

**Katarzyna Dąbrowska–Zielińska**  
**Wanda Kowalik**  
**Maria Gruszczyńska**  
**Agata Hościło**

## **GLOBALNY MONITORING ŚRODOWISKA I BEZPIECZEŃSTWA (GMES) INTEGROWANIE DANYCH OBSERWACJI ZIEMI DLA OBSZARU POLSKI**

*Streszczenie.* Program GMES podzielony jest na tematykę „Środowisko” i „Bezpieczeństwo”. Tematyka Środowisko obejmuje zadania monitorowania oceanów i atmosfery oraz monitorowanie powierzchni Ziemi w tym prognozowanie plonów, rozwój roślinności, udostępnienie systemu wczesnego ostrzegania, zrównoważone wykorzystanie zasobów wodnych w celu odpowiedniego zarządzania. Tematyka „Bezpieczeństwo” obejmuje zarządzanie obszarami w razie zagrożeń naturalnych i zapewnienie bezpieczeństwa cywilnego w razie zagrożeń naturalnych. W ramach tematyki GMES został przyjęty zintegrowany projekt pt. „Produkty GMES i ich użyteczność w integrowaniu danych obserwacji Ziemi wspomagających wprowadzenie Europejskich dyrektyw i Europejskiej polityki w odniesieniu do pokrycia terenu oraz do roślinności.”. W Projekcie tym wśród 56 instytucji bierze udział Instytut Geodezji i Kartografii. W ramach wykonywanych prac zostaną zastosowane agro – meteorologiczne modele oparte o zmienne parametry klimatyczne oraz zostanie wprowadzony system prognozy plonów, oparty o modele teledetekcyjne uwzględniające wyprowadzone z danych teledetekcyjnych wartości ewapotranspiracji, indeksy roślinne, oraz indeksy suszy. Badania nad poszczególnymi modelami prowadzącymi od stosunkowo prostych do skomplikowanych metod uzyskiwania parametrów biofizycznych będzie przeprowadzone dla obszaru Polski.

### **1. Wprowadzenie**

W 2002 roku Komisja Europejska oraz Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) powołały program GMES (Global Monitoring for Environment and Security) koordynujący operacyjny globalny monitoring środowiska przy pomocy sztucznych satelitów i wszelkich danych zbieranych na powierzchni ziemi. Program ma dostarczać informacji o powierzchni Ziemi dla zachowania zrównoważonego rozwoju środowiska. Uzyskane dane będą zastosowane w wielu dziedzinach gospodarki przyczyniając się do ich rozwoju jak również spełnia rolę w ostrzeganiu przed niebezpieczeństwami w tym również katastrof naturalnych oraz będą wykorzystane w celu zagwarantowania bezpieczeństwa w aspekcie militarnym.

Program GMES podzielony jest na tematykę „Środowisko” i „Bezpieczeństwo”. Tematyka Środowisko obejmuje zadania monitorowania oceanów i atmosfery oraz monitorowanie powierzchni ziemi w tym prognozowanie plonów, rozwój roślinności, udostępnienie systemu wczesnego ostrzegania, zrównoważone wykorzystanie zasobów wodnych w celu odpowiedniego zarządzania. Tematyka „Bezpieczeństwo” obejmuje zarządzanie obszarami i zapewnienie bezpieczeństwa cywilnego w razie zagrożeń naturalnych.

GMES ma za zadanie dostarczenie danych do weryfikacji polityki unijnej środowiska jak np. traktat z Kyoto, dyrektyw unijnych oraz dostarczanie i wykorzystanie danych o środowisku do wykorzystania przez odpowiednich użytkowników oraz ma zapewnić finansowe i instytucjonalne podstawy funkcjonowania systemu i jego ewolucji.

VI Program Ramowy Badań i Rozwoju Technicznego (6PR) został utworzony przez Unię Europejską do podjęcia badań przez instytucje naukowe oraz przez małe i średnie przedsiębiorstwa w Europie. W ramach VI Programu wyróżniono następujące priorytetowe obszary nauki:

- nauki przyrodnicze, genomika i biotechnologia dla zdrowia,
- technologie społeczeństwa informacyjnego,
- nanotechnologia, materiały wielofunkcyjne i nowe procesy produkcyjne oraz urządzenia,
- aeronautyka i przestrzeń kosmiczna,
- jakość żywności i bezpieczeństwo,
- zrównoważony rozwój, zmiany globalne i ekosystemy,
- obywatele i rządzenie w społeczeństwie opartym na wiedzy.

