>
11.3.3	Żyłkowo-robaczkowa <i>Veined-wormlike texture</i>	Średnioelementowa <i>Moderately-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
12.3.3	Prażkowa <i>Striped texture</i>	Średnioelementowa <i>Moderately-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
13.3.3	Bezladna <i>Chaotic texture</i>	Średnioelementowa <i>Moderately-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
14.3.4	Smugowa <i>Streaky texture</i>	Średnioelementowa <i>Moderately-element structure</i>	Szary <i>Grey</i>
14.4.3	Smugowa <i>Streaky texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
14.4.5	Smugowa <i>Streaky texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Ciemnoszary <i>Dark grey</i>
15.4.2	Blokowa <i>Block texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Bardzo jasnoszary <i>Very light grey</i>
15.4.3	Blokowa <i>Block texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>
16.4.3	Blokowo-wyspowa <i>Block-island texture</i>	Wielkoelementowa <i>Large-element structure</i>	Jasnoszary <i>Light grey</i>

HMJP a rzeźba terenu

Analizę poszczególnych typów homogenicznych mikrofalowych jednostek przestrzennych przeprowadzono z punktu widzenia genetycznego typu rzeźby. Oceniając rolę rzeźby w kształtowaniu fizjonomii obrazu radarowego wzięto pod uwagę nie tylko zasięg

i granice występowania poszczególnych form, ale także ich ukierunkowanie i układ.

Zróznicowanie morfologiczne terenu znajduje swój bardzo silny wyraz w strukturze i teksturze obrazu radarowego. Jednostki o strukturze drobnoelementowej charakterystyczne są dla w miarę płaskiego obszaru kotliny podkarpackiej oraz dla obszarów kotlin i ob-



Ryc. 10. Typy HMJP.

Fig. 10. Types of HMJP.

nizien śródgórskich, a także szerszych odcinków dolin rzek karpackich. Spotkać tu można jednostki o wyraźnie wydłużonym kształcie, należące do typów: 2.2.3, 2.2.4, które reprezentują obszary całkowicie bądź w znacznym stopniu zajęte przez równiny tarasów holocenijskich. Dużym udziałem form akumulacji rzecznej w obrębie rowu przedkarpackiego charakteryzuje się również typ 3.2.6. Pozostałe jednostki występujące na tym terenie to obszary płaskowyżów i garbów, zbudowanych z utworów mioceńskich, pokrytych przeważnie szczątkami osadów zlodowacenia południowopolskiego, równin denudacyjnych wykształconych w osadach lodowcowych i rzeczniolodowcowych oraz równin tarasów plejstocenijskich. Przestrzenne zróżnicowanie tych form nie znajduje jednak swojego odbicia w fizjonomii obrazu radarowego.

Na pogórzach dominuje struktura średnioelementowa, a na obszarze Beskidów wielkoelementowa. Obserwuje się tu jednocześnie dominujący wpływ rzeźby na zróżnicowanie teksturalne obrazu, co związane jest z dużymi różnicami wysokości względnych. Bardzo

wyraźnie zarysowuje się odmiennność poszczególnych fragmentów pasma Beskidów. Na przykład jednostki o teksturze blokowej i blokowo-wyspowej (15.4.2, 15.4.3, 16.4.3), pokrywające prawie w całości swym zasięgiem widoczny na obrazie radarowym fragment Beskidu Niskiego, dobrze ukazują charakterystyczny dla tego obszaru równoległy układ grzbietów górskich wraz z występującymi tu odosobnionymi wzniesieniami (np. Maślana Góra). Mocno kontrastują one z sąsiadującymi od wschodu jednostkami o teksturze żyłkowej uporządkowanej i żyłkowej nieuporządkowanej oraz strukturze wielkoelementowej (9.4.3, 9.4.5, 10.4.3, 10.4.5, 10.4.6). Układ bardzo jasnych, wąskich żyłek na ciemnym tle odpowiada przebiegowi mocno rozczłonkowanych, ostrych grzbietów górskich Beskidu Sądeckiego i Górców. Występujący tu układ rzeźby górskiej sprzyja dużemu zróżnicowaniu tonalnemu poszczególnych jednostek. Rozległe tereny z przeważającymi „tylnymi” partiami stoków reprezentowane są przez jednostki o ciemnym i bardzo ciemnym tonie.

Ukierunkowanie i specyficzny układ poszczegół-

Tabela 6. Charakterystyka typów HMJP
Characteristics of types of HMJP

Typy HMJP Types of HMJP	Liczba jednostek w typie Number of units type	Frekwencja Frequency %	Powierzchnia Area					Średni obwód Mean circumference (km)	Średnia wartość wskaźnika rozczłonkowania Average value of the index of circumference development
			Sumaryczna Total		Minimalna Minimum	Maksymalna Maximum	Średnia Average		
			km ²	%					
1.1.7	24	13,41	26,78	0,28	0,07	13,08	1,12	4,85	1,45
2.2.3	49	27,37	416,25	4,35	0,35	53,78	8,49	14,77	1,51
2.2.4	18	10,06	931,21	9,74	1,89	437,58	51,73	45,05	1,92
3.2.3	8	4,47	617,35	6,46	9,67	285,82	77,17	75,15	2,18
3.2.4	1	0,56	148,46	1,55	148,45	148,45	148,45	86,30	2,00
3.2.5	9	5,03	1544,38	1,61	2,21	869,38	171,60	110,67	2,54
3.2.6	7	3,91	117,85	5,00	1,85	44,51	16,84	25,18	1,84
4.2.1	14	7,82	22,81	1,23	0,36	7,71	1,63	5,74	1,38
5.3.4	2	1,12	449,40	0,24	51,47	397,93	224,70	64,92	1,38
6.3.2	3	1,68	794,91	4,70	4,45	707,80	264,97	72,40	1,57
6.3.3	1	0,56	748,55	8,31	748,55	748,55	748,55	289,17	2,98
7.4.3	3	1,68	108,95	7,83	14,14	50,98	36,32	26,58	1,28
7.4.4	1	0,56	51,96	1,14	51,96	51,96	51,96	35,94	1,41
8.4.4	1	0,56	78,97	0,54	78,97	78,97	78,97	39,92	1,27
9.3.2	1	0,56	30,60	0,83	30,60	30,60	30,60	29,42	1,50
9.3.3	2	1,12	149,01	0,32	65,94	83,06	74,50	46,35	1,51
9.3.4	1	0,56	19,24	1,56	19,24	19,24	19,24	23,55	1,51
9.4.3	1	0,56	176,04	0,20	176,04	176,04	176,04	64,44	1,37
9.4.5	1	0,56	87,34	1,84	87,34	87,34	87,34	48,41	1,46
10.3.3	1	0,56	16,10	0,91	16,10	16,10	16,10	22,89	1,61
10.3.4	5	2,79	387,60	0,17	21,06	175,99	77,52	43,80	1,44
10.4.3	2	1,12	139,20	4,05	42,65	96,55	69,60	49,03	1,74
10.4.5	2	1,12	137,30	1,46	64,72	72,59	68,65	39,58	1,35
10.4.6	1	0,56	26,62	1,44	26,62	26,62	26,62	22,67	1,24
11.3.3	1	0,56	142,43	0,28	142,43	142,43	142,43	66,83	1,58
12.3.3	1	0,56	60,89	1,49	60,89	60,89	60,89	45,08	1,63
13.3.3	8	4,47	235,16	0,64	3,09	140,78	29,40	23,91	1,38
14.3.4	3	1,68	340,52	2,46	36,93	192,03	113,51	76,75	2,06
14.4.3	1	0,56	36,32	3,56	36,32	36,32	36,32	29,31	1,37
14.4.5	3	1,68	278,07	0,38	47,04	171,06	92,69	49,23	1,51
15.4.2	1	0,56	343,37	2,91	343,37	343,37	343,37	102,39	1,56
15.4.3	2	1,12	791,51	3,59	113,28	678,23	395,75	120,64	1,76
16.4.3	1	0,56	105,05	8,28	105,05	105,05	105,05	46,94	1,29
Razem	179	100,00	9560,20	100					

