

# FOTOINTERPRETACJA W GEOGRAFII

## 23



WARSZAWA 1993



**ANDRZEJ CIOŁKOSZ**  
**KATARZYNA DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA\***

## ZASTOSOWANIE ZDJĘĆ SATELITARNYCH DO SZACOWANIA WIELKOŚCI PRODUKCJI Z TRWAŁYCH UŻYTKÓW ZIELONYCH W POLSCE

APPLICATION OF SATELLITE REMOTE SENSING FOR ASSESSING  
PRODUCTION OF GRASSLANDS

Produkcja pasz zielonych jest jednym z ważnych elementów gospodarki hodowlanej. Wielkość tej produkcji wyznacza obszar trwałych użytków zielonych i wysokość plonów. Trwałe użytki zielone występujące w Polsce zajmują około 3,9 mln ha, co stanowi 12,5% ogólnej powierzchni kraju. Stanowią one nieco ponad 1/5 ogólnej powierzchni wszystkich użytków rolnych. Pod tym względem Polska należy do najuboższych krajów europejskich. W roku 1991 powierzchnia trwałych użytków zielonych wynosiła 3891,0 tys ha, z czego na pastwiska trwałe przypadało 1515,2 tys ha, co stanowiło 38,94% ogólnej powierzchni trwałych użytków zielonych, natomiast łąki trwałe zajmowały 2375,8 tys. ha, co stanowiło 61,06% powierzchni trwałych użytków zielonych w Polsce.

Przestrzenne rozmieszczenie użytków zielonych w Polsce jest bardzo nierównomierne. Zależy ono od warunków siedliskowych sprzyjających

\* Prof. dr hab. Andrzej Ciołkosz, dr Katarzyna Dąbrowska-Zielińska, Instytut Geodezji i Kartografii, Ośrodek Teledetekcji i Informacji Przestrzennej — OPOLIS, ul. Jasna 2/4, 00-950 Warszawa.

występowaniu ekosystemów trawiastych, w tym przede wszystkim od wody. Uwilgotnienie siedlisk łąkowych w środkowej, nizinnej części kraju uzależnione jest w głównej mierze od utrzymywania się odpowiednio wysokiego poziomu wody gruntowej w ciągu okresu wegetacyjnego. Dla porównania, w wyżynnej części kraju, gdzie o warunkach wilgotnościowych decyduje suma opadów, łąk jest znacznie mniej. Występujące w nizinnej części kraju znaczne powierzchnie łąk rozmieszczone są przeważnie w dolinach rzecznych, w których poziom wód gruntowych utrzymuje się stosunkowo wysoko przez znaczną część roku.

Lokalizacja zdecydowanej większości trwałych użytków zielonych w granicach naturalnych form terenu sprawia, że ich powierzchnia nie wykazuje większych tendencji do częstych zmian. Wielkość produkcji w danym roku jest więc uwarunkowana głównie wysokością plonów, na wysokość plonów zaś decydujący wpływ ma dostęp roślin do wody w ciągu okresu wzrostu. Przy wystarczającej ilości wody roślinność w danych warunkach glebowych rozwija się optymalnie. Utrudniony dostęp do wody lub jej brak odbija się niekorzystnie na wzroście roślin, obniżając ich plonowanie.

Właściwe oszacowanie wielkości produkcji pasz zielonych ma duże znaczenie przy podejmowaniu decyzji co do ewentualnej konieczności uzupełnienia krajowych zasobów pasz. Dlatego też ważna jest prognoza wysokości plonów i wielkości produkcji pasz uzyskiwana z maksymalnym wyprzedzeniem. Zagadnieniem prognozowania plonów zajmują się w Polsce wyspecjalizowane instytucje, które w tym celu stosują różne metody, wykorzystujące informacje zbierane z określonej liczby punktów terenowych, przenosząc je na cały obszar produkcji traw. Stosowane metody są pracochłonne, a ograniczona z konieczności liczba terenowych punktów pomiarowych w znacznym stopniu rzutuje na dokładność otrzymanych wyników (*Metodyka ...*, 1992).

W roku 1987 w Ośrodku Teledetekcji i Informacji Przestrzennej — OPOLiS Instytutu Geodezji i Kartografii zostały podjęte prace zmierzające do wykorzystania informacji pozyskiwanych przez satelity do szacowania wielkości plonów z trwałych użytków zielonych. Prace te zostały zrealizowane w ramach Projektu UNDP/FAO POL/86/002 pt.: „Opracowanie systemu dynamicznego określania plonów użytków zielonych na podstawie zdjęć satelitarnych”. Prace te były finansowane ze środków FAO i Polskiej Akademii Nauk. Pięcioletnie prace badawcze zaowocowały znalezieniem wielu relacji zachodzących między informacjami wyprowadzonymi ze zdjęć satelitarnych a stanem wzrostu roślin łąkowych, co w rezultacie umożliwiło opracowanie *Systemu Teledetekcyjnego Określania Plonów Użytków Zielonych* — STOPUZ. We wspomnianym systemie wykorzystano dane pozyskiwane ze zdjęć satelitarnych oraz dane punktowe ze stacji meteorologicznych, integrując je w systemie informacji geograficznej. System STOPUZ został opracowany na komputery linii PC/386/486 i w najbliższej przyszłości może być stosowany na skalę operacyjną.

