

## **INFOSAT — baza przetworzonych danych satelitarnych NOAA AVHRR do monitorowania przestrzeni rolniczej Polski**

*INFOSAT — a database of processed NOAA AVHRR satellite images for monitoring of arable land in Poland*

Krystyna STANKIEWICZ, Zbigniew BOCHENEK

Processed satellite data, which can be used for crop condition monitoring and yield forecasting on the territory of Poland, are stored at the INFOSAT database. Raw data are collected by AVHRR scanner, installed on the board of NOAA meteorological satellites. NOAA AVHRR images are located at the INFOSAT database after preliminary processing steps, which also include data selection and aggregation. The main aim of

database construction — monitoring of agricultural land in Poland — was crucial for choice of preliminary processing stages. The goal of the article is to present general information on the methods of preparation of data, entered to the database, about structure and up-to-date database contents, as well as about current and planned ways of its utilization.

Baza danych INFOSAT gromadzi przetworzone dane satelitarne, które mogą być wykorzystane do monitorowania stanu roślin uprawnych i prognozowania plonów na obszarze Polski. Jej podstawę stanowią dane zarejestrowane przez skaner AVHRR, pracujący na satelitach meteorologicznych NOAA. Obrazowe dane satelitarne są umieszczane w bazie po przetworzeniach wstępnych obejmujących między innymi selekcję i agregację danych. Przeznaczenie bazy do monitorowania przestrzeni rolniczej Polski miało decydujący wpływ na wybór stosowanych przetworzeń wstępnych. Celem artykułu jest przedstawienie ogólnej informacji o metodach przygotowania danych wprowadzanych do bazy, o strukturze i aktualnej wartości bazy oraz o bieżących i przewidywanych sposobach wykorzystania jej zasobów.

### **Wprowadzenie**

Obrazy satelitarne rejestrowane za pomocą skanera AVHRR umieszczanego na satelitach meteorologicznych, począwszy od TIROS-N po NOAA-14,

a obecnie w nieco zmodyfikowanej wersji na satelitach z serii NOAA-KLM (NOAA-15 i NOAA-16), są od lat cenionym i intensywnie wykorzystywanym źródłem informacji w teledetekcji. Znalazły one szerokie zastosowanie zarówno w badaniach powierzchni mórz i oceanów, jak w wielkoobszarowych badaniach powierzchni lądów i ich pokrywy roślinnej. Wynika to zarówno z doboru rejestrowanych zakresów widma fal elektromagnetycznych, przestrzennej zdolności rozdzielczej, częstości rejestracji i bogatych zasobów danych archiwalnych, jak i ze stosunkowo łatwego dostępu do danych. Nie bez znaczenia jest też istnienie starannej dokumentacji tych zobrazowań, udostępnianej obecnie przez Internet.

Istnieje kilka dużych archiwów gromadzących dane pozyskiwane za pomocą skanerów AVHRR, np. NOAA/NESDIS, ESA/ESRIN, stacja odbiorcza w Dundee itp. Dostęp do niektórych z tych archiwów odbywa się poprzez Internet, jak np. w przypadku Satellite Active Archive (<http://www.saa.noaa.gov>). Bazy danych, w których przechowywane są niezredukowane dane o rozdzielczości przestrzennej 1 km<sup>2</sup> bardzo szybko

powiększając swoje rozmiary i wymagają zastosowania wysoko wydajnego systemu komputerowego do przeszukiwania zgromadzonych zasobów.

Wiele różnych ośrodków gromadzi także dane AVHRR w postaci przystosowanej do wykorzystania w konkretnych programach badawczych. Ograniczając się do zastosowań lądowych, można jako przykłady takich przedsięwzięć wymienić bazy zawierające kompozycje obrazów przeznaczone do badań lądów na kuli ziemskiej<sup>1</sup>:

- AVHRR Land Pathfinder Data Set,
- Global Land 1 km AVHRR Data Set, IGBP.

Do badań w skali całego globu lub w skali kontywentów wykorzystywane są także dane AVHRR o rozdzielczości zredukowanej, np. dane w formacie GAC o rozdzielczości 4 x 4 km<sup>2</sup>. Przykłady stanowią baza danych Kronos (Kalluri i inni, 1999) oraz uzyskiwany na podstawie danych GAC produkt GVI (*Global Vegetation Index*) udostępniany przez NOAA/NESDIS.

Obok dużych archiwów powstały liczne bazy danych NOAA AVHRR przykrojone do badań prowadzonych lokalnie, w skali kraju lub regionu. Cel utworzenia takich zasobów jest na ogół wyraźnie określony, np. monitorowanie występowania pożarów, monitorowanie występowania suszy itp. Do tego typu baz należy INFOSAT. Jest to baza przeznaczona do wykonywania różnego rodzaju analiz dla obszarów rolniczych Polski, z wykorzystaniem zarówno bieżących danych satelitarnych, jak i danych z lat poprzednich.

Baza INFOSAT powstała w związku z potrzebą poszerzenia i zmodyfikowania zasobów danych, wykorzystywanych dotąd w IGiK do opracowywania teledetekcyjnych metod oceny stanu roślin uprawnych, prognozowania plonów i monitorowania suszy. Podstawą tego typu badań były w IGiK dwa systemy wykorzystujące dane AVHRR:

— System Oceny Warunków Wzrostu Roślin SOWWR (Bochenek, 1999) utworzony na podstawie danych HRPT i wykorzystujący oprogramowanie opracowane na wzór podobnego systemu działającego w Kanadzie;

— baza wskaźników *TCI* i *VCI* opracowana dla całego świata na podstawie danych w formacie GAC w amerykańskim ośrodku NOAA/NESDIS i przystosowana do wykorzystania w Polsce (Dąbrowska-Zielińska K., 1999).

Chociaż wyniki prac modelowych prowadzonych na podstawie obu tych zestawów danych były bardzo obiecujące, jednak zarazem wykazały potrzebę ich uzupełnień i modyfikacji. Doświadczenia uzyskane w trakcie prac prowadzonych w ramach systemu SOWWR, a także przy modelowaniu prognoz plonów na bazie wskaźników *TCI-VCI*, pozwoliły na określenie cech takiego zestawu danych, który byłby bardziej efektywny i lepiej przystosowany do polskich warunków. Postulowano np. poszerzenie zasobów systemu SOWWR o dane AVHRR z zakresu termalnego oraz

wygenerowanie wskaźników analogicznych do *VCI* i *TCI*, ale przedstawionych w innej reprezentacji przestrzennej, niż pozwala na to format GAC. W rezultacie powstał zestaw danych, dziedziczący kilka cech obu wymienionych baz, ale stanowiący zupełnie nowy produkt.

W artykule przedstawiono zwięzłą charakterystykę wykorzystywanych danych satelitarnych, opis podstawowych założeń, zgodnie z którymi została skonstruowana baza INFOSAT, opis metod zastosowanych przy przetwarzaniu danych źródłowych przed wprowadzeniem ich do bazy, strukturę i zasoby INFOSAT, dane pochodne i sposoby ich otrzymywania oraz wstępną ocenę przydatności bazy.

### Źródłowe dane bazy INFOSAT

Podstawowym źródłem danych gromadzonych w bazie INFOSAT są dane satelitarne w formacie HRPT/LAC pochodzące ze skanera AVHRR. Dane te zostały opisane szczegółowo, zarówno w oryginalnej dokumentacji dostępnej poprzez Internet (<http://perigee.ncdc.noaa.gov/docs/intro.html>), jak i w wielu publikacjach (np. Dąbrowska-Zielińska, 1999; Kozłowska i in., 2000), więc w tym miejscu zostaną przytoczone tylko najbardziej podstawowe informacje.

Dane pozyskiwane przez skaner AVHRR są rejestrowane w postaci obrazów, których piksel ma rozmiar 1,1 km x 1,1 km. Obrazy w tej postaci mogą być rejestrowane na pokładzie satelity (format LAC) lub odbierane w lokalnych stacjach odbiorczych w postaci transmisji HRPT. Rozprowadzane są także dane o zredukowanej rozdzielczości przestrzennej w formacie GAC oraz ich pochodne.

W trakcie transmisji HRPT przesyłane są nie tylko dane obrazowe, ale także szereg danych dotyczących parametrów pozyskiwania obrazu, parametrów lotu satelity i kalibracji czujników. Rejestrowany obraz zawiera w pojedynczej linii 2048 pikseli. Rejestracja odbywa się w pięciu kanałach spektralnych — od widzialnej czerwieni do dalekiej podczerwieni. Zakresy długości fal elektromagnetycznych rejestrowanych przez poszczególne urządzenia AVHRR nie zawsze są jednakowe, ale reprezentatywnym przykładem dla serii TIROS-N-NOAA-14 jest zakres kanałów skanera AVHRR, pracującego na satelicie NOAA-14 (kanał 1: 0,58–0,68 μm; kanał 2: 0,725–1,1 μm; kanał 3: 3,55–3,93 μm; kanał 4: 10,3–11,3 μm; kanał 5: 11,4–12,4 μm).

Od 1997 roku Instytut Geodezji i Kartografii posiada własną stację odbiorczą transmisji HRPT. Zarejestrowane dane są przekształcane do standardowego formatu o nazwie poziom 1B. W formacie tym, danym obrazowym towarzyszą informacje o położeniu geograficznym wybranych pikseli obrazu oraz parametry niezbędne do przeprowadzenia kalibracji wartości rejestrowanych w kanałach termalnych. Obrazy w tej postaci stanowią punkt wyjścia do dalszych specjalizowanych przetworzeń.

<sup>1</sup> Bez obszarów okołobiegunowych.

## Założenia wstępne dotyczące danych przechowywanych w bazie INFOSAT

Głównym założeniem przyjętym przy konstrukcji bazy INFOSAT było przystosowanie tej bazy do możliwości sprzętu komputerowego średniej klasy i do łatwo dostępnego oprogramowania. Dane zgromadzone w bazie powinny umożliwić wygodne konstruowanie różnych wskaźników odzwierciedlających stan upraw zależny od fazy rozwojowej i kondycji roślin.