nych form rzeźby silnie uwidacznia się nie tylko w obrębie całych Beskidów, ale również na obszarze pogórza. Granice poszczególnych jednostek, bądź ich odcinki, związane są często z wyraźnymi krawędziami morfologicznymi, a w szczególności wcięciami dolinnymi. Poza tym w przypadku niektórych jednostek rzeźba okazała się tym komponentem środowiska, który zdecydował o ich wyróżnieniu. Dobrym przykładem jest pojedyncza jednostka typu 7.4.4 (tekstura wałowa, struktura wielkoelementowa, ton szary), odpowiadająca fragmentowi pogórza złożonego z szeregu równoległych wzniesień o kształcie podłużnych wałów rozdzielonych dolinami rzecznyymi.

HMJP a gleby

Mikrofały, ze względu na zdolność wnikania w warstwę podpowierzchniową terenu, mogą dostarczać wiele informacji o pokrywie glebowej. Wartość współczyn-

nika wstecznego rozpraszania wzrasta wraz z wilgotnością gleby, ale jednocześnie zależy również od szorstkości badanej powierzchni, a więc i pokrywy roślinnej. Dodatkowo zależność wartości sygnału powrotnego od tych dwóch czynników może zostać wyraźnie zakłócona przez silny wpływ rzeźby terenu, przejawiający się zarówno w lokalnych zniekształceniach geometrycznych obrazu jak i w zmianach intensywności sygnału.

Bezpośrednia rola pokrywy glebowej w wyróżnianiu homogenicznych mikrofałowych jednostek przestrzennych jest dostrzegalna w przypadku w miarę płaskich terenów kotlin, a więc reprezentowanych przez jednostki o strukturze drobnoelementowej, nie zalesione. Czynnikiem sprzyjającym jest fakt, że zdjęcie radarowe zostało wykonane pod koniec sierpnia, a więc w zasadzie już po żniwach, w wyniku których gleba została w dużym stopniu odsłonięta. Rysunek obrazu radarowego ukazuje jednak różnice tylko między niektórymi rodzajami gleb. Dobrze uwidaczniają

się obszary z dużym udziałem kompleksu gleb pływych, brunatnych wylugowanych i odgórnie oglejonych wytworzonych z lessów i pyłów różnej genezy. Obszary te najczęściej charakteryzują się jasnoszarym tonem, plamistą teksturą (typ 3.2.3). Specyficzny wygląd na analizowanym obrazie przyjmują również tereny pokryte madami, reprezentowane przez jednostki o wydłużonym kształcie, teksturze amorficznej należące do typów 2.2.3 i 2.2.4. Wśród jednostek, w wydzieleniu których pokrywa glebowa odegrała istotną rolę, należy wymienić również typy: 3.2.4 i 3.2.5 (tekstura plamista, ton ciemnoszary bądź szary). Dominują tu gleby rdzawe i bielcowe wytworzone z piasków oraz kompleksy gleb pływych, brunatnych wylugowanych, odgórnie oglejonych wytworzonych z piasków naglinowych i glin zwałowych. W obrębie jednostek typu 3.2.5 występują również znaczne obszary pokryte przez wytworzone na lessach gleby brunatne (właściwe i wylugowane), czarnoziemy i szare gleby leśne, które to, jak wykazała analiza rysunku obrazu radarowego, mocno podkreślają plamistość jednostki. Dodatkowo spotkać tu można również niewielkie ilości gleb hydromorficznych, rędzin siarczanowych oraz czarnych i szarych ziem wytworzonych z glin, piasków, ilów i pyłów.

Na terenie gór i pogórzy nie obserwuje się wyraźnego wpływu pokrywy glebowej na fizjonomię jednostek. W pewnych przypadkach można mówić o pośrednim „wizualizowaniu” się poprzez rzeźbę terenu gleb brunatnych kwaśnych i wylugowanych wytworzonych ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym (gleb gliniastych, pyłowych i ilastych oraz gliniastych szkieletowych). Zjawisko to najlepiej dostrzegalne jest w obrębie jednostki o teksturze blokowej (15.4.2, 15.4.3). Obszary lokalnego występowania wyżej wspomnianego kompleksu gleb na terenie pogórzy związane są przestrzennie z wyższymi wzniesieniami i stanowią duży udział w pokrywie glebowej jednostek typów: 9.3.2, 9.3.3.

HMJP a pokrycie terenu

Pokrycie terenu jest komponentem środowiska najlepiej widocznym na obrazach satelitarnych wykonanych w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni (Olędzki, 1992). W przypadku satelitarnych obrazów radarowych sytuacja przedstawia się nieco odmiennie ze względu na specyficzne właściwości mikrofal oraz specyficzny sposób pozyskiwania danych radarowych. Sposób użytkowania ziemi wywiera pewien wpływ na zewnętrzny wygląd badanego obszaru głównie w przypadku terenów płaskich, przy czym zjawisku temu sprzyjać będzie duża suchość gleby wywołana długim okresem pozbawionym opadów (potwierdzone danymi meteorologicznymi). Wpływ ten najsilniej zaznacza się na obszarach leśnych tworzących zwarte jednostki charakteryzujące się teksturą amorficzną, strukturą drobnoelementową i tonem jasnoszarym bądź szarym (2.2.3, 2.2.4). Również te-

reny z dużym udziałem łąk znajdują swoje odbicie na obrazie radarowym, w postaci bardzo ciemnego tonu. Tereny te są reprezentowane przez jednostki typu 3.2.6. Większe płaty łąk czasami mogą również swoim wyglądem przypominać zbiorniki wodne, które zostały zarejestrowane w postaci jednostek o strukturze amorficznej gładkiej, strukturze gładkiej i tonie czarnym (1.1.7). Pozostałe tereny wykorzystywane rolniczo dość słabo różnicują się na obrazie radarowym. W obrębie jednostek typu 3.2.5 nieco jaśniejsze, lekko zarysowujące się smugi na ciemnoszarym tle odpowiadają przebiegowi występowania złożonych systemów upraw i działek oraz terenów rolnych z dużym udziałem roślinności naturalnej w otoczeniu dominujących tu gruntów ornych.