## ETAP PRZYGOTOWAWCZY

Pierwszym etapem prac zmierzających do opracowania *Systemu Teledetekcyjnego Określania Płonów Użytków Zielonych* — STOPUZ było opracowanie przeglądowej mapy rozmieszczenia łąk w Polsce. Do tego celu wykorzystano zdjęcia satelitarne, wykonane za pomocą skanera TM z pokładu satelity Landsat w latach 1986-1989. Treść zdjęć poddano nadzorowanej klasyfikacji z wykorzystaniem systemu przetwarzania zdjęć satelitarnych — ERDAS. Dokładność klasyfikacji okazała się jednak niewystarczająca. W tej sytuacji klasyfikację komputerową postanowiono zastąpić interpretacją wizualną zdjęć satelitarnych. Spośród siedmiu kanałów spektralnych, w których wykonywane są zdjęcia skanerem TM z pokładu satelity Landsat, wybrano kanały: 3, 4 i 5. Obrazy w tych kanałach zostały przedstawione na barwnych kompozycjach odpowiednio w kolorach: żółtym, purpurowym i niebiesko-zielonym. Dobór kanałów nie był przypadkowy i poprzedziły go prace mające ustalić taką ich kombinację, która maksymalnie wyróżniałaby obraz trwałych użytków zielonych na otrzymanych kompozycjach. W odróżnieniu od czerwonego koloru jaki użytki zielone mają zwykle na standardowych, barwnych zdjęciach satelitarnych, na zdjęciach wykorzystanych w niniejszym opracowaniu obraz trwałych użytków zielonych ma kolor żółty. Wydaje się, że ten kolor dobrze skonstrastował obraz użytków zielonych z obrazem terenów otaczających, co znakomicie wpłynęło na ułatwienie procesu rozpoznawania tych użytków na zdjęciach.

Barwne zdjęcia satelitarne wykonano w odwzorowaniu SOM w skali 1:250 000. Zdjęcia te poddano następnie interpretacji wizualnej, wykorzystując do pomocy mapy topograficzne w skali 1:100 000, na których łąki są wprawdzie zaznaczone, ale bez uwidocznienia ich granic. Biorąc pod uwagę skalę zdjęć zdecydowano się na zaznaczanie łąk, których obraz na zdjęciu miał powierzchnię przynajmniej 4 mm<sup>2</sup>, co odpowiadało w terenie powierzchni 25 ha. Z tą więc szczegółowością została opracowana wspomniana mapa, obejmując swym zasięgiem obszar całej Polski (ryc. 1).

Wyniki interpretacji zostały następnie poddane digitalizacji, czyli zamianie na postać cyfrową, za pomocą opracowanego w IGiK systemu informacji geograficznej, znanego pod nazwą SINUS (Baranowski, 1991). Cyfrowa wersja mapy łąk stanowi pierwszą warstwę tematyczną bazy danych systemu informacyjnego STOPUZ.

Powierzchnia trwałych użytków zielonych określona na podstawie opracowanej mapy wynosi 3,06 mln ha i jest mniejsza od powierzchni tych użytków określanej przez GUS o około 0,83 mln ha, czyli o 21%. Różnicę tę stanowią najprawdopodobniej łąki, których jednostkowa powierzchnia jest mniejsza od 25 ha i jako takie nie były zaznaczane na mapie, lub które z różnych względów nie zostały rozpoznane na zdjęciach satelitarnych.

W celu określenia stopnia dokładności interpretacji trwałych użytków zielonych odwzorowanych na zdjęciach satelitarnych, a także w celu okreś-

lenia obszarów, na których występuje najczęściej łąk o powierzchni nie przekraczającej 25 ha, na opracowaną mapę łąk nałożono granice województw, a następnie obliczono powierzchnię trwałych użytków zielonych w granicach poszczególnych jednostek administracyjnych. Wyniki obliczeń porównano z powierzchnią trwałych użytków zielonych zamieszczoną w Roczniku Statystycznym, otrzymując stopień dokładności rozpoznania tych użytków na podstawie zdjęć satelitarnych (tab. 1).

Tabela 1

Table 1

Powierzchnia łąk w Polsce (w tys. ha)

Area of grasslands in Poland

| Województwo<br>Voivodship | Powierzchnia<br>według GUS<br>Area after GUS*<br>(ha) | Powierzchnia<br>według zdjęć<br>satelitarnych<br>TM<br>Area after<br>Landsat TM<br>images (ha) | Różnica<br>Subtraction (ha) | Rozpoznanie<br>Recognition<br>(%) |
|---------------------------|---|--|-----------------------------|-----------------------------------|
| warszawskie               | 41 944  | 40 272   | -1 672                      | 96                                |
| białkopodlaskie           | 103 730   | 98 936   | -4 979                      | 95                                |
| białostockie              | 198 930   | 138 640  | -60 290                     | 70                                |
| bielskie                  | 41 774  | 16 222   | -25 552                     | 39                                |
| bydgoskie                 | 85 652  | 69 517   | -16 135                     | 81                                |
| chełmskie                 | 66 239  | 92 291   | +26 052                     | 139                               |
| ciechanowski              | 100 316   | 84 629   | -15 687                     | 84                                |
| częstochowskie            | 72 479  | 52 222   | -20 257                     | 72                                |
| elbląskie                 | 92 816  | 27 837   | -64 979                     | 30                                |
| gdańskie                  | 75 995  | 41 652   | -34 343                     | 55                                |
| gorzowskie                | 77 826  | 82 715   | +4 889                      | 106                               |
| jeleniogórskie            | 76 717  | 31 126   | -45 591                     | 41                                |
| kaliskie                  | 69 199  | 58 259   | -10 940                     | 84                                |
| katowickie                | 62 225  | 37 919   | -24 306                     | 61                                |
| kieleckie                 | 103 886   | 114 168  | +10 282                     | 110                               |
| konińskie                 | 66 906  | 53 221   | -13 685                     | 80                                |
| koszalińskie              | 77941   | 74 370   | -3 571                      | 95                                |
| krakowskie                | 32 120  | 23 377   | -8 743                      | 73                                |
| krośnieńskie              | 76 574  | 78 090   | +1 516                      | 102                               |
| legnickie                 | 46 557  | 34 886   | -11 671                     | 75                                |
| leszczyńskie              | 51 093  | 45 308   | -5 787                      | 89                                |
| lubelskie                 | 63 432  | 73 789   | +10 357                     | 116                               |
| łomżyńskie                | 125 690   | 122 815  | -2 875                      | 98                                |
| łódzkie                   | 15 493  | 2 239  | -13 254                     | 14                                |
| nowosądeckie              | 82 846  | 60 146   | -22 700                     | 73                                |
| olsztyńskie               | 196 256   | 91 138   | -105 118                    | 46                                |