W ramach priorytetu tematycznego AERO (aeronautyka i przestrzeń kosmiczna) realizowany jest program GMES. W ramach Programu GMES został wyłoniony w konkursie UE Zintegrowany Projekt GEOLAND “GMES products & services, integrating EO monitoring capacities, to support the implementation of European directives and policies related to land cover and vegetation. Produkty GMES i ich użyteczność w integrowaniu danych obserwacji Ziemi wspomagających wprowadzenie Europejskich dyrektyw i Europejskiej polityki w odniesieniu do pokrycia terenu oraz do roślinności. W Projekcie tym wśród 56 instytucji bierze udział Instytut Geodezji i Kartografii.

Celem Projektu jest opracowanie dla przyszłego strategicznego Programu GMES aspektów dotyczących pokrycia roślinnego poprzez dostarczanie produktów geo-informacji o środowisku i przekazywanie tych informacji do odpowiednich władz odpowiedzialnych za implementację konwencji międzynarodowych, Unijnych aktów prawnych i dyrektyw wykorzystując istniejące zasoby informacji o Ziemi integrując je w modelach i przygotowując je do operacyjnego zastosowania w skali Europy przez odpowiednich użytkowników. Program GEOLAND ma również na celu zintegrowanie istniejących już modeli, baz danych EO, wyników Projektów Unijnych już zakończonych poprzez integrację i harmonizację dotychczasowych działań w tym zakresie (programy CORINE Land Cover, INSPIRE, SIBERIA, ELDAS,,

GLOBCARBON, MARS, TREES) i przedstawienie ich odpowiednim Instytucjom zajmującym się wdrażaniem danych o środowisku.

Efekty działania w ramach tego projektu będą wykorzystane przez współdziałające grupy tematyczne projektu Geoland oraz przez krajowe agencje stosujące informacje o użytkowaniu ziemi i prognozie plonów w swych pracach planistycznych i projektowych.

Instytut Geodezji i Kartografii Zakład Teledetekcji bierze udział w tzw. Food Security and Crop Monitoring (OCM) oraz w Generic Land Cover Service. Określanie powierzchni upraw poprzez szybkie oszacowanie na podstawie satelitów o średniej rozdzielczości (250 m) – MERIS, MODIS Przeprowadzenie klasyfikacji z wykorzystaniem sieci neuronowych i statystyk.

Obliczanie wielkości plonów w czasie zbliżonym do rzeczywistego dla wybranych powierzchni w Europie poprzez dane EO, meteorologiczne, kalendarze upraw, modele wzrostu roślin. Jednym z obszarów testowych jest Polska.

Określenie produkcji roślinnej dla siatki 5 i 50 km z wykorzystaniem danych satelitarnych, modeli, analizę dostępnych baz danych.

Sprawdzenie metod dla trzech wybranych obszarów testowych: Polska, Belgia, Hiszpania. W wyniku badań, jako główne zadanie zostanie przeprowadzona prognoza plonów.

W niniejszym artykule zostanie omówiona metodyka prognozy plonów zastosowana w zadaniu Monitorowanie Upraw z Uwzględnieniem Bezpieczeństwa. Zbudowany system monitorowania będzie oparty o zintegrowane obserwacje pochodzące z obserwacji naziemnych, statystyk rolniczych i obserwacji satelitarnych.

W ramach wykonywanych prac Instytut Geodezji i Kartografii zastosuje agro – meteorologiczne modele oparte o zmienne parametry klimatyczne oraz wprowadzi system prognozy plonów, oparty o modele teledetekcyjne uwzględniające wyprowadzone z danych teledetekcyjnych wartości ewapotranspiracji, indeksy roślinne, oraz indeksy suszy. Badania nad poszczególnymi modelami prowadzącymi od stosunkowo prostych do skomplikowanych metod uzyskiwania parametrów biofizycznych będzie przeprowadzone dla obszaru Polski. Wskaźniki glebowo – roślinne zostaną opracowane z zastosowaniem danych teledetekcyjnych z nowej generacji z rozdzielczością 250 m ENVISAT-MERIS, TERRA-MODIS, ADEOS2-GLI oraz na podstawie danych pochodzących z satelitów o wysokiej rozdzielczości czasowej SPOT-VEGETATION, NOAA/AVHRR.