Bardzo wyraźnie na analizowanym zdjęciu satelitarnym zaznaczają się elementy antropogeniczne związane z miejsko-przemysłową działalnością człowieka. Większe obszary skupionej zabudowy oraz terenów przemysłowych zostały zarejestrowane jako zespoły bardzo jasnych pikseli wyróżnionych w postaci jednostek typu 4.2.1. Również tereny z dużym udziałem zabudowy luźnej znalazły swój wyraz na zobrazowaniu radarowym, miejscami mocno zakłócając jego amorficzny charakter silnymi punktowymi rozjaśnieniami. Całkowitym przeciwieństwem obrazu stref zurbanizowanych będzie prawie czarny obraz pasów startowych lotniska (1.1.7).

W przypadku pogórzy i gór pokrycie terenu ma mały wpływ na fizjonomię obrazu radarowego. Decydującą rolę odgrywa tutaj bowiem rzeźba. Ze względu jednak na bardzo ściśle powiązanie sposobu użytkowania ziemi z ukształtowaniem terenu, czasami można dostrzec pewną zależność pomiędzy wewnętrznym wyglądem jednostki a strukturą pokrycia terenu. Niekiedy rzeźba zostaje mocno podkreślona przez roślinność. Dobrym przykładem są tu jednostki o teksturze blokowej (15.4.2, 15.4.3), gdzie rozległe powierzchnie zalesione odpowiadające szerokim wierzchowinom dość wyraźnie pokrywają się z obszarami o bardzo jasnym tonie. Obszary o znacznie ciemniejszym tonie odpowiadają natomiast terenom użytkowanym rolniczo.

Podsumowanie

Po przeanalizowaniu relacji pomiędzy fizjonomią obrazu radarowego a takimi komponentami środowiska jak: budowa geologiczna, rzeźba, gleby, pokrycie terenu, przeprowadzono całościową charakterystykę warunków środowiskowych poszczególnych typów HMJP. Szczególną uwagę zwrócono na elementy przyrody, które znalazły swoje odbicie w fizjonomii jednostek bądź też ich granice przynajmniej częściowo pokrywają się z granicami tychże jednostek. Charakterystyka, ta wraz z jakościową oceną wpływu analizowanych komponentów środowiska na różnicowanie obrazu radarowego, została zamieszczona w tabeli 7.

Przeprowadzone badania wykazały, że wśród wielu typów HMJP obserwuje się kompleksowe oddziały-

Tabela 7. Charakterystyka warunków środowiskowych wyróżnionych typów HMJP
Characteristics of environment conditions of highlighted types of HMJP

Typ HMJP <i>Types of HMJP</i>	Warunki środowiskowe <i>Environment conditions</i>	Komponenty środowiska decydujące o wyróżnieniu typu HMJP <i>Environment component deciding about highlighting HMJP types</i>			
		G	Rz	Gl	P
1.1.7	1. Zbiorniki wodne (w warunkach bezwietrznych). Czarny ton jednostek związany jest z faktem, iż promieniowanie mikrofalowe padające na płaską powierzchnię wody zostaje odbite w bok od satelity (brak sygnału powrotnego).				+
	2. Lotnisko. Promieniowanie mikrofalowe padające na płaską powierzchnię pasów startowych zostaje odbite w bok od satelity (podobnie jak w przypadku płaskiej powierzchni wody).				+
	3. Łąki na glebach rdzawych i bielcowych wytworzonych z piasków pochodzenia rzecznoego. Czarny ton jednostek i ich tekstura amorficzna gładka mogą być związane z dużym stopniem uwilgotnienia terenu.	+		+	+
2.2.3 2.2.4	1. Zwarte kompleksy leśne (na obszarze kotlin). O zewnętrznym wyglądzie jednostek decyduje przede wszystkim pokrycie terenu, a ich zróżnicowanie tonalne może być związane z położeniem względem satelity. Jednostki zlokalizowane bliżej toru podsatelitarnego charakteryzują się jaśniejszym tonem (mocniejszy sygnał powrotny).				+
	2. Szersze doliny i równiny akumulacji rzecznej – równiny tarasowe holocenijskie zbudowane z mułków, piasków, żwirów rzecznych i miejscami torfów – z występującymi tu głównie madami, zagospodarowane rolniczo ze znaczną przewagą gruntów ornych. Przestrzenne zróżnicowanie upraw nie znajduje jednak swojego odbicia w fizjonomii jednostki. Miejscami widoczne są obszary luźnej zabudowy w postaci niewielkich skupisk jasnych pikseli, nie zaburzają one jednak amorficznego charakteru obrazu jednostki. Szersze odcinki koryt rzecznych widoczne są w postaci czarnych wstęg. Na zróżnicowanie tonalne jednostek może mieć wpływ zarówno stopień uwilgotnienia gruntu jak i ich położenie względem toru podsatelitarnego. Jednostki te charakteryzują się podłużnym kształtem.	+	+	+	+
	3. W miarę płaskie fragmenty obniżen i kotlin śródgórskich z resztkami spłaszczeń dolnoczwartorzędowych, częściowo zajęte przez równiny tarasowe. Spotkać tu można różne rodzaje gleb zależnie od charakteru podłoża. Tereny całkowicie zagospodarowane rolniczo. Obszary te reprezentowane są tylko przez jednostki o tonie szarym.		+		
3.2.3	1. Obszary kotlin z dużym udziałem gleb pływych, brunatnych wylugowanych oraz gleb odgórnie oglejonych wytworzonych z pyłów różnej genezy oraz z utworów lessowatych, zagospodarowane rolniczo z przewagą gruntów ornych, miejscami z widocznym udziałem luźnej zabudowy i terenów przemysłowych. Plamistość jednostki i jej jasny ton zdają się być silnie związane z pokrywą glebową i/lub elementami zabudowy i terenów przemysłowych, widocznych w postaci jasnych pikseli.	+		+	+
	2. Pogórza niskie i wysokie dna kotlin śródgórskich z resztkami spłaszczeń dolnoczwartorzędowych, częściowo zajęte przez równiny terasowe. Obszary zagospodarowane rolniczo z widocznym udziałem luźnej zabudowy i terenów przemysłowych. Plamistość jednostek związana jest nie tylko z występowaniem rozproszonych stref zurbanizowanych i przemysłowych, ale również z rzeźbą terenu. Może być ona dodatkowo podkreślona występującą tu pokrywą glebową, z przeważającym udziałem gleb pływych, brunatnych wylugowanych oraz gleb odgórnie oglejonych wytworzonych z utworów lessowatych.	+	+	+	+
3.2.4	Tereny w różny sposób zagospodarowane rolniczo (złożone systemy upraw i działek, grunty orne, łąki) oraz częściowo zalesione (drobne bądź silnie rozczłonkowane płyty lasów), głównie na glebach rdzawych i bielcowych wytworzonych z piasków. Są to na ogół obszary płaskowyzów i garbów zbudowanych z utworów mioceńskich, pokrytych przeważnie szczątkami zlodowacenia południowopolskiego, równin denudacyjnych wykształconych w osadach lodowcowych i rzecznołodowcowych. Tereny zalesione częściowo „wizualizują” w postaci jaśniejszych niewyraźnych rozjaśnień.			+	+