Na podstawie wieloletnich badań prowadzonych w różnych ośrodkach zaobserwowano, że wnioskowanie o stanie upraw jest możliwe na podstawie znormalizowanego wskaźnika zieleni *NDVI*, obliczanego na podstawie wartości rejestrowanych w kanałach 1 i 2 AVHRR, jak również na podstawie temperatury radiacyjnej  $T_s$  wyznaczanej z wartości rejestrowanych w kanałach termalnych tego instrumentu. Analiza zmienności przestrzennej i czasowej wskaźnika *NDVI* oraz temperatury  $T_s$  stanowi podstawę projektowania sposobu reprezentacji danych AVHRR w bazie INFOSAT.

Wymienione założenia wpływają decydująco na wszystkie przyjęte dalej rozwiązania. Podstawowe postulaty dotyczące struktury i zawartości bazy INFOSAT są zatem następujące:

- 1) źródłem danych gromadzonych w bazie są obrazy satelitarne NOAA AVHRR w formacie poziom 1B;
- 2) baza zawiera dane odnoszące się wyłącznie do gruntów ornych na terenie Polski;
- 3) przestrzenna rozdzielczość danych jest zredukowana w stosunku do danych źródłowych;
- 4) dane zawarte w bazie reprezentują kompozycje obrazów dziennych zarejestrowanych w kolejnych dekadach;
- 5) dane reprezentujące obszary zachmurzone w trakcie rejestracji obrazu nie są przechowywane.

Niektóre z tych postulatów wymagają szerszego omówienia. Realizacja postulatu o ograniczeniu zakresu bazy do gruntów ornych zmniejsza jej rozmiar i, co za tym idzie, przyspiesza operacje przeszukiwania zasobów bazy. Wyboru reprezentowanego obszaru dokonano na podstawie bazy danych pokrycia terenu Polski opracowanej w skali 1:100 000 w ramach projektu CORINE (Baranowski, Ciołkosz, 1997). W ramach tego projektu identyfikowano pokrycie/użytkowanie obiektów o powierzchni co najmniej 25 ha. Jest to dokładność przestrzenna wystarczająca do oceny form użytkowania na obszarach odpowiadających pikselom o powierzchni około 100 ha, z którymi mamy do czynienia w obrazach NOAA AVHRR. Przyjęto następujący sposób postępowania. Wzięto pod uwagę 3 klasy reprezentowane w bazie CORINE:

- nienawadniane grunty orne;
- złożone systemy upraw;
- obszary rolnicze ze znaczącym udziałem roślinności naturalnej.

Uznano, że tylko obszary należące do dowolnej

z trzech wymienionych klas reprezentują grunty orne. Na tej podstawie utworzona została dychotomiczna mapa gruntów ornych Polski w skali 1:100 000.

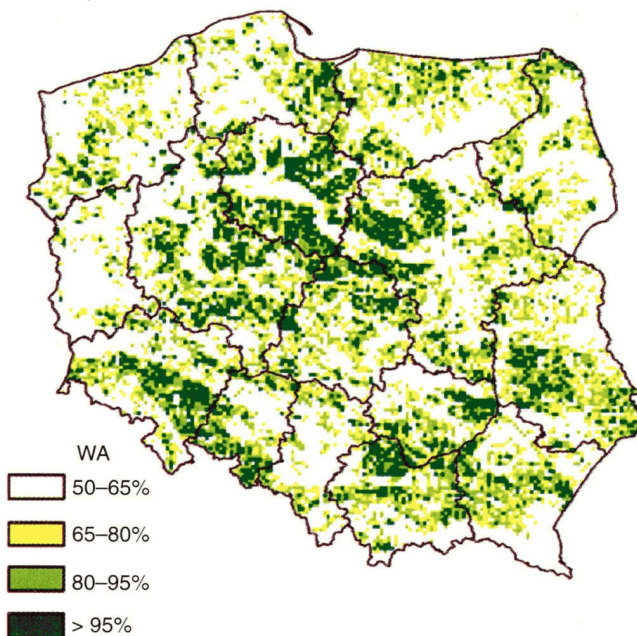
Skonstruowano także referencyjną siatkę pikseli o boku 1 km, pokrywającą obszar całej Polski przedstawiony na mapie w stożkowym odwzorowaniu Albersa. Obrazy satelitarne AVHRR są transformowane do tej siatki w trakcie jednego z początkowych etapów przetwarzania. Na podstawie dychotomicznej mapy gruntów ornych każdemu elementowi stałej siatki przypisano liczbę określającą procentowy udział gruntów ornych w pikselu o boku 1 km. Arbitralnie uznano, że wszystkie piksele, dla których liczba ta jest większa od 50% mogą reprezentować grunty orne. Powstała w ten sposób maska wskazuje piksele obrazu satelitarnego, które będą brane pod uwagę w przygotowaniu danych dla bazy INFOSAT. Pikseli tych jest nieco ponad 180 tys., w tym około 50 tys. reprezentuje właściwie wyłącznie grunty orne. Jak z tego wynika w reprezentacji tej przeważają miksele, których wartości radiometryczne reprezentują obszary o różnych formach użytkowania. Także zróżnicowanie upraw w ramach gruntów ornych zwiększa rozrzut wartości albedo oraz temperatury powierzchni rejestrowanych przez czujniki AVHRR. Na wartości radiometryczne pikseli obrazu satelitarnego ma wpływ także szereg innych czynników wynikających z samej metody pomiarowej, które powodują często trudne do oszacowania błędy.

Jeżeli przy konstruowaniu bazy kierujemy się głównie charakterystyką zmienności przestrzennej wartości *NDVI* i temperatury radiacyjnej, to wydaje się, że najwłaściwszym sposobem redukcji błędów pomiarowych i zmienności wynikającej ze zróżnicowania pokrycia powierzchni jest uśrednianie przestrzenne. Uśrednianie przestrzenne zmniejsza również wpływ błędów powstających przy przypisywaniu pikselom obrazu współrzędnych siatki kilometrowej map topograficznych. Dokładność takiego przypisania jest między innymi zależna od zachmurzenia występującego w trakcie rejestracji obrazu, ze względu na utrudnienia w wyborze stosownych punktów referencyjnych. W praktyce, w polskich warunkach rzadko można osiągnąć precyzję geometryzacji obrazu AVHRR większą niż kilkaset metrów.

Agregacja pikseli nie tylko zmniejsza rozrzut obserwowanych wartości radiometrycznych, ale przede wszystkim znacznie ułatwia i przyspiesza operowanie danymi. Rozważając czynniki takie jak: zróżnicowanie pokrycia powierzchni, zmienność analizowanych wskaźników, wymagania stawiane przez modele agrometeorologiczne oraz możliwości techniczne zdecydowano, że odpowiednim obszarem elementarnym reprezentowanym w bazie INFOSAT będzie kwadratowy piksel o boku 4 km. Siatka pikseli docelowych została skonstruowana na bazie siatki pikseli o boku 1 km. Każdemu dużemu pikselowi została przypisana waga określona względną liczbą pikseli o boku 1 km, zakwalifikowanych jako reprezentujące grunty



orne. Duże piksele o wadze nie mniejszej niż 0,5 zostały uznane za reprezentujące grunty orne w grubej siatce. Wyróżniono 11 817 takich pikseli, które dalej są określane jako obszary elementarne OE bazy. Zostały one jednoznacznie ponumerowane i stanowią podstawowy zbiór obiektów przestrzennych w bazie INFOSAT. Na rycinie 1 został przedstawiony rozkład przestrzenny OE oraz ich stratyfikacja ze względu na udział pikseli o boku 1 km, które zostały uznane za reprezentujące grunty orne.



Ryc. 1. Reprezentacja przestrzenna gruntów ornych w bazie INFOSAT przez obszary elementarne OE wraz z określeniem udziału procentowego (WA) pikseli NOAA reprezentujących grunty orne w poszczególnych OE

Fig. 1. The spatial representation of arable land in INFOSAT database by elementary areas OE. The percentage of NOAA pixels representing arable land in each OE is demonstrated

Ze względu na często występujące zachmurzenie, które zaburza wartości radiometryczne lub wręcz uniemożliwia pozyskanie obrazu, standardową metodą przygotowywania zdjęć AVHRR do interpretacji stało się tworzenie kompozycji na podstawie obrazów pozyskiwanych w ustalonym przedziale czasu, np. w ciągu tygodnia lub dekad. Można założyć, że wartości wskaźnika *NDVI* zmieniają się w niewielkim zakresie w ciągu tygodnia, a nawet dekady, za to znaczące obniżenie wartości *NDVI* w tak krótkim okresie wskazuje raczej na zakłócenia spowodowane zachmurzeniem. Standardowym kryterium wyboru wartości radiometrycznych do kompozycji wieloczasowej obrazów jest więc wystąpienie maksymalnej wartości *NDVI* w danym przedziale czasu. Dany piksel kompozycji jest reprezentowany przez wartości zarejestrowane w poszczególnych kanałach tego obrazu, dla którego wartość *NDVI* jest największa w rozpatrywanej grupie. W systemie SOWWR podstawą tworzenia kompozycji jest dekada, natomiast w bazie współczyn-

ników *TCI*, *VCI* jest to tydzień. Krótszy okres jest lepszy z punktu widzenia monitorowania środowiska roślinnego, jednak w praktyce częstość występowania niekorzystnych warunków pogodowych decyduje o wyborze reprezentacji dekadowej. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że w Polsce zdarzają się okresy tak długo utrzymującego się zachmurzenia, że utworzenie kompozycji tygodniowych może być niemożliwe. Dekadę wybrano jako optymalny okres do tworzenia kompozycji wykorzystywanych w bazie INFOSAT. Zdarza się, że nawet w kompozycjach dekadowych widoczny jest wpływ zachmurzenia. Zdecydowano, że wartości radiometryczne wyraźnie zniekształcone z powodu występowania chmur nie będą przechowywane w bazie. Wydaje się, że bardziej korzystne jest dokonywanie interpolacji na podstawie wartości niezaburzonych (lub zaburzonych w niewielkim stopniu) i uzupełnianie w ten sposób brakujących danych, niż przechowywanie wartości o jakości trudnej do oceny.

