

ANDRZEJ CIOŁKOSZ

KATARZYNA DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA

**Wykorzystanie teledetekcji do opracowania systemu  
dynamicznego określania wilgotności gleb użytków zielonych  
w celu prognozowania plonów**

*ZARYS TREŚCI.* W artykule przedstawiono założenia systemu zezwalającego na dynamiczne określanie wilgotności gleb użytków zielonych z wykorzystaniem informacji dostarczanych przez zdjęcia satelitarne. Omówiono koncepcję nowej mapy użytkowania ziemi w Polsce wykonanej na podstawie wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych, z której informacje o użytkach zielonych zostaną wykorzystane we wspomnianym systemie. Scharakteryzowano także sposób określania ewapotranspiracji i wilgotności gleb z wykorzystaniem radiacyjnej temperatury traw mierzonej za pomocą radiometru AVHRR z pokładu satelitów serii NOAA.

W 1987 r. Ośrodek Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych Instytutu Geodezji i Kartografii podjął, przy współpracy z Instytutem Melioracji i Użytków Zielonych, badania nad zastosowaniem zdjęć satelitarnych do określania wilgotności użytków zielonych i wykorzystania tych informacji w modelach symulacyjnych zorientowanych na prognozowanie nawodnień oraz plonów pasz z użytków zielonych. Waga tych badań oraz ich potencjalne znaczenie dla gospodarki rolnej sprawiły, że roli sponsora tego przedsięwzięcia podjął się Organizacja do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO).

Program prac badawczych zakłada opracowanie specjalizowanego systemu informacji geograficznej, którego bazę danych wypełnią zarówno informacje o względnie stałych elementach terenu, jak też o elementach szybko zmiennych, tak w czasie jak i w przestrzeni. Głównym, acz nie jedynym źródłem zasilania bazy danych

tego systemu będą zdjęcia satelitarne wykonywane przez tak zwane satelity środowiskowe, a także przez satelity meteorologiczne. Pozostałe informacje, niezbędne do prawidłowego funkcjonowania systemu, zostaną zaczerpnięte z map tematycznych, danych statystycznych, obserwacji prowadzonych na stacjach meteorologicznych oraz badań gleboznawczych i hydrologicznych wykonywanych na terenach użytków zielonych.

W organizacji tego systemu informacyjnego, który został nazwany STOPUZ (System Teledetekcyjnego Określenia Pionów Użytków Zielonych) wykorzystano układ odniesień przestrzennych opracowany w Instytucie Geodezji i Kartografii przez zespół pod kierunkiem K. Podlacha (Podlacha, 1987). Ze względu na ograniczenia spowodowane przestrzenną zdolnością rozdzielczą zdjęć wykonywanych przez satelity meteorologiczne, zasilających wspomniany system w informacje o radiacyjnej temperaturze traw, która to rozdzielczość wynosi nieco ponad 1 km, za podstawowe pole odniesień przestrzennych przyjęto pole  $P_2$  o wielkości 1 x 1 km.

Jedną z ważniejszych informacji, która zostanie wprowadzona do bazy danych tego systemu jest lokalizacja użytków zielonych wraz z ich zróżnicowaniem charakteryzującym produktywność. Wobec braku map w skalach przeglądowych obejmujących obszar całego kraju i przedstawiających tę właśnie kategorię użytkowania ziemi, postanowiono opracować taką mapę wykorzystując zdjęcia satelitarne o dużej przestrzennej i spektralnej zdolności rozdzielczej, wykonywane przez satelity trzeciej generacji.

Z dwóch operacyjnych systemów satelitarnych dostarczających zdjęć o wspomnianej charakterystyce, mianowicie LANDSAT i SPOT, wybrano pierwszy system, mimo że zdjęcia wykonywane przez satelity tego systemu charakteryzują się nieco gorszą rozdzielczością niż wykonywane przez satelitę SPOT. Jednak zdjęcia te, w przeciwieństwie do zdjęć z satelity SPOT, są rejestrowane w kilku zakresach spektralnych, w tym w bliskiej i środkowej podczerwieni, co znakomicie podnosi ich przydatność w rozpoznawaniu łąk.

