

Szacowanie powierzchni upraw z wykorzystaniem teledetekcji lotniczej i satelitarnej

Assessment of crop area with the use of aerial and satellite remote sensing

Zbigniew BOCHENEK, Andrzej CIÓLKOSZ, Krystyna FILIPIAK

The method of assessing crop area and structure with the use of aerial and satellite images has been prepared at the Remote Sensing and Spatial Information Centre. The method was based on the assumptions established within MARS Programme (Monitoring Agriculture with Remote Sensing), with modifications, which adjusted the technology to the conditions of Polish agriculture. At first part of the works agricultural land in Poland was determined, applying analysis of satellite Landsat Thematic Mapper data. Next, stratification of agricultural land into three categories, characterizing various levels of intensity of production, was performed. Information on valorization of agricultural land, yield figures for the main crops, as well as percentage of arable land within administrative units, were the inputs for constructing stratification index. Stratifica-

tion map was the basis for selecting and locating test areas, distributed over study area according to the rules of mathematical statistics. Field determination of crop structure with the use of aerial photographs was the next stage of the works. Information on crop structure derived from test areas, was next statistically processed, in order to estimate acreage of the main crops at particular voivodships. At final stage of the works accuracy assessment of the prepared method was done and the results of its application were compared with those obtained by the Central Statistical Office. It was concluded, that the prepared method of crop area estimation with the use of aerial and satellite remote sensing can be applied by the Central Statistical Office as a supporting and control tool for the current methods of agricultural census.

Wprowadzenie

Prawidłowa realizacja zadań w zakresie zapewnienia zaopatrzenia rynku wewnętrznego, a także eksportu produktów rolnych wymaga posiadania wiarygodnych informacji o aktualnym areale upraw i prognozowanych plonach. Dlatego corocznie Główny Urząd Statystyczny zbiera potrzebne dane z powierzchni reprezentacyjnych, przeszacowując je na obszar całego kraju. Co kilka lat dane tego typu są zbierane na drodze powszechnego spisu rolnego. Metoda badań reprezentatywnych, a zwłaszcza metoda powszechnego spisu rolnego jest bardzo kosztowna i w dodatku nie w pełni wiarygodna, ze względu na posługiwanie się w niej metodą wywiadów terenowych i szacunków powierzchni upraw nie potwierdzonych kontrolnymi pomiarami.

Urzędy statystyczne krajów Europy Zachodniej od kilku lat do zbierania informacji o powierzchni głów-

nych typów upraw stosują techniki teledetekcji lotniczej i satelitarnej i odpowiedni aparat statystyczny. Pod koniec lat osiemdziesiątych został powołany i zatwierdzony przez Dyrektoriat Generalny Rolnictwa Unii Europejskiej program pod nazwą MARS — *Monitoring Agriculture with Remote Sensing* (monitorowanie rolnictwa za pomocą teledetekcji). Jego celem było opracowanie metod oceny arealu upraw, stanu rozwoju roślin, prognozowania plonów, a także ocena wiarygodności deklaracji składanych przez rolników odnośnie do sposobu użytkowania gruntów za pomocą informacji pozyskiwanych głównie ze zdjęć satelitarnych (Perdigao, 1992a, 1992b, Gallego, 1995). Podobne techniki zbierania informacji o powierzchni i stanie upraw są stosowane od wielu lat w Stanach Zjednoczonych oraz w Kanadzie (FAO, 1996).

W 1992 r. Unia Europejska zdecydowała rozszerzyć program MARS na kraje Europy Środkowej i Wschodniej. W 1995 roku w ramach programu PHARE został

wykonany w Polsce projekt pilotowy, którego celem było wypróbowanie technologii opracowanej w programie MARS do oceny powierzchni i struktury upraw w Polsce. Projektem pilotowym objęto obszar pięciu województw centralnej Polski (Bochenek i in. 1996, 1997). Wyniki tego projektu były na tyle obiecujące, że skłoniły do podjęcia prac badawczych w ramach projektu celowego, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych, których celem była adaptacja technologii stosowanej w programie MARS do specyficznych warunków polskiego rolnictwa. Prace metodyczne przeprowadzono dla obszaru całej Polski, zaś opracowaną metodykę szacowania powierzchni upraw zastosowano w 1998 roku dla 21 województw reprezentatywnych dla terenów rolniczych kraju. W kolejnych rozdziałach są przedstawione poszczególne etapy tworzenia metodyki szacowania powierzchni upraw z wykorzystaniem zdjęć lotniczych i satelitarnych oraz wyniki jej praktycznego wykorzystania.

Metodyka prac

Wyznaczenie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce

Pierwszym etapem tworzenia metodyki szacowania powierzchni upraw z wykorzystaniem teledetekcji lotniczej i satelitarnej było wyznaczenie rolniczej przestrzeni produkcyjnej dla obszaru całego kraju. Do tego celu wykorzystano szczegółową mapę pokrycia terenu opracowaną na podstawie wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych Landsat Thematic Mapper. Mapa ta zawiera 34 formy pokrycia terenu wyróżnione z dokładnością powierzchniową 25 ha. Wśród tych form jest pięć kategorii reprezentujących użytki rolne. Wykorzystując bazę danych systemu informacji geograficznej, w którym zgromadzono informacje na temat pokrycia terenu w Polsce, a także informacje o podziale administracyjnym kraju, dokonano agregacji wszystkich kategorii wyróżnionych w ramach użytków rolnych, określając w ten sposób ogólną powierzchnię użytków rolnych w poszczególnych gminach. Mapa przedstawiająca rozkład obszarów rolniczych na terenie całego kraju stanowiła podstawę do przeprowadzenia drugiego etapu prac — podziału rolniczej przestrzeni produkcyjnej na strefy charakteryzujące się różnym poziomem intensywności produkcji rolnej.