### Przetwarzanie danych źródłowych do postaci wykorzystywanej w bazie INFOSAT

W ramach międzynarodowego programu dotyczącego badań geosfery i biosfery (*International Geosphere Biosphere Program*) opisanego przez J. Townshenda (Townshend, 1994), opracowano sposób przygotowania produktu będącego mozaiką obrazów AVHRR o rozdzielczości 1 km dla całego globu. W ramach tego i podobnych projektów ustalili się rekomendowany sposób przetwarzania wstępnego obrazów AVHRR zapewniający spójność przestrzenną i czasową danych. Przetwarzanie wstępne obejmuje wyznaczenie współrzędnych geograficznych odpowiadających wybranym pikselom obrazu, kalibrację transmitowanych wartości do wartości albedo (w przypadku kanałów 1 i 2) lub do wartości luminancji rejestrowanych na poziomie satelity (kanały 3, 4 i 5). Kolejne istotne etapy przetwarzania powinny prowadzić do uzyskania luminancji oraz odpowiednio wartości albedo i temperatury w odniesieniu do obiektów naziemnych. Jednoznacznie określony jest jedynie sposób kalibracji radiometrycznej do wartości luminancji na poziomie satelity, pozostałe etapy wstępnych przetworzeń są przez różne ośrodki realizowane w kilku wariantach.

Współczynniki kalibracji dla kanałów widzialnego i bliskiej podczerwieni są podawane w odpowiednim biuletynie dostępnym na stronach Internetowych NOAA/SIS (*NOAA Satellite Information System*). W przypadku satelity NOAA-14 dane kalibracyjne dla kanałów 1 i 2 podawane są co miesiąc. Wynika to między innymi z obserwowanej degradacji sensora. W pozostałych kanałach kalibracja odbywa się na bieżąco na podstawie danych referencyjnych przekazywanych łącznie z obrazem.

Przejście od projekcji wyznaczonej przez geometrię obrazowania do wybranej projekcji docelowej, np. równopowierzchniowej projekcji stożkowej Albersa odbywa się przy wykorzystaniu informacji o pozycji

satelity w trakcie obrazowania, uzupełnionej wskazaniem punktu kontrolnego wybranego przez operatora. Ze względu na występujące często zachmurzenie zrezygnowano z metody polegającej na ustanowieniu zestawu stałych punktów kontrolnych i badaniu korelacji w otoczeniach tych punktów z obrazem referencyjnym.

W trakcie geometryzacji obrazu wyznaczane są dodatkowo parametry geometrii obrazowania, takie jak kąt zenitalny satelity i kąt zenitalny Słońca. Parametry te są wykorzystywane w procesie korekcji rejestrowanych wartości radiometrycznych ze względu na wpływ atmosfery oraz w trakcie wyszukiwania pikseli będących obrazem chmur. Wszystkie obrazy są ponownie próbkowane do ustalonej siatki pikseli o boku 1 km w równopowierzchniowej projekcji stożkowej Albersa, co umożliwia porównywanie obrazów i tworzenie kompozycji dekadowych.

Na podstawie wartości albedo  $A_1^{\text{sat}}$  i  $A_2^{\text{sat}}$  wyznaczonych na poziomie satelity w wyniku kalibracji obliczany jest wskaźnik  $NDVI^{\text{sat}}$ , także odniesiony do poziomu satelity. Wartości  $NDVI^{\text{sat}}$  są wykorzystywane dalej wyłącznie do tworzenia kompozycji dekadowych. Korekcja wpływu atmosfery na wartości albedo w kanałach 1 i 2 odbywa się zgodnie z algorytmem opracowanym przez P.M. Teilleta (Teillet, 1992). Do korekcji wykorzystuje się tablice wiążące wartości rejestrowane na poziomie satelity z wartościami na powierzchni Ziemi przy różnych parametrach geometrii obrazowania. Tablice te zostały utworzone z wykorzystaniem programu 5S (Tanré i inni, 1990) przy założeniu standardowego profilu atmosfery przyjętego dla okresu letniego na obszarach położonych w strefie średnich szerokości geograficznych. Skorygowane wartości albedo służą następnie do wyznaczenia wartości wskaźnika  $NDVI$  odniesionego do powierzchni Ziemi.

Przetworzenia wstępne, którym poddawane są wartości DN zarejestrowane w kanałach 1, 2, 4 i 5 każdego obrazu z poziomu 1B, obejmujące:

— kalibrację danych z kanałów 1 i 2:

$$DN1 \rightarrow A_1^{\text{sat}}; DN2 \rightarrow A_2^{\text{sat}};$$

— wyznaczenie parametrów transformacji obrazu do mapy w projekcji stożkowej równopowierzchniowej Albersa wraz z określeniem dodatkowych parametrów geometrii obrazowania, takich jak kąt zenitalny Słońca  $\Theta_{\text{sol}}$  i kąt zenitalny satelity  $\Theta_{\text{sat}}$ ;

— próbkowanie obrazu do przestrzeni mapy w projekcji Albersa;

— korekcję wpływu atmosfery na wartości albedo w kanałach 1 i 2, prowadzącą do powstania produktu cyfrowego KALMAP. Produkt ten zawiera mapy rozkładów przestrzennych takich wielkości jak albedo  $A_1$  i  $A_2$  w kanałach 1 i 2 (odniesione do powierzchni Ziemi),  $NDVI^{\text{sat}}$  (na poziomie satelity), DN4, DN5,  $\Theta_{\text{sat}}$  oraz  $\Theta_{\text{sol}}$ . Kompozycja dekadowa jest tworzona, zgodnie z zalecanym standardem, na podstawie wartości wskaźnika  $NDVI^{\text{sat}}$  na poziomie satelity. Po jej utworzeniu dokonywana jest transformacja wartości rejestrowanych

w kanałach termalnych na wartości temperatury. Wykorzystywane są w tym celu tablice wartości temperatury obliczonych na podstawie aktualnych współczynników kalibracji dla pełnego zakresu rejestrowanych wartości, tj. dla liczb całkowitych w przedziale od 0 do 1024.

Proces tworzenia kompozycji dekadowej wpływa na zmniejszenie liczby pikseli stanowiących obraz chmur, ale na ogół nie eliminuje takich pikseli całkowicie. Do detekcji chmur zastosowano metodę progową stanowiącą pewną modyfikację metody zastosowanej w systemie SOWWR, w którym kontroli podlegają jedynie wartości albedo z kanału 1 i wartości  $NDVI$ . W systemie SOWWR kanały termalne nie są brane pod uwagę. Zazwyczaj w progowych metodach detekcji chmur przeprowadzanych jest kilka testów dla każdego piksela, także z uwzględnieniem kanałów termalnych. Na przykład w metodzie Saundersa (Saunders, Kriebel i inni, 1988) wstępne wskazanie obszarów zachmurzonych odbywa się na podstawie porównania temperatury  $T_5$  z wartością progową. Podstawowy test na obecność cienkich chmur złożonych z kryształów lodu jest oparty na badaniu różnicy wartości temperatur  $T_4 - T_5$ .

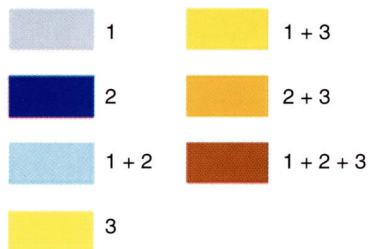
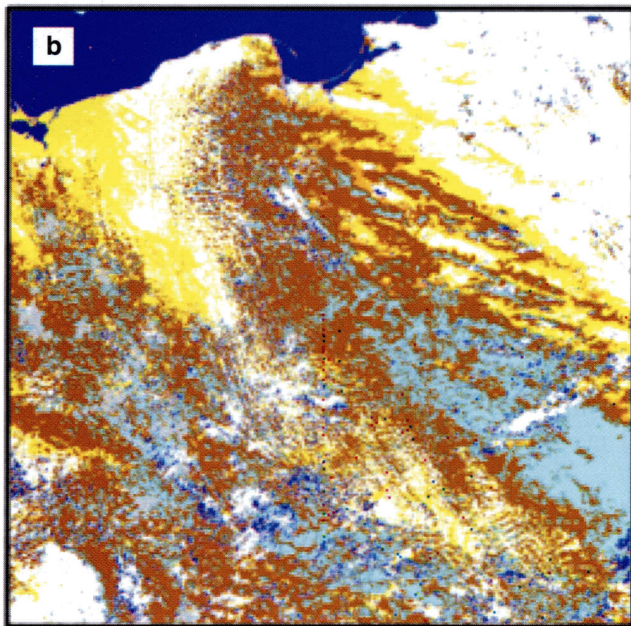
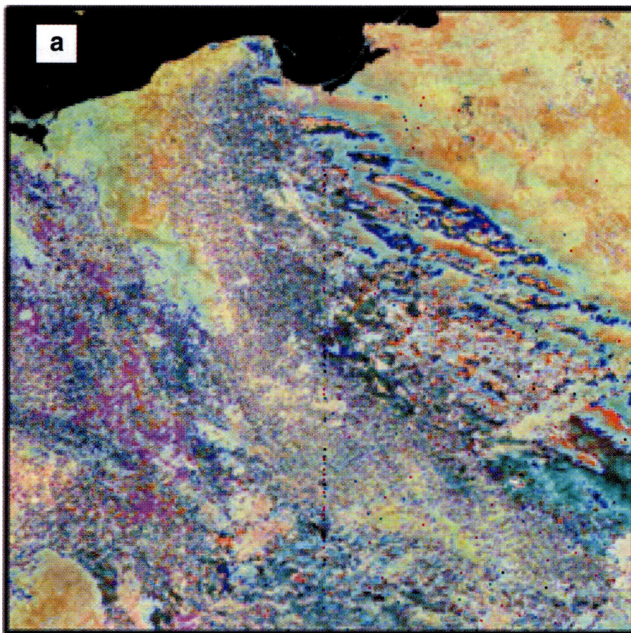
W porównaniu z innymi metodami progowymi testy przeprowadzane przy przygotowaniu danych do bazy INFOSAT są uproszczone z powodu zawężenia zakresu badań do dziennych obrazów obszarów lądowych. W metodach progowych najtrudniejsze jest zwykle określanie samych wartości progów. Ponieważ w ramach systemu SOWWR został już opracowany zbiór wartości progowych albedo i  $NDVI$  dla obrazów z lat 1992–2000, więc w przypadku bazy INFOSAT postanowiono zastosować podobną metodę detekcji chmur, wzbogaconą jednak o test na obecność chmur typu cirrus. Sprawdzane są więc wartości albedo w kanale 1, wartości wskaźnika  $NDVI$  oraz różnica temperatur w kanale 4 i 5. Przyjmowane jest najostrożniejsze kryterium: wystarcza, że spełniony jest którykolwiek z poniższych warunków, aby uznać, że badany piksel stanowi obraz chmur:

1.  $A_1 > A_p$
2.  $NDVI < NDVI_p$
3.  $T_4 - T_5 > T_p(T_4, \Theta_{\text{sat}})$

gdzie:  $A_p$  — progowa wartość albedo w kanale 1, określana przez operatora na podstawie analizy wizualnej obrazu;  $NDVI_p$  — progowa wartość  $NDVI$ , określana przez operatora na podstawie analizy wizualnej obrazu;  $T_p(T_4, \Theta_{\text{sat}})$  — progowa wartość różnicy temperatur  $T_4$  i  $T_5$ . Wartości  $T_p$  zależą od temperatury rejestrowanej w kanale 4 i od kąta zenitalnego satelity. Wartości funkcji  $T_p(T_4, \Theta_{\text{sat}})$  zostały wyznaczone na podstawie analizy dużego zbioru obrazów NOAA AVHRR i przedstawione w postaci tabelarycznej w modelu detekcji chmur o nazwie APOLLO przez Kriebela i innych (1999).