3.2.5	<p>Tereny zagospodarowane rolniczo z przewagą gruntów orných, głównie na glebach rdzawych i bielcowych wytworzonych z piasków oraz glebach płowych, brunatnych wylugowanych, odgórnie oglejonych wytworzonych z piasków naglinowych i glin zwałowych, a także na wytworzonych na lessach glebach brunatnych (właściwych i wylugowanych), czarnoziemach i szarych glebach leśnych. Są to na ogół obszary płasko-wyzwół i garbów zbudowanych z utworów mioceńskich, pokrytych przeważnie szczątkami utworów zlodowacenia południowopolskiego, równin denudacyjnych wykształconych w osadach lodowcowych i rzeczolodowcowych oraz równin tarasowych plejstoceńskich.</p> <p>Jaśniejszy ton częściowo odpowiada nielicznym strefom złożonych systemów upraw i działek oraz terenom z dużym udziałem roślinności naturalnej. Ciemniejsze plamy natomiast często związane są z terenami łąk bądź podmokłymi. Występują tu również jednostki, których plamistość zdaje się być spowodowana występowaniem gleb wytworzonych na lessach.</p>	+	+	+	+
3.2.6	<p>Tereny zagospodarowane rolniczo ze znacznym udziałem łąk, głównie na obszarze równin tarasowych, wypełnionych osadami akumulacji rzecznej i torfami. Obszary łąkowe widoczne są w postaci bardzo ciemnych plam.</p>				+
4.2.1	<p>Obszary o zwartej i luźnej zabudowie oraz większe obszary przemysłowe. Silny sygnał wsteczny jest tu wywołany obecnością licznych centrów silnie rozpraszających.</p>				+
5.3.4	<p>Pogórza o płaskich garbach i płaskodennych dolinach. Liczne są powierzchnie zbudowane z lessów i lessów piaszczystych, które osadzały się podczas trwania zlodowacenia północnopolskiego. Miejscami odsłaniają się piaskowce i łupki kredowe, łupki pstre oraz piaskowce i łupki trzeciorzędowe. Dominują tu kompleksy gleb płowych, brunatnych wylugowanych oraz gleb odgórnie oglejonych wytworzonych z lessów i utworów lessowatych bądź wytworzone ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym. Jest to obszar wykorzystywany głównie rolniczo. Tereny leśne występują na stromych zboczach dolin i na niektórych wyższych garbach. Zaznaczają się one niekiedy w postaci ledwo widocznych rozjaśnień. Natomiast ciemniejsze delikatne przebarwienia są niekiedy związane z obszarami łąkowymi.</p>	+	+		+
6.3.2 6.3.3	<p>Pogórza cechujące się dużą różnorodnością rzeźby, z dużym udziałem wyraźnych wysokich pasm w kształcie obłych garbów, o stromych stokach rozciętych głębokimi dolinami. Dużym przestrzennym zróżnicowaniem charakteryzują się również występujące tu utwory geologiczne. Występują tu rozległe mniej lub bardziej zwarte płyty piaskowców i łupków krośnieńskich, kredowych, a także lessów i lessów piaszczystych. Miejscami na obszarach wyżej położonych spotkać można gleby brunatne kwaśne oraz brunatne wylugowane wytworzone ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym (gleby gliniaste, pyłowe i ilaste). Jest to obszar wykorzystywany głównie rolniczo. Tereny leśne występują na stromych zboczach dolin i na niektórych wyższych garbach. Zróżnicowanie tonalne jednostek może być związane z położeniem względem toru podsatelitarnego. Jednostki zlokalizowane w jego pobliżu charakteryzują się jaśniejszym tonem.</p>	+	+		
7.4.3 7.4.4	<p>Pogórza średnie złożone z szeregu równoległych wzniesień, o kształcie podłużnych wałów rozdzielonych dolinami, zbudowanych głównie z piaskowców i łupków o różnej odporności. Brak wyraźnego nawiązania rzeźby do budowy geologicznej. Występują tu głównie gleby brunatne bądź wytworzone z utworów lessowatych. Są to obszary w różny sposób zagospodarowane rolniczo, z dużym udziałem roślinności naturalnej i z niewielką ilością lasów.</p>		+		
8.4.4	<p>Dwa podłużne równoległe pasma górskie o ułożeniu równoleżnikowym, oddzielone wyraźną doliną rzeczna i dodatkowo poprzecznie porozi-nane głębokimi dolinami V-kształtnymi. Zbudowane z piaskowców magurskich i mniej odpornych warstw podmagurskich. Występują tu gleby brunatne kwaśne oraz brunatne wylugowane wytworzone ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym (gleby gliniaste, pyłowe i ilaste oraz gliniaste szkieletowe) oraz mady w dolinie rzecznej. Ułożenie pasm górskich względem toru podsatelitarnego, wzdłuż linii zasięgu podkreśla specyficzną teksturę jednostki.</p>	+	+		
9.3.2 9.3.3	<p>Podłużne pasma pogórzy o wysokości około 500 m, rozcięte dolinami, zbudowane głównie z piaskowców i łupków kredowych z licznymi poprzecznymi liniami uskoków. Występują tu kompleksy gleb płowych, brunatnych wylugowanych oraz odgórnie oglejonych wytworzonych z utworów lessowatych bądź, w przypadku wyższych partii wzniesień, ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym (gleby gliniaste, pyłowe i ilaste oraz gliniaste szkieletowe). Jest to obszar w dużym stopniu zalesiony (wyższe partie wzniesień) oraz częściowo zagospoda-rowany rolniczo. Widoczne jasne żyłki układają się zgodnie z linią grzbietów górskich. Zróżnicowanie tonalne jednostek może być związane z położeniem względem toru podsatelitarnego. Jednostki zlokalizowane w jego pobliżu charakteryzują się jaśniejszym tonem.</p>		+		