Opracowanie metody stratyfikacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej

Wyznaczenie stref charakteryzujących się różnym poziomem intensywności produkcji rolnej jest kluczowym zadaniem w procesie tworzenia metodyki szacowania powierzchni i struktury upraw. Od efektywności stratyfikacji obszarów rolniczych zależy bowiem dokładność określenia podstawowych parametrów charakteryzujących produkcję rolną w skali kraju lub regionu.

W niniejszej pracy wykonano stratyfikację rolniczej przestrzeni produkcyjnej według trzech wskaźników analitycznych, a mianowicie według wskaźnika procen-

towego udziału użytków rolnych, wskaźnika jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej oraz wskaźnika średniej wielkości plonów.

Wskaźnik procentowego udziału użytków rolnych

Najczęściej stosowaną metodą stratyfikacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej jest metoda bazująca na wielkości wskaźnika procentowego udziału użytków rolnych w ogólnej powierzchni poszczególnych jednostek administracyjnych. W niniejszej pracy wykorzystano wskaźnik udziału użytków rolnych w gminach obliczony na podstawie informacji zawartych w warstwach tematycznych „użytkowanie ziemi” oraz „podział administracyjny kraju” bazy danych przestrzennych, założonej dla obszaru całej Polski. Obliczenia tego dokonano poprzez przecięcie obu warstw tematycznych. W wyniku tej operacji utworzono tabele wskaźnika udziału użytków rolnych w ogólnej powierzchni poszczególnych gmin. Wskaźnik ten zmienia się w granicach od 0% w przypadku niektórych gmin miejskich do 99% dla niektórych typowo rolniczych gmin.

Wskaźnik jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej

Wskaźnik jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej został określony dla poszczególnych gmin na podstawie mapy glebowo-rolniczej. Mapę tę opracowano w Instytucie Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) w Puławach w wyniku waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej przeprowadzonej na obszarze całej Polski. Waloryzacja, wyrażająca ocenę przyrodniczych warunków produkcji rolnej, została wykonana na podstawie liczbowego scharakteryzowania czterech parametrów, wpływających na jakość obszarów rolniczych, a mianowicie: gleby, agroklimatu, warunków wodnych oraz rzeźby terenu, a następnie zsumowania punktacji charakteryzującej wpływ tych parametrów na przyrodnicze warunki produkcji rolnej.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń wyznaczono dla wszystkich podstawowych jednostek podziału administracyjnego (gmin) wartości wskaźnika jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Wartości te zawierają się w przedziale od 31 punktów dla niektórych gmin woj. nowosądeckiego (Zakopane, Poronin) do około 108 punktów (w skali do 123 punktów) dla gmin województwa wrocławskiego (Żórawica, Domaniów).

Wskaźnik wielkości plonów głównych ziemioplodów

Wskaźnik wielkości plonów głównych ziemioplodów został obliczony na podstawie danych dostarczonych przez Główny Urząd Statystyczny. Były to dane przedstawiające plony czterech zbóż i mieszanek zbożowych w latach 1989–1991 i 1993–1995. W niniejszej pracy przyjęto, że średnie plony zbóż i mieszanek zbożowych będą stanowić reprezentatywne wielkości plonów głównych ziemioplodów w procesie tworzenia mapy stratyfikacji intensywności produkcji rolnej. Wyznaczono za-

tem wartości średnie plonów z okresu 6 lat (1989–1995) dla wszystkich gmin na obszarze Polski. Wartości te zmieniają się w granicach od 14–15 dt/ha dla niektórych gmin województwa krośnieńskiego (Cisna) i nowosądeckiego (Zakopane, Poronin) do 46–48 dt/ha dla niektórych gmin województwa gdańskiego (Suchy Dąb, Cedry) i szczecińskiego (Warnice).

Wskaźnik syntetyczny

Rolniczą przestrzeń produkcyjną poddano stratyfikacji, stosując niezależnie każdy z uzyskanych wskaźników, a mianowicie:

- wskaźnik udziału użytków rolnych w powierzchni gminy,
- wskaźnik jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej,
- wskaźnik wielkości średnich plonów głównych ziemiopłodów.

Ponieważ wyniki poszczególnych stratyfikacji różniły się między sobą, postanowiono opracować metodę wyznaczenia jednego, syntetycznego wskaźnika, uwzględniającego wszystkie wyżej wymienione wskaźniki. Ten syntetyczny wskaźnik skonstruowano stosując metodę analizy czynnikowej.