*Zastosowanie zdjęć satelitarnych...*

| Województwo<br>Voivodship | Powierzchnia<br>według GUS<br>Area after GUS*<br>(ha) | Powierzchnia<br>według zdjęć<br>satelitarnych<br>TM<br>Area after<br>Landsat TM<br>images (ha) | Różnica<br>Subtraction (ha) | Rozpoznanie<br>Recognition<br>(%) |
|---------------------------|---|--|-----------------------------|-----------------------------------|
| opolskie                  | 87 788  | 58 028   | -29 760                     | 66                                |
| ostrołęckie               | 135 159   | 138 371  | +3 212                      | 102                               |
| pilskie                   | 83 192  | 80 431   | - 2 761                     | 97                                |
| piotrkowskie              | 63 475  | 65 337   | +1 864                      | 103                               |
| płockie                   | 47 332  | 30 252   | -17 080                     | 64                                |
| poznańskie                | 62 970  | 40 300   | -22 670                     | 64                                |
| przemyskie                | 61 643  | 60 902   | -741                        | 99                                |
| radomskie                 | 74 712  | 71 284   | - 3 428                     | 95                                |
| rzyszowskie               | 69 096  | 60 547   | -8 549                      | 88                                |
| siedleckie                | 125 207   | 101 613  | -23 594                     | 81                                |
| sieradzkie                | 62 293  | 29 417   | -32 876                     | 47                                |
| skierniewickie            | 36 215  | 26 013   | -10 202                     | 72                                |
| śląskie                   | 68 557  | 67 144   | -1 413                      | 98                                |
| suwalskie                 | 183 386   | 95 186   | -88 200                     | 52                                |
| szczecińskie              | 118 340   | 125 407  | +7 067                      | 106                               |
| tarnobrzskie              | 67 534  | 62 131   | -5 403                      | 92                                |
| tarnowskie                | 56 416  | 44 139   | -12 277                     | 78                                |
| toruńskie                 | 40 812  | 25 928   | -14 884                     | 64                                |
| wałbrzyskie               | 71 083  | 38 914   | -32 169                     | 55                                |
| włocławskie               | 32 587  | 13 740   | -18 847                     | 42                                |
| wrocławskie               | 70 303  | 54 404   | -15 899                     | 77                                |
| zamojskie                 | 76 225  | 74 080   | -2 145                      | 97                                |
| zielonogórskie            | 80 678  | 54 510   | -26 168                     | 68                                |
| razem                     | 3 879 637   | 3 063 862  | -815 775                    | 79                                |

\* Main Statistical Office.

Analiza wyników zamieszczonych w tabeli wskazuje na niespodziewane rezultaty otrzymane najprawdopodobniej w toku interpretacji zdjęć satelitarnych. O ile nie budzą wątpliwości te województwa, w których nie rozpoznano wszystkich łąk, gdyż można to uzasadnić ich rozdrobnieniem, o tyle znacznie trudniej znaleźć wytłumaczenie faktu, że powierzchnia trwałych użytków zielonych ustalona na podstawie zdjęć satelitarnych była większa niż według oceny GUS. Powierzchnia ta wynosi w sumie 65 239 ha, co stanowi 1,7% wszystkich trwałych użytków w Polsce. Wydaje się, że błąd ten mógł powstać w trakcie interpretacji zdjęć satelitarnych i był spowodowany zaliczeniem do trwałych użytków zielonych także pól ornych, na których występujące uprawy miały podobne cechy spektralne jak i łąki. Miało to miejsce na tych terenach, których zdjęcia zostały wykonane w okresie



Ryc. 1. Mapa łąk w Polsce opracowana na podstawie zdjęć satelitarnych wykonanych za pomocą sknera TM przez satelitę Landsat

Fig. 1. Map of grasslands in Poland prepared on the basis of Landsat TM satellite images

wiosennym, kiedy to zróżnicowanie odbicia promieniowania przez trawy na łąkach jest podobne do odbicia tego promieniowania przez jeszcze zielone uprawy ozime.