Zdjęcia satelitarne wykonywane za pomocą skanera Thematic Mapper z pokładu satelity Landsat zostały poddane procesowi klasyfikacji nadzorowanej w sześciowymiarowej przestrzeni spektralnej. Wyniki klasyfikacji były jednak niezadowalające, głównie z powodu dużego zróżnicowania odbicia promieniowania przez

użytki zielone, co wynikało zarówno z dość znacznej różnorodności wilgotności łąk, różnego ich pokrycia, jak i małych niekiedy obszarów użytków zielonych, tworzących na zdjęciach niejednorodne miksele.

W tej sytuacji postanowiono utworzyć ze zdjęć wykonanych w zapisie cyfrowym barwne kompozycje, dobierając jednak poszczególne kanały tak, aby jak najbardziej uwypuklić i zróżnicować obraz łąk, co powinno przyczynić się do ułatwienia wizualnej interpretacji zdjęć. Ten sposób interpretacji, zdecydowanie bardziej pracochłonny, wybrano z uwagi na fakt, że wyniki tej analizy, w której uwzględnia się wiele cech rozpoznawczych, a nie tylko jasność obiektów, są bardziej wiarygodne.

W toku wstępnego przetwarzania zdjęć okazało się, że w żaden sposób nie można uzyskać takiego zróżnicowania obrazu łąk na zdjęciach, aby odpowiadało ono podziałowi użytków zielonych zaproponowanych przez IMUZ (Grzyb, 1986). Tak więc za optymalną uznano barwną kompozycję utworzoną ze zdjęć rejestrowanych w kanałach 3,4 i 5, projektowanych kolejno przez filtr niebieski, zielony i czerwony. Na podstawie tak wykonanych kompozycji barwnych wydzielono cztery typy użytków zielonych, a mianowicie: łąkowe, łąkowe, zabagnione i antropogeniczne.

Duża przestrzenna i spektralna zdolność rozdzielcza zdjęć wykonanych za pomocą skanera TM sprawiła, że na otrzymanych kompozycjach barwnych bardzo wyraźnie zostało oddane użytkowanie ziemi. Chcąc zatem w pełni wykorzystać informacje zawarte na tych zdjęciach postanowiono, niejako przy okazji interpretacji użytków zielonych, wydzielić inne klasy użytkowania ziemi, co doprowadziło do opracowania koncepcji nowej mapy użytkowania ziemi w Polsce, znacznie bardziej szczegółowej od tej, w opracowaniu której wykorzystano zdjęcia wykonane przez satelitę Landsat ale za pomocą skanera MSS o znacznie mniejszej przestrzennej i spektralnej zdolności rozdzielczej.

Mapa będzie zawierać następujące klasy i podklasy pokrycia i użytkowania ziemi:

1. Grunty orne
2. Grunty orne z udziałem użytków zielonych
3. Grunty orne z udziałem obszarów leśnych
4. Grunty orne z udziałem użytków zielonych i lasów
5. Sady i ogrody

6. Sady i ogrody z udziałem gruntów ornych i osadnictwa wiejskiego
7. Użytki zielone łąkowe
8. Użytki zielone łąkowe
9. Użytki zielone zabagnione
10. Użytki zielone antropogeniczne
11. Zwarta zabudowa miejska
12. Luźna zabudowa miejska i podmiejska z udziałem sadów i ogrodów
13. Nowe dzielnice mieszkaniowe o luźnej zabudowie wraz z zielenią miejską
14. Górnicza eksploatacja odkrywkowa wraz z obszarami przeobrażonymi
15. Zabudowa przemysłowa wraz z obszarami przeobrażonymi
16. Lasy iglaste
17. Lasy liściaste
18. Lasy mieszane
19. Lasy zdegradowane
20. Zadrzewienia i zakrzaczenia
21. Zbiorniki wodne
22. Rzeki
23. Nieużytki
24. Główne drogi i linie kolejowe

Na mapę zostaną wniesione nazwy miast wojewódzkich i opisy większych rzek.