Analiza czynnikowa jest metodą analizy struktury zależności cech poprzez badanie związku między cechami i mniejszą liczbą zmiennych, tzw. czynników. Metoda ta zakłada, że w zespole p cech X_1, X_2, \dots, X_p są ukryte pewne czynniki będące źródłem wspólnej, tkwiącej w nich informacji, a ich wykrycie, prowadzące również do redukcji zmiennych, jest celem analizy czynnikowej. Przyjmuje się, że między cechami X_i i czynnikami F_j zachodzą następujące związki:

$$X_1 = a_{11}F_1 + a_{12}F_2 + h + a_{1q}F_p + b_1U_1$$

$$X_2 = a_{21}F_1 + a_{22}F_2 + h + a_{2q}F_p + b_2U_2$$

$$X_p = a_{p1}F_1 + a_{p2}F_2 + h + a_{pq}F_q + b_pU_p$$

Współczynniki a_{ij} noszą nazwę ładunków czynników F_j w cechach X_i , a zmienne U_j są składnikami specyficznymi (czynnikami swoistymi) każdej zmiennej X_i . Dodatkowo przyjmuje się, że liczba czynników wspólnych jest mniejsza od liczby cech, a czynniki specyficzne są wzajemnie nieskorelowane i nie korelują z czynnikami wspólnymi, również wzajemnie nieskorelowanymi.

Analiza czynnikowa polega więc na podziale wariancji całkowitej na dwie części: wariancję wspólną i wariancję specyficzną, przy czym kowariancję między zmiennymi generują czynniki wspólne, a czynniki swoiste wyjaśniają wariancję właściwą tylko jednej, określonej zmiennej. Ładunek czynnika F_j w cesze X_i jest współczynnikiem korelacji między nimi. Część wariancji zmiennej X_i równa $a_{i1}^2 + h + a_{iq}^2$ nazywana jest wariancją wspólną zmiennej X_i , a współczynnik b_1^2 — wariancją specyficzną X_i . Jeśli wariancja wspólna jest niewielka, tzn. bliska zeru, wówczas zmienność wartości cechy w małym stopniu objaśniają czynniki wspólne, natomiast cecha taka ma dużą wariancję specyficzną.

Czynnik F_1 zawiera największy ładunek informacji

wnoszonej przez wszystkie cechy, tzn. charakteryzuje się największą wartością własną (wariancja czynnika), a kolejne czynniki F_2, F_3 zawierają odpowiednio mniejsze ładunki informacji. Wariancje tych czynników mogą być tak małe, że można je pominąć i zastąpić pierwotny zbiór cech mniejszą liczbą czynników. Przy redukcji czynników najczęściej za istotne uważa się te, których wariancja (wartość własna) jest większa od jedności lub takiej, dla których suma wariancji względem wariancji łącznej wszystkich czynników jest dostatecznie duża, np. > 66%. Wariancja poszczególnych czynników w stosunku do łącznej wariancji wszystkich czynników określa, w jakim procencie zmienność czynników wyjaśnia zmienność zbioru pierwotnych liczb.

W analizie czynnikowej właściwe jest rozwiązanie, w którym dana cecha maksymalnie koreluje z pozostałymi. Rozwiązanie takie otrzymuje się dokonując rotacji układu czynników. Istnieją różne metody rotacji, wśród których najczęściej stosowaną jest metoda Varimax. Celem tej metody jest przekształcenie macierzy ładunków w macierz zbliżoną do macierzy ładunków struktury prostej, czyli takiej, w której cecha jest skorelowana tylko z jednym czynnikiem, co ułatwia interpretację współzależności między cechami w przypadku grup skorelowanych cech. Rotacja metodą Varimax nie zmienia zasobów zmienności wspólnej i wariancji specyficznych cech.

Interpretacji struktury zależności między cechami dokonuje się na podstawie macierzy ładunków po rotacji. Dla każdego czynnika osobno analizuje się ładunki o wartości bezwzględnej większej od przyjętej wartości progowej (najczęściej 0,6). Na podstawie ładunków wyznacza się cechy najsilniej skorelowane z danym czynnikiem, a w mniejszym stopniu z innymi i określa grupę cech, o wartościach których decyduje dany czynnik wspólny. Analizując specyfikę wybranych cech poszukuje się interpretacji empirycznej czynnika, który traktuje się jako zagregowaną zmienną tych cech. Wybierając cechy z największymi ładunkami dla ustalonej, znaczącej liczby czynników otrzymuje się najbardziej reprezentatywny zespół cech, zawierający najważniejsze informacje o całym badanym zbiorze cech pierwotnych.

Często podkreśla się, że model analizy czynnikowej wykazuje wyraźne podobieństwo do równań regresji wielokrotnej. Czynniki odpowiadają zmiennym niezależnym w regresji, ładunki czynnikowe — współczynnikiem regresji, wariancja specyficzna — resztom, a zasób zmienności wspólnej — współczynnikiem determinacji. Jednak cele poznawcze i wykorzystanie modeli są różne. W analizie regresji współczynniki określają udział każdej zmiennej niezależnej w dopasowaniu modelu, natomiast w analizie czynnikowej ładunki identyfikują liczbę i strukturę nieznaną czynników.

Obliczenia analizy czynnikowej wykonano dla każdej jednostki administracyjnej. W wyniku obliczeń utworzono tabele wskaźnika syntetycznego dla wszystkich gmin na obszarze Polski. Wskaźnik ten zmienia się w granicach od -11,0 dla niektórych gmin miejskich do około +6,0 dla gmin województwa opolskiego (Baborów) i szczecińskiego (Warnice).

Tabela wartości wskaźnika syntetycznego jest podstawowym materiałem liczbowym do utworzenia mapy stratyfikacji intensywności produkcji rolnej na obszarze całego kraju. Mapa taka powstała w wyniku przypisania wartości wskaźnika syntetycznego odpowiednim obszarom, reprezentującym użytki rolne w granicach poszczególnych gmin. Z uwagi na dalszy proces technologiczny, zakładający niezależny wybór pól testowych do prac terenowych, postanowiono przyjąć założenie przygotowywania map stratyfikacyjnych poszczególnych województw. Mapa taka jest tworzona za pomocą oprogramowania ArcView poprzez przecięcie warstwy użytkowania ziemi oraz warstwy podziału administracyjnego według gmin, zakodowanego wartościami wskaźnika syntetycznego charakteryzującego intensywność rolnictwa. Przedział zmienności wskaźnika został podzielony na trzy klasy, reprezentujące trzy warstwy intensywności produkcji rolnej.