Mapy zmienności poszczególnych wskaźników dla lat 1992 - 2003 zostaną wykonane dla każdego województwa w Polsce. Zostaną wyznaczone różnice we wzroście roślin w poszczególnych latach oraz kumulacja wartości poszczególnych wskaźników w tym kumulacja wskaźnika powierzchni projekcyjnej liści LAI.

W ramach zadania zostaną przeprowadzone analizy statystyczne – produkcja roślinna, warunki agro-meteorologiczne, wskaźniki glebowo-roślinne, określenie trendu. Zostanie zbadana walidacja wyników poprzez agregację przestrzenną poszczególnych wskaźników do odpowiedniej jednostki administracyjnej.

## 2. Wykorzystanie danych satelitarnych

Na podstawie licznych doświadczeń przeprowadzonych w wielu krajach została opracowana metoda różnicowania roślinności na zdjęciach satelitarnych, pozwalająca jednocześnie na ocenę jej stanu. W metodzie tej wykorzystano informacje pozyskiwane zarówno w promieniowaniu widzialnym jak i podczerwonym. Polega ona na obliczaniu dla każdego piksela, z których utworzone jest zdjęcie satelitarne, wskaźnika roślinnego (*VI*) lub wskaźnika nazywanego powszechnie znormalizowanym wskaźnikiem zieleni (*NDVI* - Normalised Difference Vegetation Index). Te wskaźniki uznaje się jako najbardziej efektywne do korelowania z parametrami agrometeorologicznymi. Obok znormalizowanego wskaźnika zieleni pojawiło się pojęcie wskaźnika skumulowanego, który reprezentuje uśrednione wartości wskaźnika zieleni dla różnych okresów, np. tygodnia lub dekady. Ten wskaźnik został wykorzystany do opracowania map charakteryzujących stan i rozwój roślinności na obszarach poszczególnych kontynentów, a nawet na całej kuli ziemskiej. W prowadzonych badaniach stwierdzono, że właśnie wielkość wskaźnika zieleni jest ściśle związana z absorbowanym przez rośliny promieniowaniem słonecznym, wykorzystanym w procesie aktywnej fotosyntezy i stąd wartości znormalizowanego wskaźnika zieleni związane są z wielkością akumulowanej biomasy.

Zakresy promieniowania rejestrowanego przez radiometr AVHRR zostały tak dobrane aby maksymalnie różnicowały odbicie tego promieniowania od roślinności znajdującej się w różnych stadiach rozwoju czy też charakteryzującej się różną kondycją wywołaną przede wszystkim suszą. Na podstawie wielkości odbicia promieniowania w różnych zakresach widma określano różne tzw. wskaźniki roślinne. Jednym z nich jest Znormalizowany Wskaźnik Zieleni (*NDVI*) obliczony z wartości albedo cząstkowego według następującej zależności

$$NDVI = (A_2 - A_1) / (A_2 + A_1) \quad (1)$$

gdzie:

$A_{1,2}$  - wartości albedo (cząstkowego) w kanale 1, 2;

$A_i = G_i \cdot DN_i + I_i$ ;

$G_i, I_i$  - wartości współczynników charakteryzujących dany radiometr oraz kanał 1 lub 2;

$DN_i$  - surowe wartości zliczeń w  $i$ -tym kanale.

Znormalizowany wskaźnik zieleni (*NDVI*) nie jest wystarczającą informacją o warunkach wzrostu roślin. W celu otrzymania dokładniejszych informacji o stanie roślin musi być zastosowany dodatkowo inny wskaźnik utworzony na podstawie danych pozyskiwanych w kanałach rejestrujących radiacyjną temperaturę roślin. Na podstawie zdjęć satelitarnych wykonanych za pomocą radiometru AVHRR z satelitów NOAA można obliczyć temperaturę radiacyjną zobrazowanych obiektów.