Interpretacja zdjęć została przeprowadzona na barwnych kompozycjach wykonanych w skali 1:250000. Wyniki interpretacji poszczególnych klas pokrycia i użytkowania ziemi były konfrontowane bądź z mapami topograficznymi w skali 1:50000, 1:100000, bądź bezpośrednio z terenem. Na zdjęcia została dodatkowo wprowadzona siatka geograficzna, w celu umożliwienia przekształcenia wyników interpretacji do odwzorowania przyjętego w jednolitym układzie odniesień przestrzennych.

Rezultatem interpretacji zdjęć satelitarnych są nakładki wykonane na przezroczystej folii. Zaznaczona na nich treść została następnie zdigitalizowana za pomocą digimetrów według programów opracowanych przez M. Baranowskiego. Wyniki digitalizacji zostały, do celów kontrolnych, przedstawione za pomocą map chorochromatycznych o rysunku wektorowym. Po korektach wy-

niki te zostały przetworzone na postać rastrową obowiązującą w bazie danych systemu STOPUZ.

Dokładność wydzieleni na mapie została określona na 2,5x2,5 mm czyli 625x625 m w terenie. A zatem najmniejsza powierzchnia wyróżniona na mapie ma wielkość około 40 ha. Tak dokładne wydzielenia nie są potrzebne dla systemu STOPUZ, gdyż najmniejsza powierzchnia determinująca w tym systemie obszar, dla którego wyznaczana jest wilgotność gleby i wielkość produkcji paszy zielonej, jest równa jednemu pikselowi zdjęcia wykonanego za pomocą radiometru AVHRR i wynosi około 1 km<sup>2</sup>, co odpowiada polu P<sub>2</sub> w przyjętym układzie odniesień przestrzennych. Zdigitalizowaną mapę można jednakże traktować jako niezależną warstwę tematyczną i wykorzystywać w innych systemach informacyjnych.

Drugą warstwę tematyczną bazy danych będą stanowić informacje o glebach zaczerpnięte z mapy Gleb Polski (Dobrzyński, 1972). W systemie STOPUZ zostaną wykorzystane tylko informacje odnoszące się do gleb użytków zielonych i to do użytków na tyle dużych, aby mogły być one odwzorowane za pomocą przynajmniej kilku pikseli na zdjęciach wykonanych radiometrem AVHRR.

Zdjęcia wykonane za pomocą tego radiometru z pokładu satelity NOAA zostaną wykorzystane do określania wilgotności gleb użytków zielonych na podstawie ewapotranspiracji określonej z wykorzystaniem radiacyjnej temperatury roślinności.

Wobec dowiedzionego braku bezpośredniej zależności między radiacyjną temperaturą roślinności a wilgotnością gruntu, postanowiono w niniejszej pracy wykorzystać zależność pośrednią, wykorzystując w tym celu zjawisko ewapotranspiracji. Przyjęto za autorami takimi jak Penman (1956), Monteith (1965), Slatyer i McIlroy (1961), że w optymalnych warunkach uwilgotnienia gleby roślinność wyparowuje wodę w sposób maksymalny. Natomiast zarówno brak wody, jak i jej nadmiar wpływają na zmniejszenie ilości wyparowanej wody. Ilość maksymalnie wyparowanej wody przez roślinność z danej gleby z nieograniczonym dostępem do wody, czyli z tak zwaną ewapotranspiracją potencjalną, można wyliczyć teoretycznie przy znajomości takich parametrów jak saldo promieniowania, gęstość strumienia ciepła wymienianego pomiędzy powierzchnią czynną a podłożem, temperatura termometru zwilżonego, prędkość wiatru (Slatyer i McIlroy 1961). Zatem z chwilą określenia aktualnego parowania można tę

wielkość odnieść do parowania potencjalnego i na tej podstawie wnioskować o uwilgotnieniu gleby.

W projekcie założono, że ewapotranspirację aktualną będzie można oszacować wykorzystując równanie bilansu cieplnego. Występujące w tym równaniu ciepło jawne zależy wprost proporcjonalnie od wielkości różnicy pomiędzy temperaturą radiacyjną powierzchni roślin a temperaturą powietrza. Radiacyjną temperaturę roślin mierzy się za pomocą radiometru. W niniejszych badaniach przyjęto, że ta temperatura zostanie zmierzona radiometrem ręcznym z wysokości około 1 m nad powierzchnią trawy, z samolotu operującego na kilku wysokościach w zakresie 100 m - 1600 m i wreszcie z satelity NOAA wyposażonego w Udoskonalony Radiometr Bardzo Wysokiej Rozdzielczości (AVHRR).