Wartości graniczne dla tych klas wyznaczono posługując się wartościami mediany oraz dolnego i górnego kwartyla dla badanego zbioru danych (dla całej Polski). Warstwę pierwszą (o najwyższym wskaźniku) stanowią gminy o wartościach powyżej górnego kwartyla, warstwę drugą gminy o wartościach pomiędzy górnym i dolnym kwartylem, zaś warstwę trzecią gminy poniżej dolnego kwartyla. Zastosowanie do podziału zbioru zasady kwartyli umożliwi wykonanie tzw. podziału zrównoważonego, tzn. zawierającego w pierwszej i trzeciej warstwie po około 25% populacji, zaś w warstwie drugiej ok. 50% populacji.

Stosując wyżej opisaną metodę tworzenia mapy stratyfikacyjnej opracowano mapy województw przedstawiające rozmieszczenie stref (warstw) intensywności produkcji rolnej na podkładzie mapy użytkowania ziemi. Przykładową mapę dla województwa wrocławskiego przedstawiono na rycinie 1. Mapy te były podstawą do realizacji następnego etapu prac — dokonania wyboru obszarów testowych (segmentów).

Opracowanie sposobu doboru obszarów testowych — segmentów

W założeniach metodyki szacowania powierzchni upraw z wykorzystaniem zdjęć lotniczych i satelitarnych przyjęto, że najmniejszą jednostką administracyjną, do której będą odnoszone wyniki szacunku struktury i powierzchni upraw będzie województwo. Zatem w celu wyboru obszarów testowych-segmentów postanowiono dla każdego województwa założyć niezależną sieć odniesień przestrzennych.

Do szacowania powierzchni zasiewów najwygodniej jest przyjąć segmenty regularne (kwadratowe) o boku 1 km. Wówczas powierzchnię takiego segmentu równą 1 km² można łatwo zlokalizować na mapach topograficznych w skali 1:100 000 z naniesioną kilometrową siatką współrzędnych. Segmenty te stanowią podstawowe obszary testowe analizowane w badaniach terenowych. Wybór kształtu segmentu w formie kwadratu został podyktowany niezależnością od granic pól i gospo-

darstw, możliwością pełnego pokrycia badanego terenu, a także łatwością lokalizacji segmentów na mapach topograficznych oraz uproszczeniem procedury losowania. Takie założenie pozwoliło wykorzystać siatkę kilometrową istniejącą na mapach topograficznych wykonanych w skali 1:100 000 w układzie „1942”.

Dla każdego województwa, którego powierzchnia leży całkowicie w jednej ze stref odwzorowawczych układu „1942”, założono niezależny układ sieci kwadratów, tak aby granice danego województwa zostały wpisane w ramkę układu. W przypadku pięciu województw, zlokalizowanych wzdłuż południka 18^o, a więc południka dzielącego obszar Polski na dwie strefy odwzorowawcze, układ kwadratów przeliczono do tej strefy, w której leży większa część województwa.

Tak przygotowany układ kwadratów został nałożony na mapę stratyfikacyjną poszczególnych województw. Ponieważ granice województw przecinają kwadraty, za pomocą specjalnego programu określano udział powierzchni województwa w danym kwadracie i w przypadku udziału większego od 50% rozpatrywany kwadrat był zaliczany do danego województwa, jeśli natomiast udział był mniejszy niż 50%, zaliczano go do województwa sąsiedniego.

Po przecięciu sieci kwadratów z mapą stratyfikacyjną obrazującą intensywność produkcji rolnej, przystąpiono do numerowania kwadratów leżących w obrębie jednej z trzech warstw intensywności przynajmniej w 51%. Po zakończeniu numerowania i zliczeniu wszystkich kwadratów, spełniających wymienione kryterium, powstały trzy zbiory liczb charakteryzujących liczebność kwadratów „czysto rolniczych” w obrębie każdej z trzech warstw o różnym stopniu intensywności produkcji rolnej.

Następnym etapem prac było losowanie próby w obrębie każdej warstwy. Założono, że wielkość próby powinna obejmować 1% badanej populacji, złożonej z kwadratowych segmentów, o różnej częstości próbkowania w poszczególnych warstwach. Najwyższą częstość próbkowania przyjęto dla warstwy o największej intensywności produkcji rolnej, zaś najniższą dla warstwy obejmującej rejony z ekstensywną produkcją rolną. Częstość próbkowania w warstwie pierwszej wyniosła 1,5%, w warstwie drugiej — 1% i w warstwie trzeciej — 0,5%.