9.3.4	Podłużne pasma górskie rozcięte dolinami, zbudowane z odpornych piaskowców magurskich. Występują tu gleby brunatne kwaśne oraz brunatne wylugowane wytworzone ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym (gleby gliniaste, pyłowe i ilaste oraz gliniaste szkieletowe). Jest to obszar w dużym stopniu zalesiony (las piętra regla dolnego), a w pasie podgórze zagospodarowany rolniczo. Widoczne jasne żyłki układają się zgodnie z linią grzbietów górskich.	+	+		
9.4.3 9.4.5	Zwarte, wysokie masywy górskie o regularnym układzie grzbietów, ograniczone progami i rozcięte głębokimi śmiałymi dolinami. Obok szerokich stref odpornych piaskowców magurskich spotkać tu można mniej odporne warstwy podmagurskie, miejscami widoczne serie fliszu kredowego. Występują tu głównie gleby brunatne kwaśne oraz brunatne wylugowane wytworzone ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym (gleby gliniaste szkieletowe, miejscami gliniaste, pyłowe i ilaste). Jest to obszar prawie całkowicie zalesiony, miejscami w obniżeniach wykorzystywany rolniczo. Tereny, gdzie przeważają partie stoków skierowane w stronę satelity charakteryzują się jasnym tonem, natomiast tereny z przeważającymi tylnymi partiami stoków reprezentowane są przez jednostki o ciemnym i bardzo ciemnym tonie.	+	+		
10.3.3 10.3.4	Obszar gór bądź pogórzy średnich i wysokich. Cechą wspólną jest nieregularny kształt i rozczłonkowanie wzniesień. Nieregularne linie grzbietów zaznaczają się mniej lub bardziej wyraźnie w postaci bardzo jasnych żyłek. Występują tu głównie piaskowce i łupki kredowe, piaskowce magurskie, a także zespoły margli, piaskowców i łupków. Na obszarach pogórzy przeważają kompleksy gleb płowych, brunatnych wylugowanych oraz gleb odgórnie oglejonych wytworzonych ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym bądź utworów lessowatych. W górach natomiast dominują gleby brunatne kwaśne oraz brunatne wylugowane wytworzone ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym (gleby gliniaste, pyłowe i ilaste oraz gliniaste szkieletowe). Jest to obszar w dużym stopniu zalesiony (wyższe partie wzniesień) oraz częściowo zagospodarowany rolniczo.	+	+		
10.4.3 10.4.5 10.4.6	Zwarte, wysokie masywy górskie o nieregularnym układzie grzbietów, ograniczone progami i rozcięte głębokimi śmiałymi dolinami. Obok szerokich stref odpornych piaskowców magurskich spotkać tu można mniej odporne warstwy podmagurskie, miejscami widoczne serie fliszu kredowego. Występują tu głównie gleby brunatne kwaśne oraz brunatne wylugowane wytworzone ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym (gleby gliniaste szkieletowe, miejscami gliniaste, pyłowe i ilaste). Jest to obszar prawie całkowicie zalesiony, miejscami w obniżeniach wykorzystywany rolniczo. Tereny, gdzie przeważają partie stoków skierowane w stronę satelity charakteryzują się jasnym tonem, natomiast tereny z przeważającymi „tylnymi” partiami stoków reprezentowane są przez jednostki o ciemnym i bardzo ciemnym tonie.	+	+		
11.3.3	Obszar pogórzy niskich z podłużnymi wzniesieniami o wysokości około 400 m, rozciętymi dolinami. Teren zbudowany głównie z piaskowców i ilów kredowych bądź z piaskowców i ilów warstw krośnieńskich. Miejscami występują tu lessy piaszczyste i gliny o różnej genezie. Dominują tu kompleksy gleb płowych, brunatnych wylugowanych oraz odgórnie oglejonych wytworzonych z utworów lessowatych. Teren wykorzystywany jest głównie rolniczo. Większe płaty lasów spotykane są w górnych partiach wzniesień.	+	+		
12.3.3	Równoleżnikowe podłużne garby przekraczają miejscami wysokość 500 m, z wyraźnie zaznaczającymi się poprzecznym żebrami, zbudowane ze stromo sfaldowanych warstw piaskowców i łupków krośnieńskich z nielicznymi wychodniami warstw menilitowych i piaskowców ciężkowickich w osiach antyklin. Występują tu gleby brunatne kwaśne oraz brunatne wylugowane wytworzone ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym (gleby gliniaste, pyłowe i ilaste). Dominują tu grunty orne. Tereny leśne spotkać można w wyższych partiach pogórzy.	+	+		
13.3.3	Płaty pogórzy najczęściej o wysokości 300–400 m, zbudowane głównie ze stromo sfaldowanych warstw piaskowców i łupków krośnieńskich z nielicznymi wychodniami warstw menilitowych i piaskowców ciężkowickich w osiach antyklin. Dominują tu gleby brunatne kwaśne oraz brunatne wylugowane wytworzone ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym (gleby gliniaste, pyłowe i ilaste) bądź kompleksy gleb płowych, brunatnych wylugowanych oraz odgórnie oglejonych wytworzonych z utworów lessowatych. Jest to obszar głównie wykorzystywany rolniczo, z przeważającymi gruntami ornymi bądź złożonymi systemami upraw i działek. Miejscami spotkać tu można różnej wielkości płaty lasów.	+	+		
14.3.4 14.4.3 14.4.5	Głównie obszary pogórzy niskich i średnich o nieuporządkowanym układzie rzeźby, zbudowane na ogół z mało odpornych łupków i piaskowców, miejscami także utworów akumulacji rzecznej oraz lessów. Występują tu różne rodzaje gleb, głównie brunatnoziemnych. Tereny wykorzystywane rolniczo o różnej strukturze upraw. Miejscami spotkać tu można w miarę zwarte płaty lasów o różnej wielkości.		+		