Pomiary radiacyjnej temperatury traw zostaną przeprowadzone jednocześnie z różnych pułapów, co pozwoli określić wpływ pary wodnej zawartej w atmosferze na wielkości tłumienia długofalowego promieniowania podczerwonego. Wykonanie tych pomiarów z różnych pułapów pozwoli ponadto określić wpływ wielkości pola widzenia radiometru i rodzaju obserwowanej powierzchni terenu na wartość pomiaru temperatury. Inne parametry potrzebne do oszacowania ewapotranspiracji aktualnej zostaną zmierzone na stacjach meteorologicznych.

Tak oszacowana ewapotranspiracja chwilowa (aktualna) zostanie z kolei porównana z ewapotranspiracją aktualną określoną w terenie za pomocą tzw. metody profilowej (Pulson 1970, Thom 1975, Webb 1965, 1970), a także z ewapotranspiracją aktualną zmierzoną za pomocą lizymetrów. Porównując te trzy, a w zasadzie dwie metody pomiarów terenowych i teledetekcyjnych, będzie można ustalić dokładność, z jaką można wyznaczyć ewapotranspirację za pomocą teledetekcji. Zakłada się jednak, że błąd pomiaru nie powinien przekraczać 20%, co można uznać za wartość dopuszczalną w szacowaniu wilgotności gruntów użytków zielonych na podstawie zdjęć satelitarnych.

Znajomość ewapotranspiracji aktualnej oraz potencjalnej umożliwi wyznaczenie wilgotności gleby w strefie korzeniowej roślin z relacji zachodzącej między tymi wielkościami. Dla sprawdzenia wyznaczonej wartości wilgotności zostanie zastosowana także inna metoda, w której wykorzystuje się zależność między ciepłem jawnym a utajonym czyli ewapotranspiracją aktualną (Dąbrowska-Zielińska 1987),

W opracowanym systemie wyznaczania wilgotności gleb użytków zielonych zakłada się, że źródłem informacji o radiacyjnej temperaturze traw będą zdjęcia satelitarne wykonywane za pomocą radiometru AVHRR z pokładów satelitów serii NOAA. Radiometr ten mierzy odbicie i emisję promieniowania elektromagnetycznego w pięciu kanałach spektralnych, w tym w jednym widzialnym, dwóch bliskiej i środkowej podczerwieni i w dwóch w podczerwieni termalnej (Schneider, McGinnis, Gatlin 1981). Fakt posiadania tych informacji umożliwi także obliczenie tak zwanego wskaźnika zieleni wykorzystywanego do określenia biomasy.

W celu sprawdzenia informacji otrzymywanych za pomocą teledetekcji zostały wybrane dwa poligony badawcze zlokalizowane na obszarach dużych kompleksów użytków zielonych: mianowicie w dolinie górnej Obry koło Kościana oraz na Krowim Bagnie w pobliżu Sosnowicy. Dobór tych poligonów został podyktowany przede wszystkim możliwością ich wyróżnienia na zdjęciach satelitarnych wykonywanych za pomocą radiometru AVHRR, a więc na zdjęciach o przestrzennej zdolności rozdzielczej wyrażającej się wielkością około 100 ha. Ponadto w pobliżu tych obszarów znajdowały się stacje obserwacyjne poznańskiej Akademii Rolniczej oraz Lubelskiego Oddziału IMUZ, w których prowadzono pomiary i obserwacje agrometeorologiczne.

W opracowanym systemie STOPUZ zakłada się dynamiczne określanie wilgotności gleb użytków zielonych. Zachodzi zatem konieczność porównywania radiacyjnej temperatury roślin odwzorowanych na różnych zdjęciach satelitarnych, których rozdzielczość czasowa wynosi teoretycznie około 1 doby. Z uwagi na fakt, że każde zdjęcie satelitarne jest wykonywane z innego punktu w przestrzeni występuje poważna trudność w porównywaniu treści zdjęć, gdyż te same obiekty terenowe zajmują różne położenia w lokalnym układzie poszczególnych zdjęć. Stąd też te wszystkie układy lokalne trzeba sprowadzić do jednego wspólnego układu.