Na rycinie 2a przedstawiono przykład kompozycji barwnej uzyskanej na podstawie wartości zarejestrowanych w kanałach 4, 2 i 1, wyświetlonych odpowied-



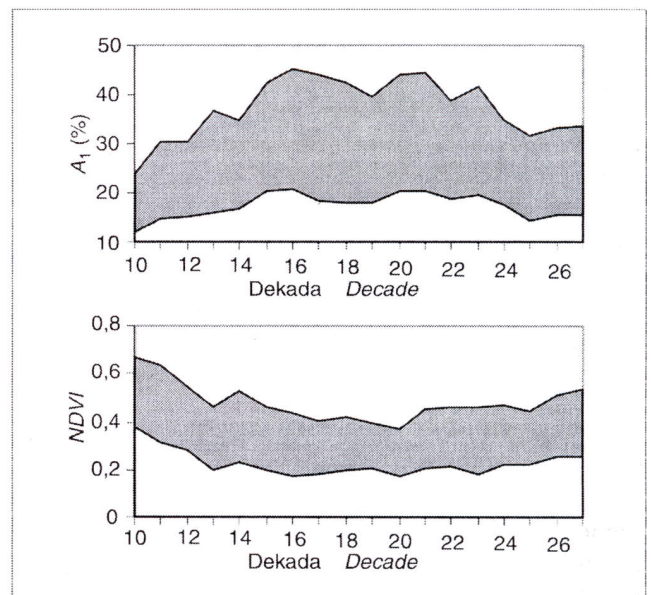


Ryc. 2. Kompozycja barwna (a) uzyskana na podstawie kanałów 4, 2, 1 obrazu NOAA AVHRR i odpowiadająca jej maska chmur (b) skonstruowana wg kryteriów

1:  $A_1 > A_p$ ; 2:  $NDVI < NDVI_p$ ; 3:  $T_4 - T_5 > T_p(T_4, \theta_{sat})$ .  
 Fig. 2. Colour composite (a) from NOAA AVHRR channels 4, 2 and 1 and corresponding cloud mask (b) obtained by the application of the following criteria: 1:  $A_1 > A_p$ ; 2:  $NDVI < NDVI_p$ ; 3:  $T_4 - T_5 > T_p(T_4, \theta_{sat})$

nio w barwie czerwonej, zielonej i niebieskiej. Na obrazie tym przeważają chmury. Na rycinie 2b przedstawiono wyniki zastosowania różnych kryteriów obecności chmur do tego obrazu. Odmiernymi barwami oznaczono piksele zaliczone do maski chmur wg kryteriów 1, 2 i 3 oraz wg możliwych ich kombinacji. Największa liczba pikseli zidentyfikowanych jako zachmurzone spełnia wszystkie trzy kryteria jednocześnie. Na obrzeżach dużych obszarów zachmurzonych pojawiają się chmury, które można zidentyfikować przede wszystkim na podstawie kryterium 3. Duża różnica temperatur mierzonych w kanałach 4 i 5 świadczy bowiem przede wszystkim o obecności cienkich, półprzezroczystych chmur wysokich, które przejawiają różne własności optyczne w zależności od długości fali elektromagnetycznej. Kryterium to pozwala także na zidentyfikowanie obecności chmur większości innych typów poza jednorodnymi chmurami niskimi.

Wadą zastosowanej metody detekcji chmur jest ustalanie wartości progowych  $A_p$  i  $NDVI_p$  przez operatora. Analiza zbioru wartości progowych wyznaczonych na podstawie kompozycji dekadowych (dekady od 10 do 27) z lat 1992–2000 wskazuje na duży rozrzut tych wartości. Zakresy zmienności wartości progowych albedo w kanale 1 oraz  $NDVI$  przedstawione są na ryc. 3a ( $A_1$ ) i ryc. 3b ( $NDVI$ ). Na tak dużą zmienność wpływają takie czynniki jak rodzaj, intensywność i rozkład przestrzenny zachmurzenia, stan atmosfery zależny od pory roku itp. Najtrudniejsza jest identyfikacja chmur na obszarach lądowych nie pokrytych roślinnością ze względu na dużą wartość odbicia promieniowania od gleby, rejestrowaną w kanale 1. Ma to duże znaczenie w przypadku zdjęć z okresu wiosen-



Ryc. 3. Zakresy zmienności wartości progowych albedo  $A_1$  (a) i  $NDVI$  (b) w latach 1992–2000

Fig. 3. The range of threshold values for albedo  $A_1$  (a) and  $NDVI$  (b) within the period of 1992–2000

nego lub z okresu po żniwach. Podniesienie dokładności identyfikacji chmur na obrazach AVHRR jest bardzo ważne, gdyż wprowadzanie danych dotyczących obszarów zachmurzonych do bazy INFOSAT jest istotnym źródłem błędów obciążających dalsze etapy analizy danych. Ostatni etap przetworzeń wstępnych stanowi uśrednianie wartości albedo, *NDVI* i temperatury na obszarach odpowiadających wszystkim OE. W przypadku albedo i *NDVI* proces ten obejmuje następujące etapy:

- odszukanie w ramach OE odpowiednich wartości pikseli obrazu reprezentujących grunty orne;
- sprawdzenie, czy znalezione piksele nie należą do obszarów zachmurzonych;
- obliczenie wartości średniej, o ile liczba pikseli o wartościach radiometrycznych nie zaburzonych przez występowanie chmur jest nie mniejsza od wyznaczonej wartości progowej.

W przypadku uśredniania wartości temperatury należy wziąć pod uwagę możliwość znaczącego zróżnicowania jej wartości w ciągu dekady. Przyjęto zasadę, że wartość średnia wyznaczana jest wyłącznie na podstawie temperatur zarejestrowanych tego samego dnia, co wymaga dodatkowo przeprowadzenia kontroli terminu pozyskiwania wartości dla poszczególnych pikseli kompozycji dekadowej. Jeśli w ramach OE nie ma wystarczającej (np. większej niż 5) liczby pikseli obrazu zarejestrowanych tego samego dnia, wtedy temperatura średnia nie jest wyznaczana. W okresach silnego zachmurzenia liczba OE, dla których udaje się wyznaczyć wyłącznie średnią wartość *NDVI*, jest na ogół większa niż tych, dla których można wyznaczyć jednocześnie średnie wartości *NDVI* i temperatury. Kolejne etapy przetwarzania, od tworzenia kompozycji po wprowadzanie danych do bazy, podsumowuje schemat przepływu danych przedstawiony na rycinie 4.

### Struktura bazy INFOSAT jako relacyjnej bazy danych

W fazie projektowej przyjęto założenie, że dostęp do bazy INFOSAT powinni mieć użytkownicy nie dysponujący wyrafinowanymi i drogimi systemami przetwarzania danych przestrzennych i obrazowych. Z tego powodu Microsoft Access dostępny w popularnym pakiecie Microsoft Office został wybrany jako System Zarządzania Relacyjnymi Bazami Danych (SZRBD). Baza INFOSAT jest bazą analityczną. Sposób zarządzania, uaktualniania i wykorzystania bazy INFOSAT nie jest związany z jednoczesnym wykonywaniem dużej liczby transakcji, jak to ma miejsce w przypadku operacyjnych baz danych. Uzupełnianie bazy odbywa się raz w ciągu dekady, a pozostałe transakcje dotyczą wykorzystania danych zawartych w bazie do dalszego wnioskowania. Wydaje się więc, że wybrany SZRBD jest wystarczająco efektywny, aby zapewnić sprawne funkcjonowanie bazy.