15.4.2	Zwarte masywy górskie o układzie rusztowym, zbudowane głównie z odpornych piaskowców magurskich, miejscami także z piaskowców i łupków kredowych oraz krośnieńskich. Wąskie obniżenia oddzielające pasma w dużym stopniu pokrywają się z przebiegiem warstw o mniejszej odporności (np. łupki pstre). Występują tu gleby brunatne kwaśne oraz brunatne wylugowane wytworzone ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym (gleby gliniaste, pyłowe i ilaste oraz gliniaste szkieletowe). Jest to obszar prawie całkowicie zalesiony, miejscami w obniżeniach wykorzystywany rolniczo. Obniżenia odpowiadają obszarom o ciemniejszym tonie. Jasne żyłki układają się zgodnie z linią grzbietów górskich.	+	+	+	+
15.4.3	Góry pasmowe rozczłonkowane równoległymi, rozległymi obniżeniami (dobrze rozwinięty krajobraz pogórski), zbudowane z różnych utworów geologicznych o wydłużonym równoległym przebiegu znajdującym swe odbicie w rzeźbie. Występują tu piaskowce i łupki o różnej odporności (również w połączeniu z marglami) oraz lokalnie łupki pstre. Obniżenia oddzielające pasma w dużym stopniu pokrywają się z przebiegiem warstw o mniejszej odporności i odpowiadają obszarom o bardzo ciemnym tonie. Są to obszary zagospodarowane rolniczo. Z kolei rozległe zalesione powierzchnie, odpowiadające szerokim wierzchołkom, dość wyraźnie pokrywają się z obszarami o bardzo jasnym tonie. W obrębie jednostki dominują gleby brunatne kwaśne oraz brunatne wylugowane wytworzone ze skał osadowych zwartych o spoiwie niewęglanowym (gleby gliniaste, pyłowe i ilaste oraz gliniaste szkieletowe). Jasne żyłki układają się zgodnie z linią grzbietów górskich.	+	+	+	+
16.4.3	Odosobnione wzniesienia górskie o koncentrycznym układzie grzbietów (dobrze rozwinięty krajobraz pogórski), zbudowane z odpornych piaskowców i łupków serii magurskiej otoczonych piaskowcami i łupkami kredowymi oraz łupkami pstryimi. Występują tu gleby brunatne kwaśne oraz brunatne wylugowane wytworzone ze skał osadowych zwartych, o spoiwie niewęglanowym (gleby gliniaste, pyłowe i ilaste oraz gliniaste szkieletowe). Jest to obszar w dużym stopniu zagospodarowany rolniczo (z dużym udziałem złożonych systemów upraw i działek) oraz częściowo zalesiony (w wyższych partiach górskich charakteryzujących się jaśniejszym tonem).	+	+		+

wanie komponentów środowiska na fizjonomię jednostek. Zjawisko to dostrzegalne jest głównie w przypadku jednostek charakteryzujących się strukturą drobnoelementową, obejmujących swym zasięgiem w miarę płaskie obszary kotliny podkarpackiej oraz obniżień i kotlin śródgórskich (2.2.3, 2.2.4, 3.2.3, 3.2.4, 3.2.5). Pewnym wyjątkiem są jednostki typu 4.2.1 oraz 1.1.7, których wygląd związany jest przede wszystkim z formą pokrycia terenu. Sposób użytkowania ziemi odgrywa decydującą rolę również w przypadku typu 3.2.6 oraz niekiedy typu 2.2.3 i 2.2.4 (dla terenów całkowicie zalesionych). Komponentem, który silnie wpływa na charakter obrazu radarowego jest również pokrywa glebowa, w szczególności gleby wytworzone na lessach, utworach lessowatych bądź pyłach. Na obrazie swoje odbicie znalazły także różnice w zasobach wód podziemnych w utworach czwartorzędowych kotliny podkarpackiej. Zasobne w wodę aluwia dolin rzecznych wyróżniły się jaśniejszym tonem.

Zupełnie inaczej przedstawia się sytuacja dla obszarów, gdzie występują duże różnice wysokości. Są to obszary reprezentowane przez jednostki o strukturze średnio i wielkoelementowej. Wpływ ukształtowania terenu na zmienność sygnału jest tu znacznie silniejszy i mocno zakłóca wpływ takich czynników jak stała dielektryczna i szorstkość powierzchni rozpraszającej. Pojawiające się zniekształcenia radiometryczne i geometryczne związane z rzeźbą tego terenu ograniczają bezpośrednio oddziaływanie pokrywy glebowej i pokrycia terenu na rysunek obrazu radarowego. Bardzo wyraźnie są za to miejscami widoczne przejawy litologii i tektoniki podłoża, szczególnie w obrębie jednostek typów: 9.3.2, 9.3.3, 11.3.3, 12.3.3, 13.3.3 15.4.2, 15.4.3, 16.4.3, gdzie obserwuje się istotny wpływ budowy geologicznej na przestrzenną organizację rzeźby tego terenu. Różnorodność rzeźby gór i pogórzy znajduje swój wyraz przede wszystkim w różnorodności i niepowtarzalności tekstury obrazu. Istotne znaczenie ma nie tylko kształt i przestrzenne rozmieszczenie form rzeźby, ale również ich ukierunkowanie względem linii przelotu satelity. Silne zróżnicowanie teksturalne powoduje, że duża liczba wyróżnionych typów HMJP (15 spośród 33) reprezentowana jest tylko przez pojedyncze jednostki. Wśród nich prawie jedną trzecią stanowią jednostki o niepowtarzalnej teksturze. Są to typy: 8.4.4, 11.3.3, 12.3.3, 16.4.3.

Różnice w sposobie zobrazowania obszarów jednorodnych pod względem warunków środowiskowych (z punktu widzenia geologii, rzeźby, gleb i pokrycia terenu) mogą wynikać ze zmiennych warunków wilgotnościowych bądź fazy rozwojowej występujących tam roślin (wpływającej na szorstkość powierzchni roślinnej). Stan kondycyjny traw bądź wilgotność gruntu są to czynniki, które mogły wpłynąć na różnice w zobrazowaniu terenów łąkowych. Różnice te przejawiają się nie tylko w tonie, ale i w strukturze oraz w teksturze obrazu. Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że zdjęcie radarowe zostało wykonane w czasie, który został

poprzedzony kilkunastodniowym okresem całkowicie pozbawionym opadów.

Jak wskazują wyniki obserwacji, o zróżnicowaniu tonalnym niektórych grup jednostek o jednakowej teksturze i strukturze mogły decydować również czynniki pozaśrodowiskowe, związane z technicznymi aspektami pozyskiwania obrazów radarowych. Zaobserwowano pewną zależność pomiędzy bliskością położenia obszaru w stosunku do satelity a mocą sygnału powrotnego. Ton jednostek reprezentujących obszary charakteryzujące się takimi samymi warunkami środowiskowymi (np. tereny zalesione w obrębie kotliny podkarpackiej zaliczone do typu 2.2.3 i 2.2.4) ulega lekkiemu rozjaśnieniu w kierunku wschodnim, a więc w kierunku zbliżania się do linii przelotu satelity. Zależność ta widoczna jest również w przypadku obszarów o bardziej urozmaiconej rzeźbie (np. typy 6.3.2 i 6.3.3).

W obrębie płaskich obszarów kotlin, gdzie na charakter obrazu radarowego bezpośrednio wpływa wiele czynników, występują jednostki, które choć należą do tego samego typu, reprezentują tereny odmienne pod względem przyrodniczym. Identyczny wygląd na obrazie mogą przyjmować zbiorniki wodne, łąki oraz niektóre obiekty związane z działalnością człowieka (np. lotniska) (typ 1.1.7). W podobny do siebie sposób wizualizowane są obszary dolin akumulacji rzecznej, terenów leśnych oraz fragmenty obniżień śródgórskich, gdzie rzeźba, bądź inne czynniki nie zakłócają amorficzności obrazu (typy: 2.2.3, 2.2.4). Pewne podobieństwo zarysowuje się również pomiędzy obrazem terenów pokrytych glebami wytworzonymi na lessach, utworach lessowatych i pyłach, a obrazem terenów z dużym udziałem rozproszonych stref zurbanizowanych i przemysłowych (typ 3.2.3).