### 3. Modelowanie agro-meteorologiczne

Energia cieplna roślin jest funkcją ich temperatury. Regulowana jest ona w procesie wymiany ciepła z otoczeniem poprzez wypromieniowanie, konwekcję oraz proces transpiracji. Jednym ze wskaźników wilgotności roślin wykorzystującym temperaturę radiacyjną ( $T_s$ ) jest różnica tej temperatury i temperatury powietrza ( $T_a$ ). Wielkość tej różnicy zależy od promieniowania słonecznego, wiatru oraz deficytu wilgotności powietrza. Różnica pomiędzy temperaturą radiacyjną roślin a temperaturą powietrza jest funkcją bilansu energetycznego, wzór 1 przedstawia uproszczone równanie tego bilansu. Od różnicy temperatur ( $T_s - T_a$ ) zależy wielkość ciepła jawnego ( $H$ ) a więc ciepła przepływającego wskutek różnicy temperatur pomiędzy roślinami a otoczeniem.

$$RN = LE + H + G \quad (1)$$

gdzie:

$RN$  – strumień różnicowy promieniowania (saldo promieniowania)

$LE$  – gęstość strumienia ciepła utajonego

$H$  – gęstość strumienia ciepła jawnego

$G$  – gęstość strumienia ciepła wymianianego pomiędzy powierzchnią czynną a podłożem (wszystkie strumienie są w  $W\ m^{-2}$ )

$$H = \rho C_p (T_s - T_a) / r_a \quad (2)$$

gdzie:

$\rho$  – gęstość powietrza ( $kg\ m^{-3}$ );

$C_p$  – ciepło właściwe powietrza ( $J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ );

$T_s$  – temperatura powierzchni czynnej uzyskana ze zdjęć satelitarnych ( $^\circ C$ );

$T_a$  – temperatura powietrza ( $^\circ C$ );

$r_a$  – opór powietrza ( $s\ m^{-1}$ ).

Dla każdej zarejestrowanej jednostki obrazu satelitarnego NOAA/AVHRR został obliczony strumień ciepła jawnego i utajonego a następnie ich wzajemny stosunek. Kiedy rośliny nie mają dostatecznej wilgotności w strefie korzeniowej roślin, temperatura roślin znacznie wzrasta i większość dostarczonej energii zamieniona jest na wytworzenie ciepła jawnego. Wówczas wartość ciepła jawnego przybiera wysokie wartości. Stosunek ciepła jawnego do utajonego został uznany za dobry wskaźnik wilgotności gleby.

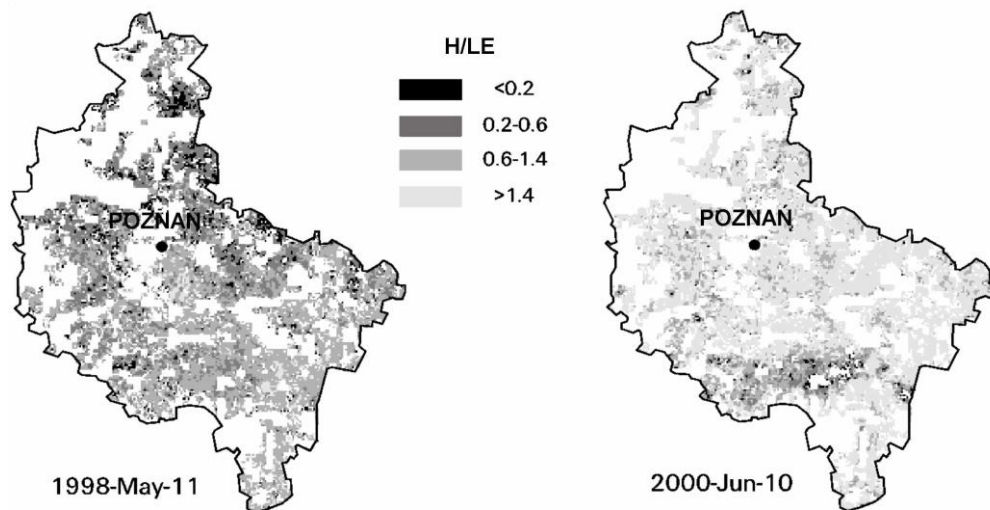


Fig. 1. Wskaźnik  $H/LE$  dla województwa Wielkopolskiego.