Cechy charakterystyczne bazy INFOSAT są bliskie

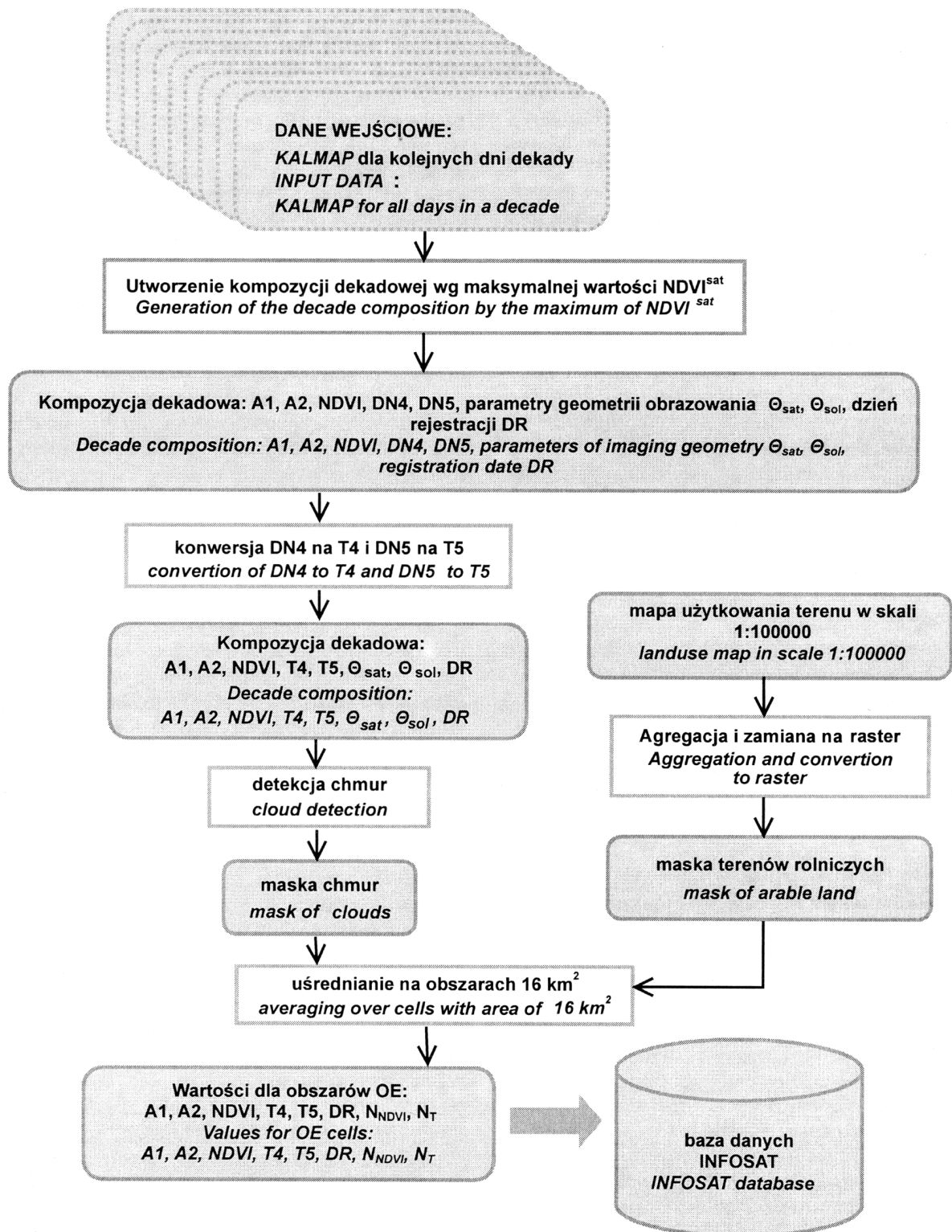
pojęciu hurtowni danych, czyli bazy służącej analitykom do wspomaganie podejmowania decyzji. Takie cechy jak orientacja tematyczna, trwałość, agregacja danych, rozległość związana z przechowywaniem szeregów czasowych zamiast bieżących stanów są typowe dla opisu zawartości hurtowni danych. Większą sprawność wykorzystania takich danych zapewnić może odpowiedni system obsługi hurtowni wyposażony w stosowne narzędzia dostępu do danych. Wraz ze wzrostem rozmiaru bazy INFOSAT może więc zaistnieć konieczność odwołania się do narzędzi, które wykorzystują technikę OLAP, czyli przetwarzanie analityczne na bieżąco. W takie możliwości wyposażone są: Microsoft SQL Server 7.0 oraz stosowne produkty firm ORACLE, SYBASE, INFORMIX i innych.

Ponieważ dane przechowywane w bazie INFOSAT mają charakter przestrzenny, sprawą istotną jest możliwość ich prezentacji w postaci map, a także możliwość przeprowadzania analiz przestrzennych z ich wykorzystaniem. Operacje takie ułatwiają profesjonalne systemy przetwarzania danych przestrzennych i obrazowych, np. oprogramowanie MGE (Modular GIS Environment) firmy INTERGRAPH, bądź pakiet ArcView firmy ESRI ze względu na ich przystosowanie do współpracy z bazami danych zarządzanymi między innymi przez MS Access. Współpraca z systemem przetwarzania danych przestrzennych może narzucać dodatkowe warunki na strukturę bazy, ale zarazem ułatwia prezentację danych oraz wykonanie bardziej złożonych analiz.

Podstawowymi obiektami przechowywanymi w bazie danych są tabele, które służą do przechowywania informacji w zorganizowanej strukturze pól (kolumn) i rekordów (wierszy). Każda tabela reprezentuje pewien konkretny temat, np. rozmieszczenie elementów OE, dane satelitarne przypisane do OE, jednostki podziału terytorialnego itp. Każdy rekord tabeli opisuje pojedynczy obiekt czyli encję, a pole zawiera wartości tego samego atrybutu dla wszystkich wystąpień obiektów. Do jednoznacznej identyfikacji rekordu tabeli służy pewien minimalny zbiór atrybutów, który nosi nazwę klucza. Wartości klucza nie mogą powtarzać się w wierszach tabeli.

Struktura danych w tabelach baz relacyjnych musi spełniać określone postulaty. Prawidłowe funkcjonowanie bazy zależy od tego, czy tabele zostały doprowadzone do tak zwanej postaci normalnej. Podstawę procesu normalizacji stanowi zasada, zgodnie z którą każdy fakt przechowywany w bazie powinien być wyrażalny w niej tylko na jeden sposób (Banachowski, 1998). Niespełnienie tego warunku może prowadzić do redundancji oraz anomalii przy modyfikacji, wstawianiu i usuwaniu danych. W tabelach, w pierwszej postaci normalnej dla każdego egzemplarza encji, każdy atrybut powinien przyjmować pojedynczą, atomową wartość. W tabeli, w drugiej postaci normalnej, dodatkowo każdy atrybut niekluczowy jest w pełni funkcyjnie zależny od klucza głównego. Trzecia postać normalna wymaga spełnienia postulatów pierw-





Ryc. 4. Schemat przetwarzania map skalibrowanych wartości albedo, NDVI i temperatury do postaci odpowiedniej dla bazy INFOSAT.  
Fig. 4. Data flow from maps of calibrated values of albedo, NDVI and temperature to INFOSAT database

szego i drugiego poziomu normalności, a ponadto każdy niekluczowy atrybut musi być bezpośrednio, a nie przechodnio, zależny od klucza głównego. Kontrolę poprawności danych wprowadzanych do bazy ułatwia sformułowanie reguł integralności, które określają dopuszczalne wartości atrybutów i dopuszczalne cechy relacji (Benyon-Davies, 1998).

Dla sprawnego operowania danymi zawartymi w bazie bardzo ważne jest prawidłowe określenie relacji pomiędzy tabelami. W bazie INFOSAT pomiędzy tematami, których dotyczą tabele występuje relacja *jeden-do-wielu*. Ma ona miejsce wtedy, kiedy każdemu elementowi jednej tablicy może odpowiadać wiele elementów w innej.



Do tych ogólnych zasad wspólnych dla relacyjnych baz danych mogą dochodzić jeszcze pewne warunki narzucone przez oprogramowanie wykorzystane do prezentacji graficznych zawartości bazy. Jeżeli rekordy tabeli powiązane są jednoznacznie z obiektami graficznymi, wtedy kluczem głównym takiej tabeli jest pole zawierające unikatowy identyfikator obiektu, nadawany automatycznie przez oprogramowanie zarządzające reprezentacją przestrzenną. Na przykład w przypadku współpracy z systemem MGE baza danych musi być zakładana w ramach projektu MGE pod kontrolą tego systemu. Do bazy automatycznie dodawane są wtedy pewne tabele, które częściowo pełnią rolę fizycznego słownika danych. W słowniku danych zapisane są metadane powiązane z aktualnymi strukturami baz danych lub plików. Nie wszystkie systemy przetwarzania przestrzennego narzucają takie wymagania. Opisująca postać bazy INFOSAT nie zawiera obiektów wprowadzonych ze względu na współpracę z systemami graficznymi. Obecnie do prezentacji jej zawartości jest wykorzystywany system ArcView.

Poza tabelami istotne elementy relacyjnej bazy danych stanowią kwerendy, formularze, raporty, makra oraz procedury i zbiory procedur, czyli moduły. Kwerendy są narzędziem służącym do zadawania pytań na temat danych, zgromadzonych w bazie oraz do wykonywania na nich różnych operacji. W wyniku wykonania kwerendy wybierającej otrzymuje się dynamiczny zestaw wyników, który ma postać tabeli, ale nie jest zapamiętywany w bazie, a więc nie obciąża pamięci komputera. Oprogramowanie Access daje możliwość tworzenia kwerend do przedstawiania danych (kwerenda wybierająca i krzyżowa) oraz kwerend funkcjonalnych (kwerenda tworząca tabelę, usuwająca, dołączająca i aktualizująca). Kwerendy można tworzyć wykorzystując siatkę graficzną, która jest narzędziem ułatwiającym formułowanie zapytania w systemie Access. Można także formułować kwerendy jako instrukcje języka SQL lub poprzez procedury zapisane np. w języku Visual Basic for Applications (VBA).

MS Access jest narzędziem IV generacji, co oznacza, że może służyć do tworzenia aplikacji baz danych. Do tego celu wykorzystywane są formularze, raporty i moduły. Formularze są w zasadzie przeznaczone do wprowadzania danych do bazy, ale pozwalają także na wyświetlanie danych w wygodny sposób i na sterowanie różnymi operacjami na danych. Formularze mogą zawierać elementy graficzne oraz narzędzia, czasem bardzo skomplikowane, do wprowadzania danych a zarazem do kontroli wykonywania rozmaitych funkcji. Raporty pozwalają na drukowanie lub przeglądanie danych w określonym przez użytkownika formacie z możliwością prezentowania danych w postaci wykresów.

Moduły również pozwalają na automatyzację, dając zarazem możliwość większej kontroli nad wykonywanymi czynnościami niż makra. Do tworzenia modułów służy język Visual Basic for Applications. Moduły zostały wykorzystane tam, gdzie akcje są po-

wtarzane przy zmieniających się dodatkowych danych wejściowych.

### Tabele bazy INFOSAT i relacje między nimi

W bazie INFOSAT dla każdego obszaru elementarnego OE przechowywane są wartości następujących wskaźników wyznaczonych na podstawie obrazów AVHRR:

- albedo  $A_1$  w zakresie widzialnym;
- albedo  $A_2$  w zakresie bliskiej podczerwieni;
- wskaźnik  $NDVI$ ;
- temperatura  $T_4$  wyznaczona na podstawie wartości rejestrowanych w kanale 4;
- temperatura  $T_5$  wyznaczona na podstawie wartości rejestrowanych w kanale 5;
- liczba pikseli  $N_{NDVI}$  obrazu AVHRR, która posłużyła do określenia wartości średnich w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni dla danego OE;
- liczba pikseli  $N_T$  obrazu AVHRR, która posłużyła do wyznaczenia wartości średnich temperatury dla danego OE;
- kolejny numer DR dnia roku, w którym rejestrowane były uśrednione wartości temperatury; przechowywane wartości odnoszą się zawsze do konkretnego roku i dekady.