Tak więc można powiedzieć, że wyróżnione typy HMJP oddają przestrzenne zróżnicowanie warunków środowiskowych badanego obszaru, ale nie do końca je jednoznacznie klasyfikują. Wiąże się to z faktem, że fizjonomia obrazu radarowego jest kształtowana równocześnie przez wiele czynników, również wynikających ze specyfiki pracy radaru. Należy pamiętać, że promieniowanie mikrofalowe dostarcza informacje zarówno o obiektach powierzchniowych jak i o warstwie podpowierzchniowej. Stąd obszary o odmiennych warunkach przyrodniczych mogą posiadać na obrazie radarowym podobną charakterystykę teksturalno-strukturalno-tonalną. Poza tym należy mieć na uwadze fakt, że zmienne w czasie warunki wilgotnościowe mogą w istotny sposób modyfikować charakter obrazu radarowego.

Przeprowadzona analiza pokazała, że wydzielone jednostki indywidualne stanowią same w sobie obszary w miarę jednorodne pod względem warunków środowiskowych, przy czym w różnym stopniu oddają przestrzenne zróżnicowanie takich komponentów środowiska jak: geologia, rzeźba, gleby i pokrycie terenu. W obrębie w miarę płaskiego obszaru kotliny podkarpackiej dość wyraźnie ukazują one różnice w warstwie glebowej, dostarczają więc nowego rodzaju informacje,

jakich nie można uzyskać na podstawie zdjęć wykonanych w zakresie promieniowania widzialnego. W przypadku niektórych rodzajów gleb obserwuje się bezpośredni ich wpływ na fizjonomię jednostek. Poza tym obecne na zdjęciu radarowym zniekształcenia radiometryczne i geometryczne podkreślają specyfikę i ogromną różnorodność rzeźby gór i pogórzy, choć jednocześnie znacznie redukują bezpośrednio oddziaływanie szaty roślinnej oraz gleb na charakter zobraźowania. Warto również zwrócić uwagę, że obraz radarowy jest źródłem wielu nowych, cennych informacji o przestrzennym rozmieszczeniu struktur geologicznych badanego obszaru.

Porównanie wydzielonych HMJP z podziałem na jednostki fotomorficzne

Podział Polski na jednostki fotomorficzne został opracowany przez J.R. Olędzkiego (1992) w oparciu o analizę barwnych obrazów satelitarnych w skali 1:250 000 wykonanych z pokładu satelitów Landsat-1,-2,-3. Wydzielone jednostki zostały ujęte w trójstopniową hierarchię. Podstawą ich wydzielenia były cechy fotomorficzności obrazu: ton, struktura, tekstura – rozpatrywane jednocześnie.

Według J.R. Olędzkiego analizowany fragment Małopolski znalazł się w obrębie 3 jednostek fotomorficznych I rzędu, 6 – II rzędu oraz 31 – III rzędu. Z powyższych danych wynika, że podział na homogeniczne mikrofalowe jednostki przestrzenne pod względem liczebności jednostek indywidualnych najbardziej zbliżony jest do podziału na jednostki fotomorficzne III rzędu, przy czym jest on znacznie bardziej szczegółowy. Trudności w porównaniu obu wydzieleni wynikają z faktu, że podział na HMJP ma charakter typologiczny, natomiast ten drugi jest regionalizacją.

Liczba indywidualnych jednostek HMJP jest prawie sześciokrotnie większa od liczby jednostek fotomorficznych III rzędu (tab. 8). Średnia powierzchnia

tych pierwszych jest o 83% mniejsza od średniej powierzchni drugich. Mniejsze są również średnie obwody HMJP – o 59%. Jednostki te charakteryzują się za to większym rozczłonkowaniem. Różnica między minimalną i maksymalną powierzchnią HMJP i jednostek fotomorficznych jest zbliżona. Należy zauważyć jednak, że w przypadku podziału fotomorficznego wszystkie obszary o najmniejszych polach stanowią część większych jednostek i oddzielone zostały od nich granicą zasięgu badanego terenu

Zgodność granic jednostek fotomorficznych III rzędu i HMJP nie jest zbyt duża. Często jednak charakteryzują się one zbliżonym przebiegiem bądź podobnym przestrzennym ukierunkowaniem. Równoległe przesunięcia granic widoczne są zarówno na obszarze kotliny podkarpackiej jak i na obszarze gór i pogórzy. Największą zgodność przebiegu granic jednostek obu podziałów obserwuje się wzdłuż linii wyraźnych krawędzi morfologicznych. W niektórych przypadkach pokrywają się one na długości wielu dziesiątek kilometrów, nie można więc mówić o ich przypadkowej zbieżności.

Przeprowadzona analiza porównawcza pokazała, że różnice pomiędzy podziałem na homogeniczne mikrofalowe jednostki przestrzenne a podziałem na jednostki fotomorficzne są dość zauważalne. Związane są one między innymi z różnym stopniem przyjętej generalizacji. Wpływ na to mogły mieć przyjęte odmiennie metody postępowania prowadzącego do wyróżnienia jednostek oraz różne skale materiałów badawczych. Różnice między oboma rodzajami wydzieleni, przejawiające się w rozbieżności poprowadzonych granic, wynikają zapewne też z odmiennego charakteru analizowanych zobrażeń. Obraz radarowy dostarcza innego rodzaju informacje o środowisku niż zdjęcie satelitarne wykonane w zakresie promieniowania widzialnego i bliskiej podczerwieni. Innego rodzaju czynniki będą więc decydowały o poprowadzeniu linii rozdzielających dane obszary.