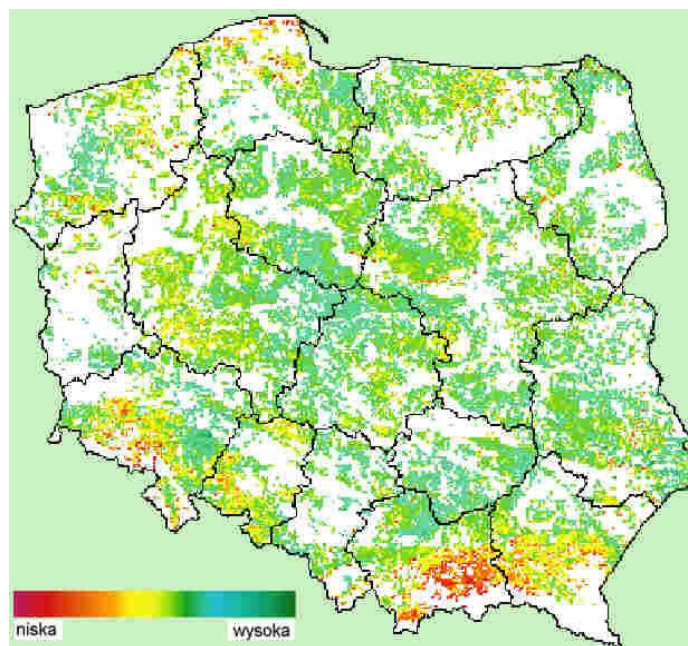


Fig. 2. Rozkład wartości ewapotranspiracji dla Polski.

Wysoki wskaźnik odpowiada warunkom niedoboru wilgoci, które istniały w czasie suszy w czerwcu 2000 roku. Znacznie lepsze warunki panowały w maju 1998 roku, gdy do porównania wybrany został okres analogicznej fazy rozwoju zbóż. Strumień ciepła utajonego może być zamieniony na wartość ewapotranspiracji dla całego kraju. Rysunek 2 przedstawia rozkład wartości parowania w poszczególnych jednostkach administracyjnych dla każdego piksela zdjęcia satelitarnego NOAA dla obszarów rolniczych.

Informacja ta jest bardzo przydatna dla prognozowania plonów, jak również dla systematycznego określania strat w bilansie wodnym. Dzięki codziennej rejestracji satelity NOAA całej Polski, przy bezchmurnej pogodzie można uzyskać wartość strumienia ciepła utajonego, jawnego, jak również obliczyć wskaźnik roślinny NDVI, dzięki któremu uzyskujemy informacje o wielkości biomasy.

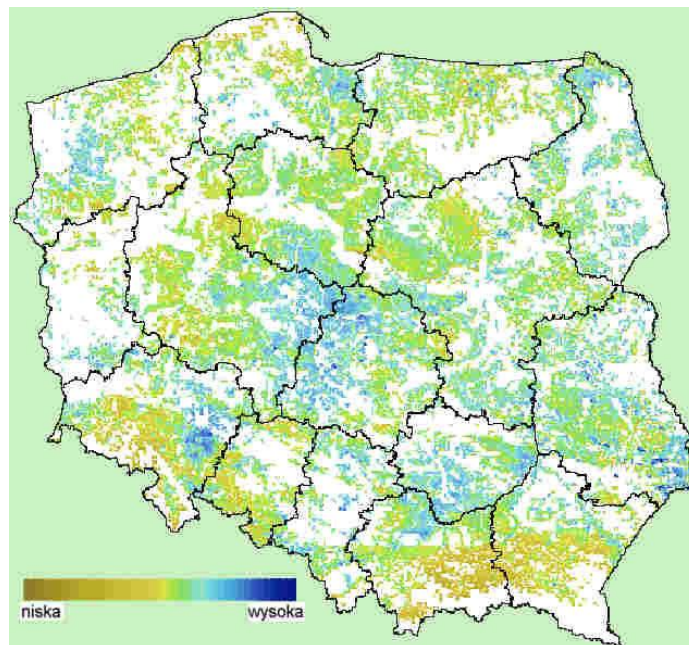


Fig. 3. Rozkład wartości wilgotności gleby.

Stosując obliczony wskaźnik dla całej Polski uzyskano rozkład wartości wilgotności gleby. Wartości wskaźnika wilgotności uzyskane w okresie maksymalnego zapotrzebowania roślin na wodę wraz z wartościami wskaźnika NDVI zostały wprowadzone do modelu obliczającego powierzchnię projekcyjną liści LAI.