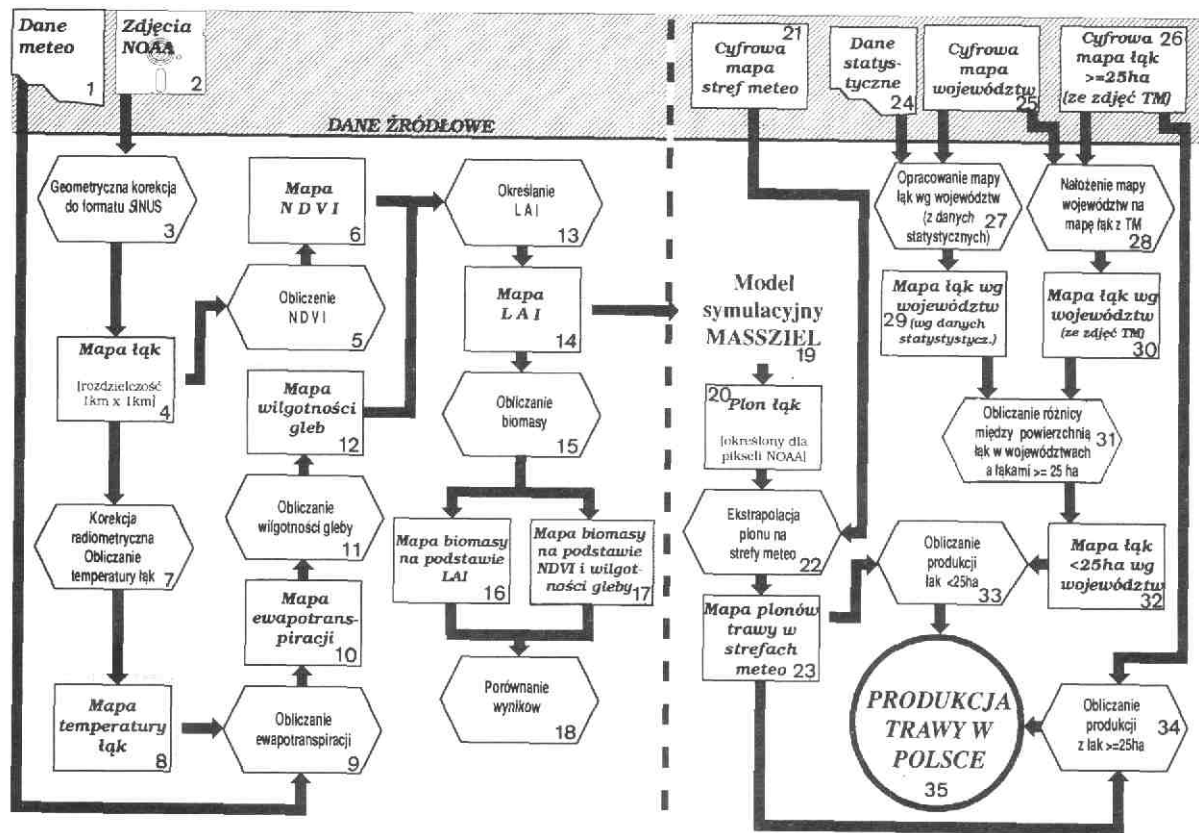
Z analizy tab. 1 wynika, że rozpoznanie trwałych użytków zielonych na podstawie zdjęć satelitarnych nie osiągnęło więc wartości 79%, jak wynika z tabeli, a tylko 77,3%, gdyż określenie powierzchni trwałych użytków zielonych, w niektórych województwach zawyżono w sumie o 65 269 ha. Tak więc w szacunku wielkości produkcji pasz zielonych należy posługiwać się powierzchnią trwałych użytków zielonych podaną przez GUS. Nie należy jednak uznać opracowanej mapy za nieprzydatną, gdyż umożliwia ona analizę przestrzennego rozkładu łąk, co nie jest bez znaczenia przy ekstrapolacji wyników otrzymywanych w toku interpretacji zdjęć satelitarnych

wykonywanych przez satelity serii NOAA. Takiego przestrzennego charakteru nie mają natomiast zestawienia statystyczne, z których nie można niczego wywnioskować co do przestrzennego układu łąk w obrębie poszczególnych województw.

Określając powierzchnię trwałych użytków zielonych spełniono pierwszy warunek niezbędny do oszacowania wielkości produkcji pasz zielonych. Pozostała sprawa znacznie trudniejsza, mianowicie oszacowanie wielkości pól. Warto podkreślić, że nie bez znaczenia dla ostatecznych wyników szacunku wielkości produkcji jest znajomość przestrzennego rozmieszczenia trwałych użytków zielonych. Stąd też wynika konieczność opracowania wspomnianej mapy, a nie bazowania wyłącznie na informacjach statystycznych publikowanych w opracowaniach Głównego Urzędu Statystycznego.

Jedną z metod przeznaczonych do określania wielkości pól z trwałych użytków zielonych była metoda opracowana przez Instytut Melioracji i Użytków Zielonych. Metoda sprowadza się do określenia tzw. *zgeneralizowanych współczynników roślinnych* będących wartością ilorazu ewapotranspiracji aktualnej do ewapotranspiracji potencjalnej określonej metodą Penmana dla poszczególnych dekad okresu wzrostu traw (Rogulski i in., 1988). Metoda ta jest dość trudna w stosowaniu, gdyż wiąże się z koniecznością określania ewapotranspiracji aktualnej, co nie jest zabiegiem prostym. W niżej prezentowanej metodzie wykorzystuje się też ewapotranspirację aktualną, ale obliczoną na podstawie informacji pozyskanych za pomocą zdjęć satelitarnych i danych meteorologicznych. Wielkość obliczonej ewapotranspiracji przelicza się z kolei na wilgotność korzeniowej warstwy gleby. Łącząc te informacje z informacjami o wielkości znormalizowanego współczynnika roślinności (NDVI) określa się wielkość projekcyjnej powierzchni liści (LAI), z którego to współczynnika wyprowadza się następnie informacje o wielkości biomasy świeżej. Współczynnik LAI wykorzystuje się też w symulacyjnym modelu prognozy pól. Schemat postępowania w tej metodzie przedstawia ryc. 2.