Tabela 8. Porównanie podziału na HMJP z podziałem na jednostki fotomorficzne III rzędu
Comparison of division into HMJP with division into photomorphic units of III order

Cechy <i>Features</i>	HMJP (jednostki indywidualne) <i>(individual units)</i>	Jednostki fotomorficzne <i>Photomorphic units</i>
Liczba jednostek <i>Number of units</i>	179	31
Powierzchnia minimalna [km ²] <i>Minimum area</i>	0,07	30,03
Powierzchnia maksymalna [km ²] <i>Maximum area</i>	869,38	941,18
Średnia powierzchnia [km ²] <i>Mean area</i>	53,41	307,84
Średni obwód [km] <i>Mean circumference</i>	34,55	84,42
Średnia wartość wskaźnika rozczłonkowania <i>Average value of the index of circumference development</i>	1,63	1,47

Zakończenie

Analiza poszczególnych typów HMJP w odniesieniu do różnych komponentów środowiska pokazała, że wpływ tych komponentów na powstanie określonego charakteru obrazu radarowego jest przestrzennie zróżnicowany. Kompleksowy wpływ środowiska najsilniej zaznacza się na obszarach kotlinnych, przy czym spotkać tu można również jednostki, w przypadku których obserwuje się wyraźną dominację jednego komponentu – pokrycia terenu bądź gleb. Zróżnicowanie pokrywy glebowej i form pokrycia terenu widoczne jest na obrazie radarowym tylko w odniesieniu do ich wybranych charakterystyk. W obrębie gór i pogórzy fizjonomia obrazu, a szczególnie bogactwo występujących tekstur, kształtowana jest bezpośrednio przez wszystkie przez rzeźbę terenu. Oczywiście związane jest to ze specyfiką danych radarowych, a dokładnie obecnością zniekształceń radiometrycznych i geometrycznych. Wyraźnie widoczne są tu również przejawy litologii i tektoniki podłoża.

Porównanie przeprowadzonego podziału fragmentu Małopolski na homogeniczne mikrofalowe jednostki przestrzenne z podziałem na jednostki fotomorficzne III rzędu wykazało miejscami duże różnice w przebiegu granic obu wydzielen. Choć częściowo różnice te związane są z różnym stopniem przyjętej generalizacji, o ich zaistnieniu w wielu przypadkach musiały zdecydować inne czynniki wynikające z odmiennego charakteru obu zobrazań, wykonanych w różnych zakresach promieniowania elektromagnetycznego.

Wyróżnione typy HMJP choć dość szczegółowo oddają przestrzenne zróżnicowanie warunków środowiskowych badanego fragmentu Małopolski, choć nie zawsze jednoznacznie je klasyfikują. Jednostki indywidualne odpowiadają jednak obszarom, które charakteryzują się w miarę jednorodnym środowiskiem, różnym od terenów sąsiednich. Można powiedzieć, że odzwierciedlają wpływ określonych powiązań komponentów środowiska na charakter obrazu radarowego badanego terenu. Na podstawie przedstawionych rozważań dodatkowo nasuwa się wniosek, że obrazy radarowe mogą stać się dobrym materiałem do przeprowadzenia bardziej ogólnego podziału o charakterze regionalizacji.

Literatura

- Bednarek R., Prusinkiewicz Z., 1997, *Geografia gleb*, PWN, Warszawa.
- Bielecka E., 1989, *Analiza struktury krajobrazu gór niskich z wykorzystaniem materiałów teledetekcyjnych na przykładzie Beskidu Niskiego*, praca doktorska.
- Ciołkosz A., Bielecka E., 1998, *Powódź w dolinie Odry w 1997 r. w świetle interpretacji zdjęć satelitarnych*, Prace IGIK, XLV, 97.
- Dynowska I., 1999, *Obieg wody*, [w:] *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, L. Starkel (red.), PWN, Warszawa.
- ERDAS Field Guide, 1998, GEOSYSTEMS Polska, Warszawa (przekład z jęz. ang. J. Domański i in.).
- Gilewska S., 1999, *Rzeźba*, [w:] *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, L. Starkel (red.), PWN, Warszawa.
- Gruszczyńska M., 1998, *Zastosowanie zdjęć mikrofalowych z satelitów ERS-1 i ERS-2 do określania wilgotności gleb pod zbożami*, Prace IGIK, XLV, 97.
- Gruszczyńska M., 1999, *Historia i wykorzystanie zdjęć radarowych*, Fotointerpretacja w Geografii, 29, Warszawa.
- Hernik A., 1998, *Analiza porównawcza struktury krajobrazu opracowanej metodą kompleksowej geografii fizycznej i metodą fotomorficzną dla Narwiańskiego Parku Narodowego wraz z otuliną z zastosowaniem SIG*, praca magisterska, Uniwersytet Warszawski, Zakład Geoekologii i Zakład Teledetekcji Środowiska, Warszawa.
- Kondracki J., 2000, *Geografia regionalna Polski*, PWN, Warszawa.
- Lim O.K., Liew S.C., Nakayama M., Kwoh L.K., Lim H., 1999, *Forest Burnt Scars Study using C-band and L-band SAR Imagery*, National University of Singapore.
- Mról M., 1999, *Możliwości zastosowania satelitarnych obrazów ERS-1/2 SAR (PRI i SLC) do kartowania i monitorowania rozwoju wybranych roślin uprawnych*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 9, Olsztyn.
- Olędzki J. R., 1992, *Geograficzne uwarunkowania zróżnicowania obrazu satelitarnego Polski i jego podział na jednostki fotomorficzne*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Peplis R.W., Flynn T.J., 1972, *Spacecraft Photomorphic units and regional analysis*. Southeastern Conference of the Institute of Electrical and Electronic Engineer, University of Tennessee, April 10–12.
- Perski Z., 1999, *Zakres interpretowalności osiadań terenu za pomocą satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR)*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 9, Olsztyn.
- Pietrzak M., 1989, *Problemy i metody badania struktury geokompleksów*, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Seria Geografia, 45.
- Požaryski W., 1974, *Podział obszaru Polski na jednostki tektoniczne*, [w:] *Budowa geologiczna Polski, t. IV, Tektonika*. Inst. Geol., Warszawa.
- Rączka U., 1998, *Metody filtracji obrazów radarowych*, Prace IGIK, XLV, 97.
- Stankiewicz K., 1998, *Metoda przetwarzania mikrofalowych zdjęć satelitarnych terenów o urozmaiconej rzeźbie z wykorzystaniem numerycznego modelu terenu*, Prace IGIK, XLV, 97.
- Stankiewicz K., 1995, *Metody wstępnego przetwarzania mikrofalowych zdjęć satelitarnych ERS-1*, Prace IGIK, XLII, 92.
- Stankiewicz K., 1998, *Przygotowanie obrazów mikrofalowych terenów o urozmaiconej rzeźbie do interpretacji tematycznej*, praca doktorska.
- Starkel L., 1972, *Karpaty Zewnętrzne*, [w:] *Geomorfologia Polski*, M. Klimaszewski (red.), 1, PWN, Warszawa.
- Wołk-Musiał E., 1994, *Strefowość rzeźby Niziny Północnomazowieckiej według danych teledetekcyjnych*, Fotointerpretacja w Geografii, 24, Warszawa.



Mgr Katarzyna Błażejewska jest absolwentką Międzywydziałowych Studiów Ochrony Środowiska Uniwersytetu Warszawskiego. Pracę magisterską wykonała w Zakładzie Teledetekcji Środowiska pod kierunkiem prof. J.R. Olędzkiego. Obecnie pracuje w Wojskowym Ośrodku Geodezji i Teledetekcji. Adres do korespondencji: Zakład Teledetekcji Środowiska UW, Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa; e-mail: leokadiab@poczta.onet.pl