W tym celu została opracowana przez W. Bychawskiego metoda geometryzacji zdjęć i wpasowywania ich w przyjęty układ odniesień przestrzennych (Bychawski, 1988a). Geometryzacja zdjęć, ze swej istoty, wywołuje redystrybucję pikseli, którym w nowym układzie trzeba nadać odpowiednią jasność. Również i w tym przypadku W. Bychawski zaproponował własną metodę określenia wielkości wag nowo utworzonych pikseli, w której to jasność

piksela po redystrybucji jest wagowana wielkością powierzchni fragmentu piksela trafiającego do określonego pola w układzie odniesień przestrzennych (Bychawski, 1988b). Obie te metody zostały oprogramowane przez K. Lady-Drużycką na znajdujący się w Ośrodku Przetwarzania Zdjęć Lotniczych i Satelitarnych IGIK komputer PDP 11/34 pracujący w systemie RSX-11M.

Zanim jednak zdjęcie satelitarne zostanie przedstawione w nowym układzie, trzeba wartości liczbowe poszczególnych pikseli zamienić na wartości temperatury radiacyjnej. Zdjęcie takie, po odebraniu w Ośrodku Odbioru Zdjęć Satelitarnych w Krakowskim Oddziale Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, zostaje poddane zabiegowi tak zwanej kalibracji, a następnie poprawione wartości liczbowe poszczególnych pikseli są zamieniane na wartości temperatury czarnej, czyli luminacji i wreszcie przeliczane na temperaturę radiacyjną.

Aby nie dokonywać tych operacji na całym zbiorze obejmującym obszar Polski wraz z terenami przygranicznymi państw sąsiednich w Instytucie Geodezji i Kartografii został opracowany przez T. Rzędkowskiego program pozwalający na wybieranie z całego zdjęcia poszczególnych pikseli, reprezentujących obszary użytków zielonych i obliczanie ich temperatury radiacyjnej skorygowanej dodatkowo o wielkość tłumienia, rejestrowanego przez radiometr AVHRR, promieniowania podczerwonego przez parę wodną zawartą w atmosferze. Tak określona temperatura radiacyjna wybranych użytków zielonych jest dopiero wykorzystywana w omówionej poprzednio metodzie szacowania ewapotranspiracji aktualnej.

Informacje dotyczące obszarów użytków zielonych, takie jak ich położenie, wielkość, charakterystyka fitosocjologiczna, warunki glebowe, hydrologiczne a także aktualna ewapotranspiracja i wilgotność, po ich umieszczeniu w bazie danych systemu STOPUZ zostaną następnie wykorzystane w modelu symulacyjnym GRASSGROW opracowanym w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych przez W. Olsztę. Za pomocą tego modelu będzie można określać potrzeby nawodnień użytków zielonych w poszczególnych częściach Polski, a także prognozować wielkość plonów w różnych stadiach rozwoju roślin.

W modelu tym zdecydowana większość parametrów ma charakter stały, zmiennymi są jedynie aktualna ewapotranspiracja i wilgotność gleby w strefie korzeniowej roślin. Te dwie wielkości

zmiennie zarówno w czasie jak i w przestrzeni będą w sposób ciągły, teoretycznie nawet codziennie, dostarczane za pomocą tele-detekcji satelitarnej.

System STOPUZ stanie się zarówno narzędziem, za pomocą którego będzie można monitorować stan wilgotności gleb użytków zielonych i podejmować decyzje co do potrzeb nawodnienia określonych obszarów; będzie też zezwalać na wnioskowanie o wielkości produkcji pasz zielonych i ewentualnie o wielkości strat wynikających z nieodpowiednich warunków wilgotnościowych.