Podstawowym źródłem informacji niezbędnych w proponowanej metodzie są zdjęcia wykonywane za pomocą radiometru AVHRR przez satelitę NOAA i przesyłane w systemie HRPT do naziemnych stacji odbiorczych. W przypadku Polski ośrodek odbioru tych zdjęć jest zlokalizowany w Krakowie, w Oddziale Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Z całej transmisji rejestrowanej przez stację w Krakowie wybierane są tylko dane dotyczące obszaru Polski i te są przesyłane do Ośrodka Teledetekcji i Informacji Przestrzennej — OPOLiS, Instytutu Geodezji i Kartografii. Tu następuje ich wizualizacja, a następnie wybiera się około 12–15 tak zwanych punktów dostosowania, które mają umożliwić transformację geometryczną zdjęć do założonego odwzorowania. Dokładność transformacji zależy od dokładności, z jaką zlokalizuje się na zdjęciu punkty o znanych współrzędnych. W przypadku zdjęć wykonywanych przez satelity serii NOAA najlepszymi punktami dostosowania, widocznymi stosunkowo najwyraźniej





na zdjęciach, są ujścia większych rzek, jeziora, a także załamania przebiegu linii brzegowej czy wreszcie ostre kontury lasów. Tylko te punkty umożliwiają przeprowadzenie transformacji zdjęć z dokładnością do 1 piksela, to jest około 1 km.

Zdjęcia wykonane przez satelitę NOAA w dwóch kanałach widzialnych oraz jednym rejestrującym daleką podczerwień posłużyły do opracowania tzw. *Mapy trwałych użytków zielonych widzialnych na meteorologicznych zdjęciach satelitarnych*. Z racji małej rozdzielczości tych zdjęć, która w punkcie podsatelitarnym wynosi zaledwie 1,1 km x 1,1 km, na mapie przedstawiono tylko bardzo duże kompleksy trwałych użytków zielonych o powierzchni przekraczającej 100 ha. Suma powierzchni tych użytków wyniosła około 1,7 mln ha, co stanowi 54,8% powierzchni trwałych użytków zielonych przedstawionych na mapie opracowanej na podstawie zdjęć satelitarnych, wykonanych przez satelitę Landsat, czyli 43,6% powierzchni trwałych użytków zielonych podanych w zestawieniach GUS. Jest to istotna informacja, gdyż właśnie dla powierzchni określonej z meteorologicznych zdjęć satelitarnych będzie szacowana wielkość plonów, która następnie zostanie ekstrapolowana na cały areal trwałych użytków zielonych. Z punktu widzenia statystyki, reprezentacja obejmująca co najmniej 43% całej populacji jest aż nadto wystarczająca. Zdjęcie satelitarne, na podstawie którego opracowano mapę rozmieszczenia wielkich obszarów użytków zielonych, zostało wprowadzone do systemu informacji geograficznej SINUS, gdzie pikselom reprezentującym te właśnie użytki nadano jednoznaczne oznaczenia kodowe, umożliwiające ich przestrzenną lokalizację, a także ustalono piksele reprezentujące środki obszarów trwałych użytków zielonych. Te piksele można z dużą dozą pewności uznać za homogeniczne, w odróżnieniu od pikseli brzeżnych, które często są mikselami, obwarującymi obszary użytkowane w sposób niejednorodny. Dla tych środków pikseli będą prowadzone dalsze obliczenia, których wyniki będą następnie ekstrapolowane na pozostałe piksele reprezentujące obraz użytków zielonych.

Opracowany system prognozowania plonów użytków zielonych zakłada

Ryc. 2. Model prognozowania plonów z użytków zielonych

Fig. 2. Grass production forecasting model. 1 — Meteo data, 2 — NOAA images, 3 — Geometric correction to SINUS pixels, 4 — Grassland map of Poland (NOAA resolution), 5 — NDVI calculation, 6 — NDVI map, 7 — Radiometric correction to calculate grasslands' temperature, 8 — Grasslands' temperature map, 9 — Evapotranspiration calculation, 10 — Evapotranspiration map, 11 — Soil moisture calculation, 12 — Soil moisture map, 13 — LAI calculation, 14 — LAI map, 15 — Biomass calculation, 16 — Biomass map based on LAI, 17 — Biomass map based on NDVI and soil moisture, 18 — Comparison of results, 19 — MASSZIEL simulation model, 20 — Grasslands' yield (for NOAA pixels), 21 — Digital map of meteo zones, 22 — Yield extrapolation to meteo zones, 23 — Map of grass yield in meteo zones, 24 — Statistics, 25 — Digital map of voivodships, 26 — Digital grasslands map from TM  $\geq 25$  ha, 27 — Elaboration of grasslands map by voivodship using statistical data, 28 — Overlay of voivodships and grasslands from TM, 29 — Grassland areas map by voivodship (statistics), 30 — Grassland areas map by voivodship (on TM basis), 31 — Subtraction of grasslands  $\geq 25$  ha from total grasslands' area by voivodship, 32 — Map of grasslands  $< 25$  ha by voivodship, 33 — Calculation of production of grasslands  $< 25$  ha, 34 — Calculation of production of grasslands  $\geq 25$  ha, 35 — Total grass production in Poland

wprawdzie korzystanie z dużej ilości danych pozyskiwanych za pomocą zdjęć satelitarnych, lecz aby je przetworzyć do postaci w pełni przydatnej informacji, niezbędne są dodatkowe dane zbierane na stacjach meteorologicznych. Jedną z najbardziej istotnych informacji, niezbędną w dalszych obliczeniach, jest wartość strumienia różnicowego radiacji. Pomiary tego parametru są dokonywane tylko w siedmiu stacjach meteorologicznych na terenie całego kraju. Jest to nieco za mało jak na tak duży obszar, dlatego też trzeba było znaleźć sposób określenia wielkości strumienia różnicowego radiacji, wychodząc z innych parametrów. Określono go na podstawie wielkości promieniowania słonecznego, prężności pary wodnej i temperatury radiacyjnej, obliczonej na podstawie zdjęć satelitarnych. W Polsce jest 20 stacji, na których są mierzone potrzebne wartości. Lokalizacja tych stacji oraz określenie reprezentowanych przez nie obszarów jest kolejną warstwą systemu informacyjnego STOPUZ.