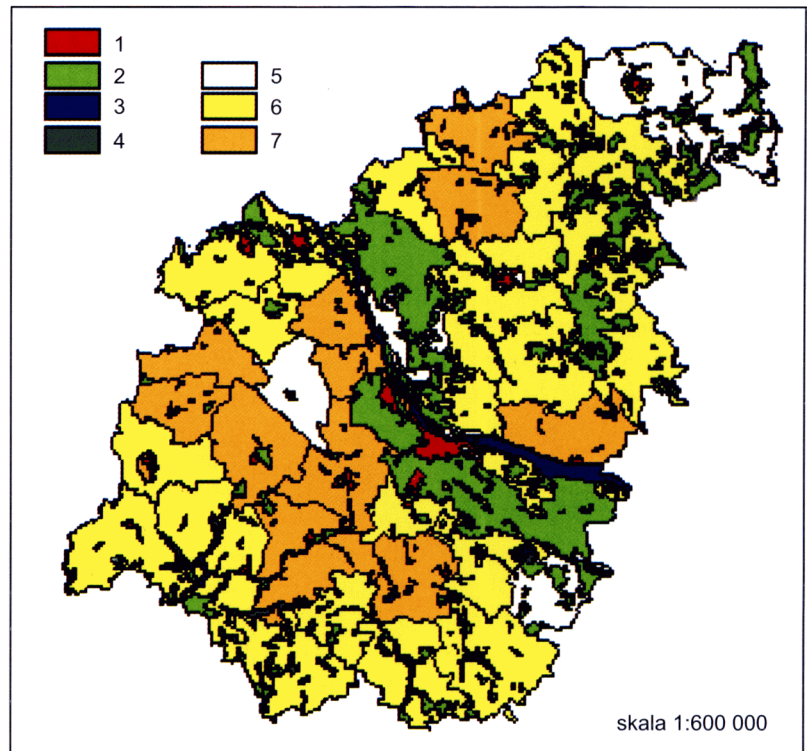
Losowanie przeprowadzono wykorzystując specjalnie opracowany program generowania liczb losowych. W wyniku losowania wybrano łącznie 2267 segmentów o powierzchni 1 km² każdy. Liczba segmentów w poszczególnych województwach wahała się w zależności od powierzchni i jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej od 11 w przypadku województwa łódzkiego do 82 dla województwa olsztyńskiego.

Opracowanie metody określania powierzchni upraw na obszarach testowych

Kolejnym etapem prac nad utworzeniem technologii szacowania struktury upraw z wykorzystaniem teledy-

Ryc. 1. Mapa stratyfikacji użytków rolnych województwa wrocławskiego: 1 — zabudowa, 2 — lasy, 3 — wody, 4 — tereny podmokłe; użytki rolne (wskaźnik intensywności rolnictwa): 5 — -3,023 — -1,405, 6 — -1,405 — 1,318, 7 — 1,318—2,53

Fig. 1. Stratification map of agricultural land of Wrocławskie voivodship: 1 — built-up areas, 2 — forests, 3 — water, 4 — marshland; Agricultural land (index of production intensity): 5 — -3.023 — -1.405, 6 — -1.405—1.318, 7 — 1.318—2.53



tekcji było określenie sposobu pozyskiwania informacji o tej strukturze na obszarach testowych i metod przetwarzania niezbędnych do określenia powierzchni upraw. W niniejszej technologii przyjęto założenie, że dane o strukturze upraw w ramach segmentów zostaną uzyskane w wyniku terenowego uczytelnienia zdjęć lotniczych tych segmentów. Do prac wykorzystano zdjęcia lotnicze w skali 1:26 000, powiększone dla wybranych obszarów testowych do skali 1:5000. Zdjęcia te z naniesionymi granicami segmentów wraz z materiałami pomocniczymi (legenda, instrukcje, mapy topograficzne z zaznaczoną lokalizacją segmentów) zostały dostarczone specjalnie przygotowanym ankietnikom, którzy przeprowadzili w terenie rozpoznanie upraw w granicach segmentów w wybranych 21 województwach. W wyniku prac terenowych dla wszystkich segmentów zostały sporządzone nakładki interpretacyjne na zdjęcia lotnicze, na których zaznaczono granice poszczególnych pól w ramach segmentów oraz umieszczono kody występujących na tych polach upraw. Przetworzenie danych zawartych na nakładkach interpretacyjnych wymaga ich zamiany na postać cyfrową poprzez skanowanie. W procesie skanowania zastosowano oprogramowanie o nazwie TTS+, opracowane przez Instytut Zastosowań Teledetekcji JRC w Isprze (Włochy) w ramach międzynarodowego programu monitorowania teledetekcji — MARS. Oprogramowanie to zapewnia szybkie, dokładne skanowanie nakładek interpretacyjnych na materiale przezroczystym oraz umożliwia obliczanie powierzchni w granicach poszczególnych pól i ich kodowanie za pomocą odpowiednich symboli. Efektywność skanowania jest uzależniona od jakości materiałów wyjściowych; program TTS+ zapewnia poprawę jakości tych materiałów poprzez stosowanie procedur umożliwiających wzmoc-

nienie i uzupełnienie treści oryginalnych nakładek interpretacyjnych. Czas obliczenia powierzchni upraw w granicach segmentu zależy także od struktury agrarnej rolnictwa na analizowanym obszarze. Liczba pól występujących w ramach segmentu o powierzchni 1 km² może wahać się od kilku (w przypadku dużych gospodarstw rolnych) do około 300 na obszarach o dużym rozdrobieniu działek rolnych. Końcowym wynikiem wykorzystania oprogramowania TTS+ jest wykaz powierzchni poszczególnych pól występujących w granicach obszaru testowego wraz z towarzyszącymi im kodami upraw.