Ponadto w bazie są zgromadzone różne dodatkowe informacje ułatwiające operowanie danymi. Są to przede wszystkim dane dotyczące położenia OE, ich usytuowania względem innych obiektów przestrzennych, np. jednostek podziału terytorialnego kraju. Baza zawiera także szereg informacji pozwalających na szybkie zorientowanie się w jej zawartości i ułatwiających administrowanie jej zasobami.

Tabele bazy INFOSAT dzielą się na następujące grupy:

- tabele danych pierwotnych, w których przechowywane są przetworzone dane pochodzące ze zdjęć satelitarnych;
- tabele danych pochodnych;
- tabele danych przestrzennych;
- tabele wspomagające administrowanie bazą zawierające metadane.

Dane pierwotne zostały umieszczone w dwu tabelach: w tabeli danych opartych na kanałach 1 i 2 czujnika AVHRR o nazwie **NOAA\_refl** i w tabeli danych termalnych **NOAA\_term**. W obu wypadkach obiektem reprezentowanym przez rekord tabeli jest obszar elementarny OE. Obszary OE zostały ponumerowane kolejnymi liczbami od 1 do 11 817. Numeracja ta jest stała i stanowi jedną z definicji bazy. Parametry {P} stanowią zbiór atrybutów obszaru OE.

Przedstawienie zależności czasowej danych satelitarnych w sposób naturalny kojarzy się z tabelą wielowymiarową. Niestety jednak wybrany system ZRBD nie posiada narzędzi do obsługi tabel w postaci kstek wielowymiarowych. W związku z tym parametry opisujące zależność czasową danych wchodzą w skład zbioru atrybutów {P}. Tworzą one wraz z numerem

OE złożony klucz podstawowy tabeli, który jednoznacznie identyfikuje rekordy. Encję stanowi zatem obszar OE w określonym czasie. Rycina 5 przedstawia najważniejsze tabele bazy INFOSAT i powiązania między nimi. Pod nazwą każdej z tabel wymieniono nazwy pól definiujących klucze podstawowe tabel (nazwy podkreślone) i klucze obce. W przypadku tabeli **NOAA\_refl** klucz podstawowy tworzą pola *nr\_OE* (zawierające nr identyfikacyjny OE) oraz pola *rok* i *dekada*.

Wprowadzenie dwu tabel zawierających dane podstawowe wynika ze zróżnicowania sposobu prezentacji ich zależności czasowej. Wartości albedo i *NDVI* są dla każdego OE podawane w zależności od roku i kolejnego numeru dekady. Encję stanowi obszar OE w określonej dekadzie. W przypadku temperatury encję stanowi obszar OE w określonym dniu. Dodatkowe użycie kolejnego dnia roku jako atrybutu wartości średnich temperatury spowodowało konieczność przesunięcia tych danych do nowej tabeli. Informacja o dniu rejestracji temperatury została umieszczona w bazie z kilku powodów. Przede wszystkim umożliwia ona wykorzystanie danych termalnych w modelach prognostycznych, w których analizowany jest bilans przepływu energii w momencie pozyskiwania obrazu satelitarnego i gdy oprócz danych teledetekcyjnych wykorzystywane są aktualne dane meteorologiczne. W kompozycji dekadowej dla każdego piksela dane satelitarne pochodzą z określonego dnia dekady i informacja ta ma podstawowe znaczenie dla wyboru pozostałych informacji niezbędnych do oszacowania bilansu energetycznego. Dzień roku określa zarazem źródło danych (konkretny obraz) i może też być traktowany jako dodatkowy parametr jakości. Nie odnosi się on jednak do albedo i wskaźnika *NDVI* ponieważ wielkości te zostały uśrednione bez kontroli dnia rejestracji. Podział na dwie tabele zapewnia spełnienie odpowiednich reguł normalności.

Należy także zauważyć, że umieszczenie wartości wskaźnika *NDVI* w tabeli **NOAA\_refl** nie łamie reguł normalności. Dla pojedynczego piksela obrazu *NDVI* jest funkcją albedo, które jest wyznaczane bezpośrednio z wartości albedo z kanałów 1 i 2. W bazie INFOSAT przechowywane są jednak wyłącznie wartości uśrednione w ramach obszarów elementarnych. Prosta zależność pomiędzy *NDVI* a  $A_1$  i  $A_2$  istniejąca na poziomie pojedynczego piksela nie jest zachowana i w tym sensie *NDVI* nie może być obliczone na podstawie innych danych z bazy INFOSAT. Dla albedo, *NDVI* i temperatury wprowadzono kodowanie, które zachowując wymaganą precyzję danych pozwala na zaoszczędzenie pamięci na ich przechowywanie. Wybrany sposób kodowania pozwala łatwo rozróżnić trzy sytuacje:

- wartości pola nie zostały wprowadzone;
- wartość parametru przedstawianego w polu wynosi 0;
- wartość parametru dla danego OE nie może być wyznaczona z powodu braku danych (np. w wyniku zachmurzenia).

Niewypełnione miejsce w polu to wartość Null, czyli wartość, którą SZRBD rozpoznaje. Występowanie zera wśród zakodowanych wartości albedo, *NDVI* lub temperatury jest równoznaczne z brakiem odpowiednich danych dla wybranego OE.

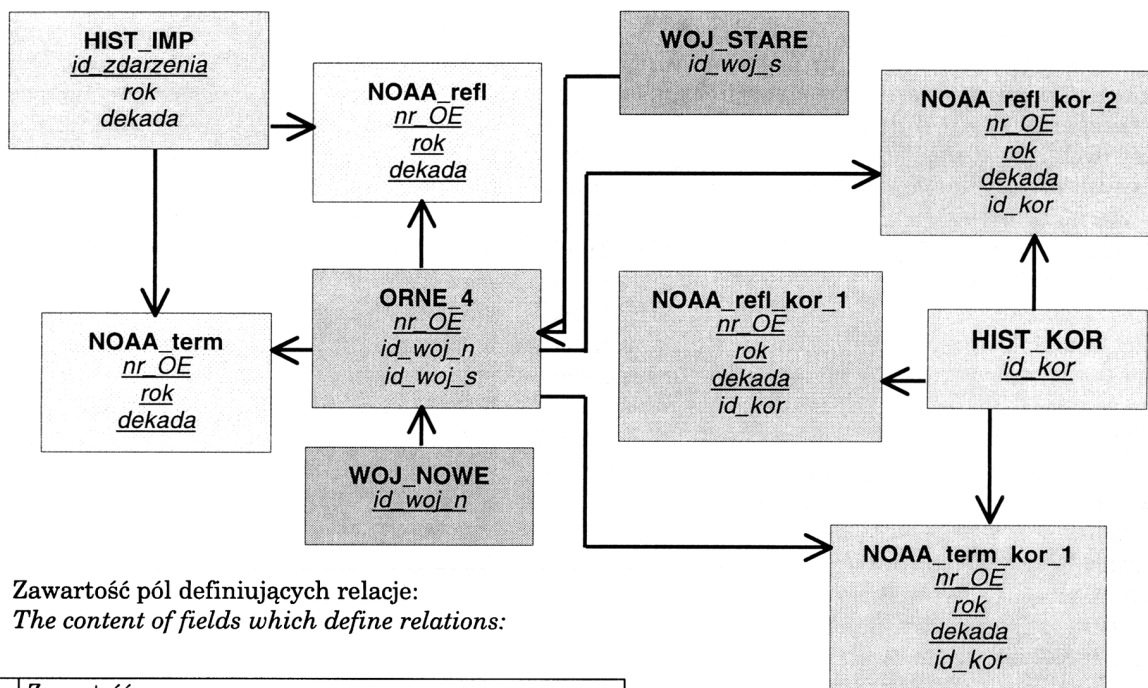
Główną tabelą, która wiąże tabele podstawowe danych satelitarnych z informacją o przestrzennym rozkładzie OE, jest tabela **ORNE\_4**. Pole *nr\_OE* zawiera jednoznaczny numerację OE i jest kluczem podstawowym w tej tabeli. Pola *id\_woj\_s* i *id\_woj\_n* zawierają kody statystyczne województw, odpowiednio według podziału terytorialnego obowiązującego do roku 1999 i podziału obowiązującego obecnie. Każdy element OE został przypisany do odpowiednich województw w starym i nowym podziale. Przypisanie takie zostało dokonane na zasadzie maksymalnego udziału powierzchniowego. W podobny sposób można określić przynależność OE do powiatów i gmin.

W tabeli **ORNE\_4** umieszczony został także atrybut *OE\_WA*, który podaje udział gruntów ornych w obszarze elementarnym, wyznaczony na podstawie mapy użytkowania terenu. Zakłada się, że w bazie INFOSAT będą gromadzone dane w długiej perspektywie czasowej. W tym czasie przestrzeń rolnicza może ulegać zmianom, co może mieć wpływ na wielkość udziału gruntów ornych w OE wybranych jako reprezentacja gruntów ornych. Być może pojawią się nowe obszary, które powinny znaleźć swoją reprezentację w bazie, choć na razie zostały odrzucone ze względu na zbyt niski udział gruntów ornych. Znaczące zmiany użytkowania można zarejestrować metodami teledetekcji, ale w skali kraju badania takie wykonuje się niezbyt często. W efekcie, możliwość wprowadzania zmian liczby lub jakości obszarów OE jest na razie ograniczona ze względu na brak danych. Z punktu widzenia organizacji bazy dodanie nowych reprezentantów OE nie nastęcza żadnych trudności. Zmienność wartości *OE\_WA* w czasie może być natomiast uwzględniona przez umieszczenie ich w osobnej tabeli wraz z dodatkowym atrybutem określającym moment wyznaczenia tej wielkości.

Tabela **ORNE\_4** jest powiązana bezpośrednio z większością tabel bazy INFOSAT. Relacja *jeden-dowielu* pomiędzy tabelą **ORNE\_4**, a każda z tabel podstawowych danych satelitarnych jest realizowana poprzez pole zawierające numer OE. Pola *id\_woj\_s* i *id\_woj\_n*, identyfikujące województwa w obecnym i poprzednim podziale, to klucze obce wiążące tabelę **ORNE\_4** z tabelami **WOJ\_NOWE** i **WOJ\_STARE**. Te powiązania odgrywają ważną rolę przy agregacji danych satelitarnych do większych jednostek powierzchniowych i przy tworzeniu map.