Wszystkie wyżej wymienione prace tworzą jednorazowy zespół czynności, zwany w opracowywanej metodzie STOPUZ, etapem przygotowawczym (Janowski, 1992).

## ETAP MONITORINGOWY

Kolejny etap, zwany etapem monitoringowym, obejmuje wiele czynności począwszy od obliczenia temperatury radiacyjnej trwałych użytków zielonych aż po określenie wielkości biomasy wyprodukowanej na obszarach reprezentowanych przez poszczególne piksele. Pierwszym krokiem w tym etapie jest obliczenie temperatury radiacyjnej roślin. W tym celu, po zgeometryzowaniu zdjęć satelitarnych wykonanych w kanałach 4 i 5, oblicza się temperaturę obiektów reprezentowanych przez poszczególne piksele. W procesie obliczania temperatury uwzględnia się poprawki wynikające z radiometrycznej korekcy zdjęć, a także poprawki z tytułu osłabiającego wpływu pary wodnej zawartej w atmosferze na transmisję długofalowego promieniowania podczerwonego. Jak wynika z dotychczasowych doświadczeń temperaturę roślin odwzorowanych na zdjęciach oblicza się z dokładnością rzędu 0,5° - 1,0°C. Efektem tego zabiegu jest mapa temperatury łąk.

Zdjęcia wykonane radiometrem AVHRR z pokładu satelity NOAA w paśmie widzialnym są z kolei wykorzystane do obliczenia *znormalizowanego współczynnika roślinnego* (NDVI). Wyniki tych obliczeń są przedstawiane w postaci mapy obrazującej przestrzenne zróżnicowanie wartości tego wskaźnika.

Wykorzystując mapę temperatury łąk oraz dodatkowe dane zbierane na stacjach meteorologicznych, takie jak temperatura powietrza, prędkość wiatru i różnicowy strumień radiacji lub — w przypadku gdy ten ostatni parametr nie jest rejestrowany — promieniowanie słoneczne i prężność pary

wodnej, można oszacować wielkość transpiracji wody przez rośliny i przez powierzchnię gruntu, czyli tak zwaną ewapotranspirację (Dąbrowska-Zielińska, 1991 a). Ponieważ wielkość ta jest określana dla każdego piksela reprezentującego roślinność (w interesującym nas przypadku łąki, których przestrzenna lokalizacja została już określona), jej prezentacja przyjmuje również postać mapy. Ewapotranspiracja jest z kolei podstawą do określenia wilgotności gleby w korzeniowej warstwie roślin, gdyż została dowiedziona funkcyjna zależność wilgotności gleby od ilości wyparowanej wody zarówno przez samą glebę, jak i pokrywającą ją roślinność (Dąbrowska-Zielińska, 1991 b). Podobnie jak i poprzednie informacje, tak i wilgotność gleby zostaje przedstawiona w postaci mapy.

Takie przestrzenne zobrazowanie rozkładu wilgotności gleby może mieć także znaczenie dla oceny stanu upraw we wczesnych okresach rozwojowych roślin. Porównując sytuacje, które można uznać za przeciętne z sytuacjami ekstremalnymi dla danego regionu czy też całego kraju, można zaobserwować zasięg zjawiska i jego dynamikę (np. występowanie suszy czy też nadmiaru wody w glebie) z częstotliwością, na jaką pozwoli pozyskiwanie zdjęć satelitarnych. Te informacje winny usprawnić także gospodarkę wodą na obszarach, na których przeprowadzone zabiegi melioracyjne pozwalają na gromadzenie nadmiaru wody i zasilanie nią łąk w okresach suszy.

Dane o wilgotności gleb, trwałych użytków zielonych, łącznie z danymi o wielkości znormalizowanego współczynnika roślinności, obliczonego dla pikseli reprezentujących te użytki, zostały z kolei wykorzystane do określenia *projekcyjnej powierzchni liści* (LAI). Współczynnik LAI ma niezwykle istotne znaczenie w określaniu wielkości plonów, integruje bowiem w sobie wpływ różnych czynników środowiskowych i agrotechnicznych, które rzutują na plonowanie. W obliczeniach tego współczynnika zostały wykorzystane znalezione relacje wielkości LAI w funkcji znormalizowanego wskaźnika roślinności i wilgotności gleby. Wyniki tej operacji zostały przedstawione w postaci mapy obrazującej przestrzenne zróżnicowanie tego współczynnika. Znajomość współczynnika LAI pozwala na oszacowanie biomasy świeżej dla dowolnego obszaru trwałych użytków zielonych reprezentowanych na zdjęciu satelitarnym za pomocą pojedynczego piksela. Biomasa tę bowiem można określić w funkcji LAI. Można ją także określić w funkcji dwu innych współczynników już uprzednio wyprowadzonych ze zdjęć satelitarnych, mianowicie: znormalizowanego indeksu roślinności i wilgotności gleby. Ostatnią pracą w tym etapie jest przestrzenne przedstawienie biomasy świeżej obliczonej dla każdego piksela reprezentującego trwałe użytki zielone. Powstała w ten sposób mapa umożliwi zsumowanie liczby tych pikseli i określenie wielkości masy zielonej, wyprodukowanej na trwałych użytkach zielonych widocznych na meteorologicznych zdjęciach satelitarnych.