#### L I T E R A T U R A

- Bychawski W. (1988 a). *Geometryzacja zdjęć satelitarnych*. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii. T. XXXV, s. 33-44.
- Bychawski W. (1988 b). *Umieszczanie danych pochodzących z tele-detekcji w polach układu odniesień przestrzennych*. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii. T. XXXV, s. 47-58.
- Dobrzański B., Siuta J., Strzemiński M., Witek T., Zawadzki S. (1972). *Gleby Polski*. Wydawnictwa Geologiczne.
- Dąbrowska-Zielińska K. (1987). *Inferring evapotranspiration from remotely sensed thermal radiation data*. Australian National University, Canberra.
- Grzyb S. (1986). *Roboczy podział użytków zielonych wraz z zasadami ich identyfikacji do map w skali 1:100 000*. Maszynopis. Falenty.
- Monteith J.L. (1965). *Evaporation and environment*. W: *The state and movement of water in living organisms*. Symp. Soc. Exp. Biol. 19, s. 205-234.
- Paulson C.A. (1970). *The mathematical representation of wind speed and temperature profiles in the unstable atmospheric surface layer*. J. Appl. Meteorol. Nr 9, s. 857-861.
- Penman H.L. (1956). *Evaporation: an introductory survey*. Neth. Jour. Agr. Sci. Nr 4, s. 8-29.
- Podiacha K. (1986). *Kartograficzny system TEMKART*. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii. T. XXXIII, z. 2/77, s.3-18.
- Slatyer R.O., McIlroy I.G. (1961). *Practical microclimatology*. Paris: UNESCO.

Schneider S.R., McGinnis D.F., Gatlin J.A. (1981). *Use of NOAA AVHRR visible data for land remote sensing*. Washington, D.C: US. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA Tehnical Memorandum NESS 84).

Thom A.S. (1975). *Momentum, mass and heat exchange of plant communities*. W: Monteith J.L. red. *Vegetation and the atmosphere*. London: Academic Press.

Webb E.K. (1965). *Aerial microclimate*. W: Waggner P.E. red. *Meteorological monographs*. Am. meteorol. Soc. Nr 6, s. 27-53.

Recenzował: doc. dr hab. Janusz Ostrowski

Przyjęto do opublikowania w dniu 13 lipca 1989r.

ANDRZEJ CIOŁKOSZ

KATARZYNA DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA

## REMOTE SENSING BASED SYSTEM FOR DYNAMIC GRASSLAND SOIL MOISTURE DETERMINATION AND YIELD FORECASTING

### S u m m a r y

Main foundations of remote sensing based system for grassland yield assessment were presented in this article. The system will allow for dynamic determination of grassland soil moisture, using information derived from satellite images. Conception of new land use map for Poland, prepared on the basis of high-resolution satellite data, was discussed; information on grasslands contained in this map will feed the above mentioned system.

The method of determination of evapotranspiration and soil moisture was also characterized; this method is based on radiation temperature of grass measured by AVHRR radiometer installed on the board of NOAA satellites. Information on grasslands, derived from remotely sensed data, will be used in

GRASSGROW simulation model. Using this model it will be possible to assess irrigation requirements for grasslands and to make yield prognosis in different stages of plant development.

Translation: Zbigniew Bochenek

Анджей Циолкош

Катажина Домбровска-Зелиньска

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ  
СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ  
ПАСТБИЩНЫХ УГОДИЙ С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СБОРОВ

Р е з ю м е

В статье представлены принципы Системы дистанционного определения сборов с пастбищных угодий, разрешающей динамически определять влажность почв, на которых выступают пастбища, с использованием информации, предоставляемых космическими снимками. Рассмотрена концепция новой карты землепользования в Польше, составляемой на основе космических снимков с большой разрешающей способностью, из которых информации о пастбищах будут использованы в упомянутой системе. Охарактеризован также способ определения эвапотранспирации и влажности почв с использованием радиационной температуры трав, измеряемой с помощью радиометра AVHRR с борта спутников серии NOAA. Информации о пастбищах, получаемые с помощью дистанционного зондирования, будут использованы в имитационной модели GRASSGROW. С помощью этой модели можно будет определить потребности орошения пастбищных угодий и прогнозировать величину сборов в разных стадиях развития растений.

Перевод: Róża Tołstikowa