$$LAI = f(NDVI, H/LE) \quad (4)$$

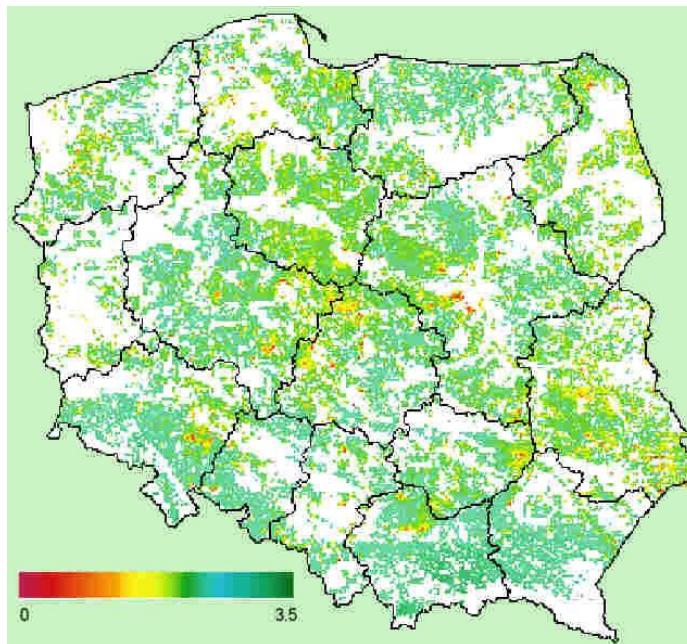


Fig. 4. Rozkład wartości wskaźnika *NDVI*.

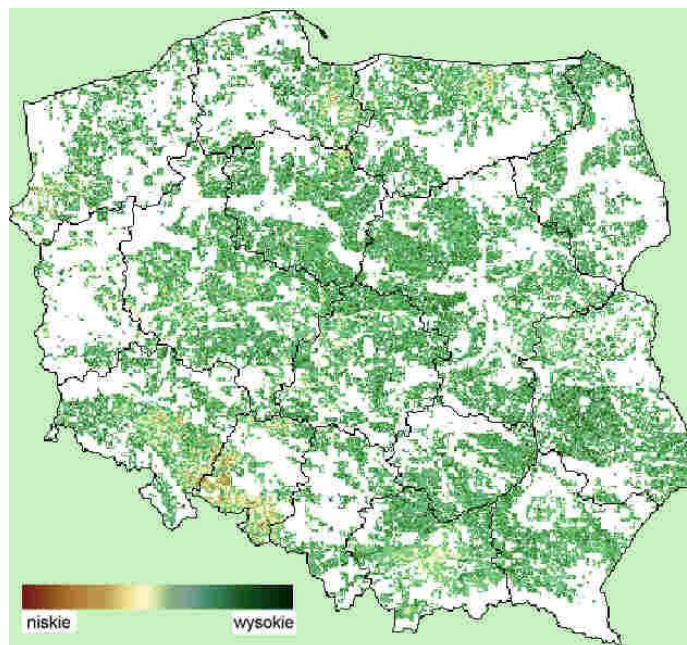


Fig. 5. Rozkład wartości wskaźnika *LAI*.



Poprzez zbieranie informacji o wilgotności gleby, ewapotranspiracji i powierzchni projekcyjnej liści *LAI* monitorowane są obszary występowania suszy. Jest to zagadnienie które włączone jest w problematykę GMES.

Dzięki możliwości codziennego monitorowania obszaru Polski można z dużym wyprzedzeniem wykonać prognozę plonów, oraz dostarczyć informacje o obniżeniu plonów, spowodowanym występowaniem suszy.

## **Literatura**

- Dąbrowska – Zielińska K., 1995, Szacowanie ewapotranspiracji, wilgotności gleb i masy zielonej łąk na podstawie zdjęć satelitarnych NOAA; Prace Geograficzne nr 165
- Dąbrowska – Zielińska K., Kogan F., Ciołkosz A., Gruszczyńska M., Rączka U., Kowalik W., Jankowski R., 1998, New method of drought detection based on NOAA satellite and its impact on Polish agriculture; ASPRS-RTI Annual Conference Tampa. Florida
- Goward S.N., Tucker C.J., Dye D.G., 1985, North American vegetation patterns observed with the NOAA-7 Advanced Very High Resolution Radiometer; *Vegetation* 64, 3-14
- Holben B.N., 1986, Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data; *Int. J. Remote Sensing* 7,1417
- Sellers P.J., 1985, Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration.; *Int.J.Remote Sensing* 6,1335
- Sellers P.J., 1987, Canopy reflectance photosynthesis and transpiration II Theory of biophysics in the linearity of their independence;. *Remote Sensing of Env.*, 21, 143-183
- Tucker C.J., Holben B.N., Elgin J.H., Mc Murtrey J.E., 1981, Remote Sensing of totall dry matter accumulation in winter wheat; *Remote Sens. Env.*, 11, 171-189

Recenzował: prof. dr hab. Aleksandra Bujakiewicz