Metoda szacowania powierzchni upraw w granicach województw

Do oszacowania powierzchni poszczególnych typów upraw na obszarze województw zastosowano metodę statystyczną umożliwiającą ekstrapolację informacji o powierzchni tych upraw, wyznaczoną w ramach segmentów. W tym celu wykorzystano pakiet oprogramowania AIS-STIM, opracowany przez Instytut Zastosowań Teledetekcji JRC w Isprze (Włochy) w ramach programu MARS. Pakiet ten składa się z trzech programów:

TTS-CONV — program zamiany formatu danych utworzonych w wyniku wykorzystania oprogramowania TTS+;

STRAMAN — program tworzący zbiór niezbędny do oszacowania powierzchni upraw z wykorzystaniem stratyfikacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej;

AREAESTP — program do szacowania powierzchni upraw w ramach danej jednostki administracyjnej (np. województwa).

Wymienione powyżej oprogramowanie do wyznacza-

nia powierzchni upraw w granicach województw umożliwia jednocześnie określenie dokładności szacowania powierzchni oraz efektywności stratyfikacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Dokładność wyznaczenia powierzchni poszczególnych typów upraw charakteryzuje odchylenie standardowe i współczynnik zmienności, zaś jakość stratyfikacji współczynnik efektywności, wyrażający wpływ warstwowania obszarów rolniczych na podniesienie wiarygodności określania powierzchni upraw. Współczynnik zmienności jest najczęściej stosowaną charakterystyką statystyczną szacowanego parametru i określa zmienność wyników wyrażoną w procentach średniej. Niska wartość tego współczynnika świadczy o precyzyjnym wyznaczeniu estymatora. Współczynnik efektywności stratyfikacji charakteryzuje natomiast skuteczność zastosowania podziału obszarów rolniczych na warstwy o różnej intensywności produkcji rolnej do szacowania powierzchni upraw. Wartość tego współczynnika mniejsza od jedności wskazuje na potrzebę większej liczebności próby, informując jednocześnie, iż zastosowanie stratyfikacji nie zwiększa precyzji oszacowania w porównaniu z losowym wyborem segmentów bez wykorzystania mapy stratyfikacyjnej. Gdy współczynnik stratyfikacji jest większy od jedności, wykazuje on zasadność zastosowania stratyfikacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej.

Wyniki oszacowania powierzchni upraw z wykorzystaniem opracowanej metodyki

Opracowana metodyka została wykorzystana do oszacowania powierzchni głównych typów upraw w sezonie wegetacyjnym 1998 r. W wyniku konsultacji z Departamentem Rolnictwa i Ochrony Środowiska Głównego Urzędu Statystycznego postanowiono przetestować zaproponowaną metodykę na obszarze obejmującym około 50% powierzchni użytków rolnych w kraju. Uwzględniając stopień regionalnego zróżnicowania rozdrobnienia działek rolnych do przeprowadzenia szacunku powierzchni upraw wytypowano 21 województw, reprezentujących najważniejsze z punktu widzenia produkcji rolniczej obszary kraju. Były to następujące województwa: bielskie, bydgoskie, ciechanowskie, elbląskie, gdańskie, kaliskie, kieleckie, konińskie, koszalińskie, leszczyńskie, olsztyńskie, opolskie, ostrołęckie, płockie, poznańskie, siedleckie, śląskie, suwalskie, szczecińskie, toruńskie, wrocławskie.

Zgodnie z założeniami opracowanej metodyki do prac terenowych wybrano 1125 segmentów, rozmieszczonych w trzech strefach reprezentujących różne stopnie intensywności produkcji rolnej. Liczba segmentów w poszczególnych województwach wahała się, w zależności od wielkości województwa i jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej, od 19 (woj. bielskie) do 82 (woj. opolskie i olsztyńskie).

W fazie prac wstępnych przygotowano materiały niezbędne do wykonania terenowego uczytelnienia struktury upraw: zdjęcia lotnicze wybranych segmentów w skali 1:5000, mapy topograficzne w skali 1:100 000,

kalki do nanoszenia treści uczytelnianych zdjęć i instrukcje do wykonywania prac terenowych. Ten zespół materiałów został przekazany pracownikom regionalnych oddziałów Głównego Urzędu Statystycznego, odpowiedzialnych za realizację prac terenowych. W drugiej połowie czerwca i pierwszej połowie lipca 1998 roku we wszystkich wybranych województwach przeprowadzono terenowe uczytelnienie struktury upraw.

Wyniki prac terenowych w postaci nakładek interpretacyjnych z uczytelnioną strukturą upraw zostały przekazane do Instytutu Geodezji i Kartografii. W Instytucie przeprowadzono dalsze prace zmierzające do oszacowania powierzchni głównych typów upraw w granicach poszczególnych województw, z wykorzystaniem uprzednio opisanego metodyki. W wyniku tych prac sporządzono tabele wyników, zawierające oszacowane powierzchnie uprawy głównych ziemiopłodów, wraz z informacją o błędach tych szacunków (odchylenie standardowe i współczynnik zmienności) oraz współczynniki efektywności stratyfikacji obszarów rolniczych.

Współczynniki zmienności poszczególnych upraw wahają się w zależności od reprezentatywności próby dla danej uprawy, związanej z charakterem rolnictwa w określonym regionie kraju. W przypadku powszechnie uprawianych gatunków roślin współczynnik ten oscyluje w pobliżu 10%, zwiększając swoją wartość dla województw o mniej reprezentatywnych próbach. Im większy areal uprawy w granicach segmentów danego województwa, tym wyższa precyzja oszacowania powierzchni tej uprawy, mierzona wartością współczynnika zmienności.