Ważny element bazy stanowią tabele, w których rejestrowane są najważniejsze czynności administracyjne, takie jak uzupełnianie danych w bazie (tabela **HIST\_IMP**), czy kreowanie danych pochodnych przechowywanych w tabelach trwałych (tabela **HIST\_KOR**).

Z bazy INFOSAT możliwy jest dostęp do danych zapisanych w innych bazach. Tabele z innych baz



Zawartość pól definiujących relacje:  
The content of fields which define relations:

Nazwa pola Field name	Zawartość content
nr_OE	identyfikator obszaru elementarnego <i>id of elementary area</i>
rok	identyfikator roku <i>year id</i>
dekada	identyfikator dekady <i>decade id</i>
id_woj_s	identyfikator województwa sprzed 1999 r. <i>id of voivodship before 1999</i>
id_woj_n	identyfikator województwa od 1999 r. <i>id of voivodship from 1999</i>
id_zdarzenia	identyfikator operacji wpisywania danych <i>id of data input event</i>
id_kor	identyfikator operacji skorygowania wartości pierwotnych <i>id of data correction event</i>

oznaczenia:  
notation:

<b>NAZWA_TABELI</b> <b>TABLE_NAME</b>
<i>klucz podstawowy</i> <i>primary key</i>
<i>klucz obcy</i> <i>foreign key</i>

Ryc. 5. Podstawowe związki między najważniejszymi tabelami bazy INFOSAT  
Fig. 5. Basic relations among the most important tables from INFOSAT database

można importować lub załączać. Przy importowaniu dane zostają skopiowane do podanej tabeli, załączenie polega na udostępnianiu do użycia z możliwością dokonywania zmian w obiekcie oryginalnym. Załączenie stwarza możliwość przeprowadzania analiz z równoczesnym wykorzystaniem danych z baz INFOSAT i np. bazy danych agrometeorologicznych bez konieczności powielania danych.

**Funkcje realizowane w bazie INFOSAT**

Operacje zarządzania danymi w bazie INFOSAT obejmują przede wszystkim wprowadzanie danych z plików tekstowych do tabel, selekcję danych do przeglądania i porównań, obliczanie rozmaitych wskaźników na podstawie atrybutów {P} oraz agregację przestrzenną atrybutów. Te podstawowe funkcje zostały zautomatyzowane przez utworzenie kwerend, modułów i raportów realizujących najczęściej powtarzające się operacje. Na przykład użytkownik nie powinien

przeglądać danych bezpośrednio w tabelach, gdyż wartości tam zawarte są zakodowane. Do przeglądania danych należy używać odpowiednich kwerend, które zawierają funkcje odkodowujące.

Obliczanie wartości temperatury radiacyjnej nie odbywa się na etapie wprowadzania danych do bazy, ale stanowi jedną z funkcji bazy. Takie usytuowanie tego przetworzenia wynika ze złożoności zagadnienia wyznaczania temperatury  $T_s$  na podstawie wartości temperatury zarejestrowanych w kanałach 4 i 5 skanera AVHRR. Istnieje wiele różnych metod wyznaczania  $T_s$ . Szeroko stosowana metoda „rozszczipionego okna” polega na wykorzystaniu wzoru o następującej postaci ogólnej:

$$T_s = aT_4 + bT_5 + c \tag{1}$$

W ogólności współczynniki  $a$ ,  $b$  i  $c$  zależą od stanu atmosfery, a także, poprzez współczynnik emisyjności, od rodzaju powierzchni. Przeważnie są one wyznaczone metodą regresji na podstawie wyników naziem-



nych pomiarów temperatury. W niektórych formułach tego typu zależność od emisyjności bywa pomijana, może pojawiać się zależność wyższego rzędu od różnicy temperatury ( $T_4 - T_5$ ) lub zależność od zawartości pary wodnej w atmosferze. Porównanie wyników uzyskanych przez różnych autorów stosujących odmienne warianty metody „rozszczonego okna” można znaleźć np. w pracy C. Colla i V. Casselesa (Coll, 1997). Ze względu na dużą różnorodność stosowanych algorytmów postanowiono wprowadzić w bazie INFOSAT kilka różnych sposobów wyliczania temperatury  $T_s$  w postaci gotowego zestawu funkcji. Wybór odpowiedniej funkcji należy do użytkownika.

O stanie roślin świadczy między innymi strumień ciepła utajonego biorącego udział w procesach parowania i kondensacji (Dąbrowska-Zielińska, 1999). W stabilnych warunkach meteorologicznych analiza różnicy temperatury radiacyjnej roślin i temperatury powietrza może być wskazaniem stanu roślin. Temperaturę radiacyjną wyznaczoną na podstawie danych z tabeli **NOAA\_term** można wykorzystać do tego rodzaju analiz ponieważ towarzyszy jej data rejestracji.

Wskaźniki *VCI* i *TCI* będące miarą lokalnej zmienności *NDVI* i temperatury radiacyjnej okazały się bardzo przydatne do analizowania stanu roślin (Dąbrowska-Zielińska i inni, 2001). Odpowiednikami tych wskaźników w bazie INFOSAT są wielkości *TCIN* i *VCIN*, określone wzorami:

$$VCIN = \frac{(NDVI - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})} \times 100 \quad (2a)$$

$$TCIN = \frac{(T_{\max} - T_s)}{(T_{\max} - T_{\min})} \times 100 \quad (2b)$$

gdzie:  $NDVI_{\min(\max)}$  — minimalna (maksymalna) wartość *NDVI*, która wystąpiła na danym obszarze OE w określonej dekadzie na przestrzeni lat reprezentowanych w bazie,  $T_{\min(\max)}$  — minimalna (maksymalna) wartość temperatury radiacyjnej  $T_s$ , która wystąpiła na danym obszarze OE w określonej dekadzie na przestrzeni lat reprezentowanych w bazie.

Najważniejsze czynności, do wykonania których w bazie INFOSAT zostały przygotowane odpowiednie kwerendy i moduły uruchamiane z formularzy to:

- uzupełnienie pola tabeli danych satelitarnych danymi dotyczącymi jednego z parametrów {P} — użytkownik dokonuje wyboru roku, dekady i nazwy parametru;
- obliczenie temperatury radiacyjnej  $T_s$  na podstawie wartości  $T_4$  i  $T_5$ ;
- przeglądanie wartości temperatury radiacyjnej  $T_s$  i wskaźnika *NDVI* w określonych przez użytkownika obszarach i wybranych przekrojach czasowych;
- wyznaczanie linii trendu dla wskaźników *NDVI* i  $T_s$ ;
- wyznaczenie wartości maksymalnych i minimalnych *NDVI* i temperatury radiacyjnej z wielolecia w przekroju dekady;
- wyznaczenie wskaźników *VCIN* i *TCIN*;

— uśrednianie dowolnych atrybutów OE w ramach wybranych jednostek podziału terytorialnego.

Na rycinie 6 przedstawiono przykłady graficznej prezentacji produktów uzyskiwanych na podstawie bazy INFOSAT. Są to rozkłady przestrzenne 4 wskaźników: *NDVI*, *VCIN*,  $T_s$  i *TCIN* w 16 dekadzie 2000 roku. Podobne rozkłady można otrzymać dla dowolnej dekady z zakresu reprezentowanego w bazie. Zestaw formularzy i raportów opracowanych dotychczas dla bazy INFOSAT nie wyczerpuje wszystkich możliwości prezentacji i przetwarzania danych zawartych w bazie i w miarę potrzeb będzie uzupełniany. Baza INFOSAT została opracowana w taki sposób, aby uzupełnianie jej o nowe dane i nowe aplikacje było stosunkowo łatwe i nie wymagało reorganizacji dotychczasowej struktury.

### Aktualne zasoby bazy INFOSAT

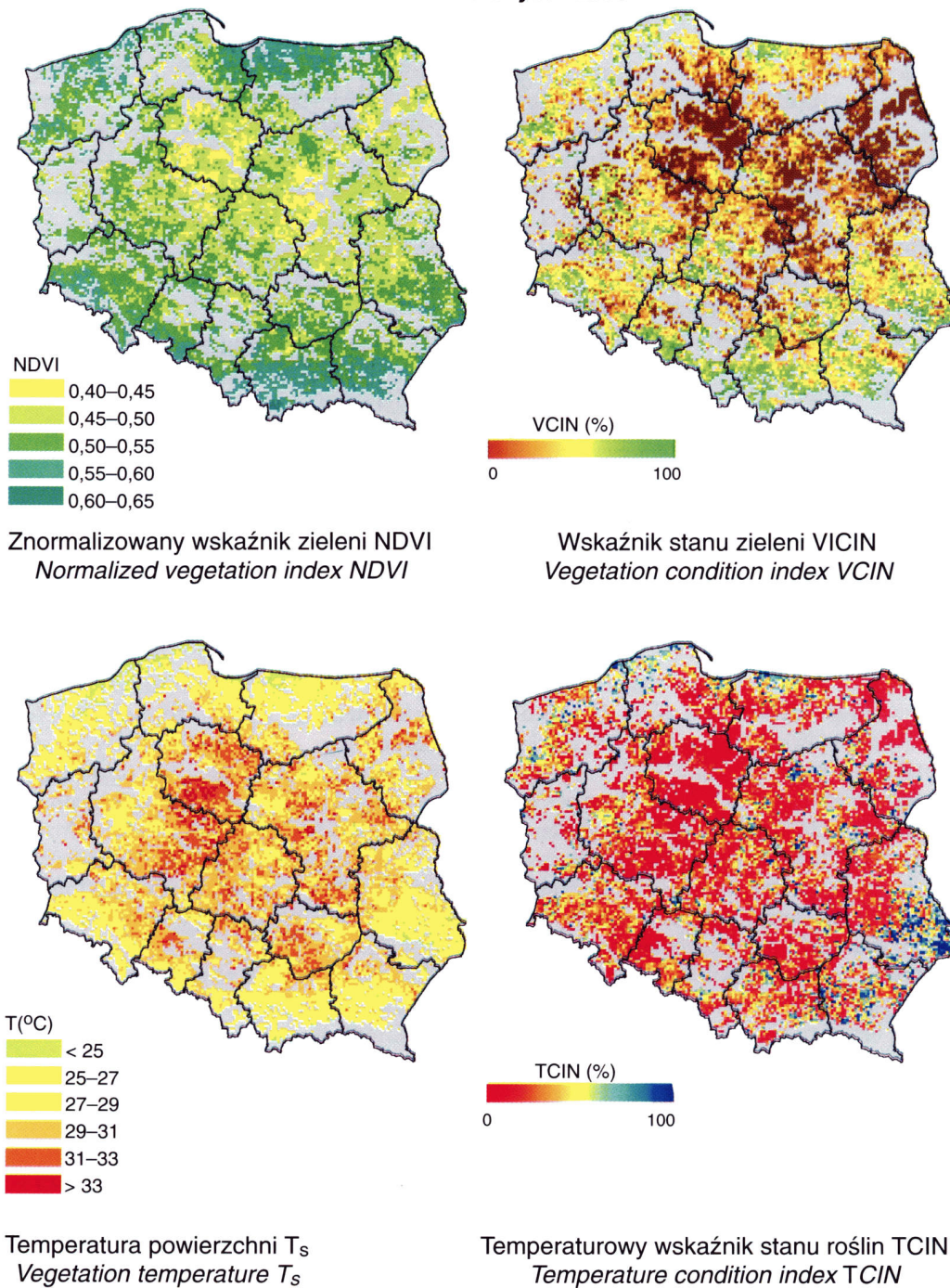
Baza INFOSAT zawiera obecnie dane uzyskane na podstawie przetwarzania obrazów NOAA AVHRR z lat 1992–2001. Pierwotnie zakładano umieszczenie w bazie tylko danych dla okresu obejmującego dekadę od 10 (pierwsza dekada kwietnia) do 21 (ostatnia dekada lipca). Z punktu widzenia obserwacji kolejnych faz rozwoju zbóż jest to najważniejszy okres. Zdecydowano jednak o poszerzeniu tego zakresu i obecnie baza jest uzupełniana sukcesywnie o dane obejmujące dekadę 7–9 (marzec) oraz dekady 22–27 (sierpień i wrzesień). Umożliwi to między innymi monitorowanie stanu roślin okopowych.