Opisane dotychczas postępowanie objęte etapem monitoringowym daje w efekcie informacje o wielkości produkcji biomasy świeżej na dzień,

w którym zostało wykonane zdjęcie satelitarne z pokładu satelity NOAA. Ten sposób określania wielkości produkcji został trzykrotnie sprawdzony na obszarze doświadczalnym, za który przyjęto leżący w dolinie Obrzy obszar wielkich łąk doświadczalnych należących do Państwowego Gospodarstwa Rolnego w Obrze — Zakładu Łąkarskiego w Bloku. Obszar ten był odwzorowany na 21 pikselach zdjęcia satelitarnego NOAA. W odległości zaledwie kilku kilometrów od badanych łąk była zlokalizowana stacja meteorologiczna, skąd otrzymywano niezbędne wyniki pomiarów i obserwacji meteorologicznych. Stosując opisaną metodę otrzymano w roku 1991 dla wspomnianych łąk produkcję około 13,7 ton masy zielonej z 1 hektara dla pierwszego pokosu traw. Tymczasem, według informacji otrzymanych od administracji wspomnianego PGR, produkcja w dwa tygodnie później, a więc w okresie sianokosów wyniosła 15,0 t/ha. Z porównania tych wartości wynika, że wykorzystując zdjęcia satelitarne i wspomniany system STOPUZ, można określać produkcję masy zielonej z dużą dokładnością.

## ETAP PROGNOSTYCZNY

Określenie wielkości biomasy w danym momencie rozwoju roślin jest efektem prac etapu monitoringowego. Etap prognostyczny natomiast stwarza możliwość oszacowania wielkości tej biomasy na okres pokosów, z maksymalnie możliwym wyprzedzeniem, czyli prognozowanie plonów i zbiorów.

Jak już zaznaczono, powierzchnia trwałych użytków zielonych odwzorowanych na meteorologicznych zdjęciach satelitarnych stanowi 43,6% ogólnej powierzchni tych użytków przyjętej w opracowaniach statystycznych GUS. Stąd też, chcąc określić wielkość produkcji na obszarze wszystkich trwałych użytków zielonych w Polsce, należałoby otrzymać wyniki powiększyć o 56,4%, czyli o powierzchnię użytków zielonych niewidoczną na zdjęciach wykonywanych przez satelity serii NOAA. Taki zabieg, aczkolwiek najprostszy, nie pozwala jednak na wzięcie pod uwagę ewentualnego zróżnicowania wielkości plonów w różnych regionach kraju. Ekstrapolując więc wyniki obliczeń wielkości biomasy dla łąk widocznych na zdjęciach satelitarnych na łąki mniejsze, zaznaczone na mapie łąk, należy wziąć pod uwagę ich położenie w obrębie stref wyznaczonych przez rozkład stacji meteorologicznych, na których dokonuje się pomiarów wspomnianych uprzednio parametrów meteorologicznych niezbędnych do szacowania wielkości plonów w proponowanej metodzie. Tym sposobem została zwiększona powierzchnia trwałych użytków zielonych, dla których dokonuje się szacunku wielkości biomasy, z 43,6% ogólnej powierzchni tych użytków do 77,3%. Taką bowiem powierzchnię reprezentują trwałe użytki zielone

zaznaczone na mapie łąk opracowanej na podstawie wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych.

Lokalizacja przestrzenna pozostałych 22,7% łąk jest nieznaną. Wiadoma jest tylko ogólna powierzchnia łąk w podziale na województwa. Kolejnym krokiem na drodze do pełnego określenia wielkości produkcji zielonej masy będzie więc obliczenie różnicy pomiędzy wartościami statystycznymi odniesionymi do województw a wartościami pola powierzchni sumarycznej łąk określonego na podstawie opracowanej mapy, również w odniesieniu do województw. Tym sposobem uzyskuje się powierzchnię łąk małych, poniżej 25 ha, w poszczególnych województwach. Następnie na mapę podziału administracyjnego nakłada się mapę podziału na strefy reprezentowane przez wybrane stacje meteorologiczne. Dla każdej takiej strefy przyjmuje się jednolite parametry meteorologiczne, a co za tym idzie, także jednolite plony. Z kolei, zakładając równomierną dystrybucję trwałych użytków zielonych o powierzchni poniżej 25 ha w poszczególnych województwach, obliczamy wielkość produkcji zielonej masy w jednostkach terytorialnych, powstałych przez nałożenie stref reprezentowanych przez wybrane stacje meteorologiczne, na podział administracyjny kraju. Sumując wielkości obliczone dla wspomnianych jednostek terytorialnych i dodając je do wartości otrzymanych dla łąk o powierzchni powyżej 25 ha, otrzymujemy szacunkowe wielkości plonów trawy z trwałych użytków zielonych na obszarze całego kraju.