Wartości współczynnika efektywności stratyfikacji zmieniają się znacznie w zależności od typu uprawy oraz województwa. W przypadku upraw wymagających przestrzeni rolniczej charakteryzującej się wysoką jakością (pszenica, buraki cukrowe) omawiane współczynniki wykazują dla większości województw zasadność stratyfikacji. Natomiast dla upraw mniej wymagających dobrych warunków glebowo-rolniczych (żyto, ziemniaki) wartości współczynników stratyfikacji wahały się w okolicach jedności, wykazując niewielką skuteczność stratyfikacji. Występuje także generalne zróżnicowanie efektywności stratyfikacji w aspekcie regionalnym — średni współczynnik efektywności (dla 10 głównych typów upraw) zmienia się w granicach od 0,91 (dla woj. koszalińskiego) do 1,47 (dla woj. bielskiego). Daje to informację, że w niektórych regionach kraju rolnicy w większym stopniu dostosowują produkcję roślinną do potencjalnych warunków środowiska rolniczego, podczas gdy w innych regionach warunki te nie mają istotnego wpływu na decyzje o strukturze upraw.

W finalnej fazie prac dokonano porównania wyników oszacowania powierzchni upraw z wykorzystaniem zdjęć lotniczych i satelitarnych z wynikami uzyskanymi przez Główny Urząd Statystyczny. Zestawienie tych wyników łącznie dla 21 województw przedstawia tabela 1.

Wyniki zawarte w powyższej tabeli wykazują zbliżone (10%) wartości oszacowania powierzchni roślin zbożowych oraz buraków cukrowych. Większe różnice wys-

Tabela 1.

Zestawienie powierzchni upraw łącznie dla 21 województw
List of crop area for 21 voivodships (in total)

Typ uprawy Crop type	Powierzchnia wg IGiK (tys. ha) Crop area IGiK (thous. ha)	Powierzchnia wg GUS (tys. ha) Crop area GUS (thous. ha)	Różnica (%) Difference (%)
Pszenica <i>Wheat</i>	1198,1	1320,3	9,25
Jęczmień <i>Barley</i>	621,9	645,0	3,58
Żyto <i>Rye</i>	1161,2	1253,2	7,34
Inne zboża <i>Other cereals</i>	1333,9	1379,6	3,31
Kukurydza <i>Corn</i>	153,3	125,6	22,05
Pastewne strączkowe <i>Beans</i>	113,0	131,4	14,00
Ziemniaki <i>Potatoes</i>	436,0	549,6	20,66
Buraki cukrowe <i>Sugar beets</i>	232,6	242,4	4,04
Rzepak <i>Rapeseeds</i>	354,4	301,0	17,74
Łąki i pastwiska <i>Grasslands</i>	1695,8	1896,0	10,56

Tabela 2.

Zestawienie powierzchni upraw dla województw z przewagą gospodarstw wielkoobszarowych
List of crop area for voivodships with the prevailing large farms

Typ uprawy Crop type	Powierzchnia wg IGiK (tys. ha) Crop area IGiK (thous. ha)	Powierzchnia wg GUS (tys. ha) Crop area GUS (thous. ha)	Różnica (%) Difference (%)
Pszenica <i>Wheat</i>	726,6	813,8	10,72
Jęczmień <i>Barley</i>	386,4	393,7	1,85
Żyto <i>Rye</i>	473,9	515,1	8,00
Inne zboża <i>Other cereals</i>	593,1	633,2	6,33
Kukurydza <i>Corn</i>	85,6	74,4	15,05
Pastewne strączkowe <i>Beans</i>	62,4	79,6	21,61
Ziemniaki <i>Potatoes</i>	141,4	182,6	22,56
Buraki cukrowe <i>Sugar beets</i>	110,4	116,0	4,82
Rzepak <i>Rapeseeds</i>	288,8	245,7	17,54
Łąki i pastwiska <i>Grasslands</i>	804,6	1012,5	20,53

Tabela 3.

Zestawienie powierzchni upraw dla województw z przewagą gospodarstw drobnotowarowych
List of crop area for voivodships with prevailing small farms

Typ uprawy Crop type	Powierzchnia wg IGiK (tys. ha) Crop area IGiK (thous. ha)	Powierzchnia wg GUS (tys. ha) Crop area GUS (thous. ha)	Różnica (%) Difference (%)
Pszenica <i>Wheat</i>	471,5	506,5	6,91
Jęczmień <i>Barley</i>	235,5	251,2	6,65
Żyto <i>Rye</i>	687,3	738,2	6,90
Inne zboża <i>Other cereals</i>	740,7	746,4	0,76
Kukurydza <i>Corn</i>	67,7	51,2	32,22
Pastewne strączkowe <i>Beans</i>	50,6	51,7	2,13
Ziemniaki <i>Potatoes</i>	294,6	367,0	19,72
Buraki cukrowe <i>Sugar beets</i>	122,2	126,4	3,32
Rzepak <i>Rapeseeds</i>	65,5	55,3	18,62
Łąki i pastwiska <i>Grasslands</i>	891,2	883,5	0,87

tepują w przypadku ziemniaków, kukurydzy i rzepaku. Aby stwierdzić, czy przestrzenna struktura zasiewów wywiera wpływ na dokładność szacunku powierzchni upraw, sporządzono zestawienia powierzchni oddzielnie dla województw z przewagą gospodarstw wielkoobszarowych oraz z przewagą gospodarstw drobnotowarowych. Porównanie wyników przedstawiono w tabelach 2 i 3.