W rozwiązywaniu zadania dotyczącego prognozowania plonów pracownikom Ośrodka Teledetekcji i Informacji Przestrzennej — OPOLiS pomogli amerykańscy specjaliści od modeli symulacyjnych dotyczących wzrostu i plonowania roślin uprawnych. Jeden z opracowanych przez nich modeli symulacyjnych pod nazwą MASSZIEL został zaadoptowany do warunków fizycznogeograficznych Polski. Model ten może funkcjonować w oparciu tylko o pomiary parametrów meteorologicznych, takich jak dzienna suma promieniowania słonecznego (do modelu wprowadza się tylko wartość promieniowania czynnego fotosyntetycznie, tzw. PAR, równego 0,476 radiacji słonecznej) oraz średnia dzienna temperatura powietrza, która w modelu jest sumowana począwszy od dnia rozpoczęcia wegetacji do dnia, w którym dokonuje się prognozowania. Opracowany model może też korzystać z informacji wyprowadzanych ze zdjęć satelitarnych, mianowicie wielkości projekcyjnej powierzchni liści — LAI. Model opisuje wielkość plonów podczas kolejnych dni rozwoju roślin w średnich warunkach fizycznogeograficznych panujących w danym regionie. Przebieg krzywej wyrażającej zależność między wielkością produkcji i okresem wzrostu można korygować, wprowadzając kilkakrotnie w ciągu każdego pokosu dane o wielkości współczynnika LAI określonego na podstawie zdjęć satelitarnych i uzupełniających pomiarów meteorologicznych (M a s s , 1989, 1991). Z pomocą modelu można z wyprzedzeniem dwóch, trzech tygodni wnioskować o spodziewanej wielkości masy zielonej w okresie sianokosów.

Ponieważ prognoza dotyczy obszarów trwałych użytków zielonych reprezentowanych przez poszczególne piksele zdjęcia, wykonywanego przez satelitę NOAA, łatwo można oszacować wielkość spodziewanych zbiorów, gdy znana jest liczba tych pikseli i ich ogólna powierzchnia, a także powierzchnia pozostałych łąk, na którą ekstrapoluje się informacje określone dla tych właśnie pikseli.

Autorzy pragną wyrazić serdeczne podziękowania za pomoc w opracowaniu niniejszego artykułu: Markowi Baranowskiemu, Marii Gruszczyńskiej i Romanowi Jankowskiemu z Ośrodka Teledetekcji i Informacji Przestrzennej OPOLiS oraz panu Januszowi Ostrowskiemu z IMUZ.

## LITERATURA

- Baranowski M., 1990: *Charakterystyka systemu informacyjnego o środowisku przyrodniczym — SINUS*. W: System informacyjny o środowisku przyrodniczym. Warszawa: SGGW-AR.
- Dąbrowska-Zielińska K., 1991a: *Wykorzystanie zdjęć satelitarnych NOAA do oszacowania ewapotranspiracji i wilgotności gleb*. Przegląd Geofizyczny T.XXXVI, z. 4.
- Dąbrowska-Zielińska K., 1991b: *Application of AVHRR data for hydrological studies of grassland in Poland*. Proceedings of the 5th NOAA Users Meeting. Tromsø.
- Jankowski R., 1992: *Technologia numeryczna STOPUZ*. Maszynopis IGiK.
- Mass S.T., 1989: *Advances in estimating crop yield through combined remote sensing and growth modeling*. Proceedings of the Seminar USDA-NASS. Washington DC.
- Mass S.T., 1991: *Parameterized model of gramineous crop growth: I. Leaf Area and dry mass simulation*. USDA-ARS, Subtropical Agricultural Research Laboratory, Westlaco. TX. Author-Paper Documentation.
- Metodyka badań i ocen produkcji roślinnej*. GUS, Warszawa 1992.
- Rogulski W., Sarnaacka S., Drukpa S., 1988: *Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych*. IMUZ, Falenty.

## Summary

Remote Sensing and Spatial Information Centre of the Institute of Geodesy and Cartography started in 1987 to realize UNDP/FAO sponsored project POL/86/002 „Remote sensing based system of dynamic soil moisture determination and grassland yield forecasting”.

Within this project STOPUZ information system has been created; it comprises map of grassland distribution in Poland, prepared on the basis of analysis of Landsat TM images, formed from the selected TM bands. 77.3% of grassland area was recognized on these images, comparing to data obtained from the Main Statical Office.

Map of grasslands prepared on the basis of NOAA images was the second information layer. 43.6% of grasslands was delineated on this map. Each

grassland pixel was located in the spatial reference grid of the STOPUZ system. Next, temperature recorded in AVHRR4 i and AVHRR5 channels of the NOAA satellite was computed for each pixel. These temperature values were used for assessing evapotranspiration of grasslands. Location of meteorological stations was also entered to the STOPUZ system. Next, soil moisture was inferred from evapotranspiration values and combined with the calculated NDVI values; it allowed for determination of LAI index and wet biomass of grasses. Biomass values were presented spatially for each pixel representing grasslands. The map formed in such a way enables determination of biomass produced by grasslands, which are visible on meteorological satellite images. This method was verified on the test area; the obtained results of biomass assessment were very close to the measured values.

Results of biomass assessment for grasslands visible on NOAA images were extrapolated to the grassland areas, which are not recorded on these images. The existing MASSZIEL model of yield forecasting is based on meteorological data. This model is much more precise after incorporating LAI values obtained from satellite data. Using this model it is possible to predict a few weeks in advance amount of biomass produced by grassland areas.

*Translation: Zbigniew Bochenek*

Maszynopis złożono w redakcji: 1993.06.21

Poznaj historię PTG -

- kup publikację Zarządu Głównego PTG:

**POLSKIE TOWARZYSTWO GEOGRAFICZNE**  
**w siedemdziesiątą piątą rocznicę działalności**  
Warszawa - Poznań 1993