Porównanie wyników zawartych w tabelach 2 i 3 wykazuje, iż dla województw z przewagą gospodarstw drobnotowarowych można dokonać nieco bardziej dokładnego oszacowania powierzchni głównych typów upraw. W przypadku zbóż łącznie, różnica w szacunku wynosi 4,78% (w porównaniu z 7,46% dla województw

z przewagą gospodarstw wielkoobszarowych). Lepszą zbieżność wyników osiąga się także dla buraków cukrowych, roślin strączkowych, łąk i pastwisk. Wynika to z bardziej reprezentatywnej próby stosowanej do szacowania powierzchni upraw w przypadku obszarów rolniczych o rozdrobnionej strukturze agrarnej.

Podsumowanie

W wyniku prac przeprowadzonych w Ośrodku Teledetekcji i Informacji Przestrzennej IGiK opracowano i praktycznie sprawdzono metodykę szacowania powierzchni upraw w Polsce z wykorzystaniem teledetek-

cji lotniczej i satelitarnej. W trakcie prac badawczych przeanalizowano różne metody stratyfikacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej w celu utworzenia syntetycznego wskaźnika, charakteryzującego kompleksowo intensywność produkcji rolnej. Zaadaptowano także do warunków polskich metodykę estymacji powierzchni upraw na podstawie segmentów rozmieszczonych na obszarze województwa. Opracowaną technologię zastosowano do oszacowania powierzchni upraw na obszarze około 40% kraju, dokonując oceny dokładności szacunku dla poszczególnych typów upraw oraz oceny efektywności stratyfikacji. Przeprowadzono także analizę wyników w zestawieniu z rezultatami otrzymanymi metodami tradycyjnymi przez Główny Urząd Statystyczny (GUS, 1992). Uzyskane efekty prac świadczą, iż metoda szacowania powierzchni upraw z wykorzystaniem zdjęć lotniczych i satelitarnych mogłaby stać się operacyjnym narzędziem wspierającym działania służb statystycznych zbierających informacje o powierzchni głównych typów upraw w skali kraju lub regionu.



Dr inż. Zbigniew Bochenek jest absolwentem Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej. W 1980 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w zakresie geodezji i kartografii — specjalność teledetekcja w Instytucie Geodezji i Kartografii. Jest długoletnim pracownikiem Ośrodka Teledetekcji i Informacji Przestrzennej IGiK. Zajmuje się wykorzystaniem zdjęć satelitarnych i lotniczych w rolnictwie, leśnictwie i kartowaniu użytkowania ziemi.

Instytut Geodezji i Kartografii, Ośrodek Teledetekcji i Informacji Przestrzennej, 00-950 Warszawa, ul. Jasna 2/4, tel/fax: 827-03-28; e-mail: zbig@igik.edu.pl



Prof. dr hab. Andrzej Ciołkosz pracuje w Instytucie Geodezji i Kartografii. Jest kierownikiem Ośrodka Teledetekcji i Informacji Przestrzennej OPOLIS. Jest również zatrudniony na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego w Zakładzie Teledetekcji Środowiska. Głównie zainteresowania naukowo-badawcze to: wykorzystanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego; zastosowanie obrazów satelitarnych w badaniu uszkodzeń lasów iglastych, a także w szacowaniu plonów głównych roślin uprawnych oraz kartowaniu użytkowania ziemi na podstawie zdjęć lotniczych i satelitarnych. Opublikował ponad 100 oryginalnych prac naukowych. Jest również autorem i współautorem licznych podręczników akademickich z zakresu teledetekcji i fotointerpretacji.

E-mail: ciolkosz@igik.edu.pl

Literatura

- Bochenek Z., Ciołkosz A., Faber A., Filipiak K., 1996: Results of MARS-MERA Action 1 in Poland. *Proceedings of JRC EC*.
- Bochenek Z., Ciołkosz A., Faber A., Filipiak K., 1997: Application of remote sensing methods for estimating area of the main crops in Poland. *Statistics in Transition*, vol. 3, no 1, 109–122.
- FAO Statistical Development Series Rome, 1996: *Multiple frame agricultural surveys*.
- Gallego F.J., 1995: *Sampling Frames of Square Segments*. Report JRC EC.
- GUS, 1992: *Metodologia badań i ocen produkcji roślinnej*. Warszawa.
- Perdigao V., 1992a: *Ground survey documents based on high resolution satellite imagery*. Publication of the Institute for Remote Sensing Applications, Ispra, Italy.
- Perdigao V., 1992b: *Stratification of Tras-Os-Montes using integrated GIS and Landsat TM data*. Publication of the Institute for Remote Sensing Applications, Ispra, Italy.



Krystyna Filipiak, urodzona w 1947 r. W 1969 r. ukończyła studia magisterskie na UMCS w Lublinie, kierunku matematyka-metody numeryczne i podjęła pracę w IUNG w Puławach. W 1987 r. uzyskała stopień doktora nauk rolniczych. Jej zainteresowania naukowe i badania koncentrują się na metodyce doświadczalnictwa rolniczego oraz stosowaniu metod statystyki matematycznej do opracowania wyników badań eksperymentalnych. Jest autorem i współautorem ponad 70 prac naukowych i popularno-naukowych oraz autorem kilkudziesięciu programów komputerowych. Prowadzi szkolenia i konsultacje ze statystyki matematycznej dla pracowników IUNG i innych naukowych ośrodków rolniczych.