W celu podniesienia jakości analiz przeprowadzanych na podstawie danych z bazy INFOSAT, a w szczególności wykonywania analiz porównawczych przeprowadzanych na podstawie danych z różnych lat, jest bardzo istotne, aby baza obejmowała jak najdłuższy okres. Planowane jest powiększenie archiwalnych zasobów bazy poprzez uzupełnienie jej danymi z lat 1989–1991. Aktualnie pozyskiwane dane są przetwarzane na bieżąco i od razu wprowadzane do bazy.

### Dane pochodne

Zbiór danych pierwotnych bazy INFOSAT stanowią dane uzyskane po wstępnym przetworzeniu obrazów NOAA AVHRR i uśrednione tak, aby reprezentowały rolnicze obszary elementarne o powierzchni 16 km<sup>2</sup>. Zawarte w bazie INFOSAT dane o wielkości albedo, znormalizowanego wskaźnika zieleni bądź temperatury radiacyjnej, odnoszące się do obszarów elementarnych mogą być następnie przedmiotem kolejnych przetworzeń realizowanych już przez system zarządzania bazą. Celem tych dalszych przetworzeń jest przede wszystkim skonstruowanie takich wskaźników, które pozwolą na efektywne wnioskowanie o kondycji upraw. Są to np. wartości średnie reprezentujące większe obszary, na ogół obszary województw, a także wskaźniki porównawcze pozwalające na odniesienie bieżącego stanu do stanu z tego same-

16 dekada 2000 r.  
16th decade of year 2000



Ryc. 6. Rozkłady przestrzenne wskaźników NDVI, VICIN,  $T_s$  i TCIN w pierwszej dekadzie czerwca 2000 r. Wartości wskaźników odnoszą się do obszarów elementarnych bazy INFOSAT.

Fig. 6. The spatial distribution of NDVI, VICIN,  $T_s$  and TCIN indices on the first decade of June 2000. Values of the indices refer to the elementary cells specified for INFOSAT database.

go okresu w innych latach. Taką rolę pełnią wskaźniki VICIN i TCIN. Wskaźniki te odnoszą się do obszarów elementarnych, ale analizowane są przede wszystkim ich wartości średnie wyznaczone dla obszarów województw.

Wielkości pochodne stanowiące przedmiot dalszych analiz mogą być wyznaczone bezpośrednio z danych

pierwotnych lub z tzw. danych wygładzonych. W bazie INFOSAT w czasowych przebiegach danych pierwotnych dla poszczególnych obszarów elementarnych mogą występować luki. Przyczyną tego jest nieuwzględnienie pikseli reprezentujących obszary zachmurzone. Ponadto, mimo uwzględnienia wpływu atmosfery w procesie przetwarzania wstępnego oraz

pomimo przeprowadzonego uśredniania przestrzennego, obserwuje się często silne fluktuacje wartości albedo lub *NDVI* dla kolejnych dekad. Fluktuacje te są przeważnie rezultatem nie skorygowanego wpływu czynników atmosferycznych. Uzupełnianie luk w danych wartościami interpolowanymi oraz wygładzanie przebiegów czasowych *NDVI* lub temperatury pozwala na lepszą obserwację trendów. Brakujące dane dla pojedynczej dekady uzupełniane są na podstawie interpolacji liniowej opartej na danych dla dekad sąsiednich. Jeśli brakuje danych dla kilku kolejnych dekad, wtedy w procesie interpolacji uwzględniane są także rozkłady przestrzenne. Na wynik interpolacji mają wtedy wpływ dane z otoczenia analizowanego obszaru elementarnego.

Przyjęty sposób wygładzania danych opiera się na metodzie opisanej przez Rao i Chena (Rao, 1995). Poszukiwane wartości spełniają następujący warunek:

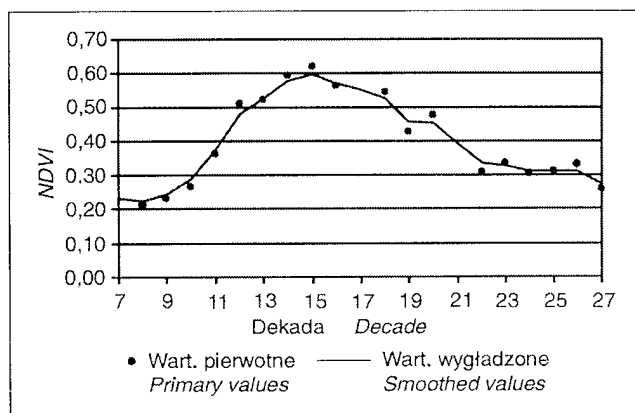
$$\sum_{n=1}^N [\tilde{x}(n+1) - x(n)]^2 + w \times \sum_{n=1}^N [\tilde{x}(n) - x(n)]^2 = \min \quad (3)$$

gdzie:  $x(n)$  — wartość *NDVI* lub temperatury radiacyjnej w dekadzie  $n$ ;  $\tilde{x}(n)$  — wartość *NDVI* lub temperatury radiacyjnej w dekadzie  $n$  po wygładzeniu przebiegu czasowego;  $n$  — kolejny numer dekady w prezentowanym ciągu czasowym;  $N$  — liczba dekad w ciągu;  $w$  — waga określająca stopień wygładzenia krzywej.

Im większe są wartości  $w$  tym bardziej krzywa jest wygładzona. Wartości zinterpolowane i wygładzone przechowywane są w odrębnych tabelach ze wskazaniem, które z nich są wynikiem uzupełniania braków przez interpolację. W odpowiednich tabelach metadanych przechowywana jest też informacja o wielkości wagi  $w$  zastosowanej przy uzyskiwaniu każdego zestawu danych. Wygładzone wartości *NDVI* i temperatury radiacyjnej lepiej nadają się do wizualizacji niż dane pierwotne i zachowują jednocześnie informacje o trendach występujących w zależności czasowej danych. Na rycinie 7 przedstawiono przykład porównania danych pierwotnych *NDVI* i danych wygładzonych z wagą  $w = 0,2$  dla jednego z obszarów elementarnych.

### Badanie związków pomiędzy wskaźnikami utworzonymi na podstawie danych z bazy INFOSAT a wysokością plonów

Informacje zawarte w bazie INFOSAT zależą od stanu roślin uprawnych na różnych etapach ich rozwoju. Można się więc spodziewać, że istnieją związki pomiędzy różnymi wskaźnikami konstruowanymi na podstawie danych zawartych w bazie, a wysokością plonów. Siła tych związków stanowi miarę przydatności bazy do monitorowania przestrzeni rolniczej Polski. Podjęto próbę oceny zawartości bazy poprzez zbadanie siły związku kilku najprostszyc wskaźników z plonami zbóż w latach 1992–2000. Wybrane wskaźniki to: wartości reprezentujące *NDVI* w deka-



Ryc. 7. Porównanie wartości *NDVI* pierwotnych i wygładzonych dla jednego z obszarów elementarnych

Fig. 7. The comparison of primary and smoothed *NDVI* values for a sample elementary cell

dach, wskaźnik *VCIN*, wskaźnik *TCIN*, skumulowane wartości *NDVI* i skumulowane wartości temperatury  $T_s$ . Wszystkie te wskaźniki zostały uśrednione na obszary województw. Dane dotyczące wysokości plonów zbóż pochodzą z Głównego Urzędu Statystycznego.

W celu ujednoczenia warunków analizy na przestrzeni lat 1992–2000 dokonano przeliczenia wysokości plonów z lat 1992–1998 podawanych przez GUS w odniesieniu do 49 województw na wartości odniesione do aktualnego podziału terytorialnego kraju na 16 województw. Zostały uwzględnione następujące dane:

- powierzchnia gruntów ornych w województwach według podziału terytorialnego sprzed 1999 roku ( $s_i, i = 1,49$ ) i w obecnej strukturze województw ( $S_j, j = 1,16$ );
- udział zbóż w powierzchni upraw w województwach w latach 1992–1998 ( $z_i, i = 1,49$ ) i w latach 1999–2000 ( $Z_j, j = 1,16$ );
- wysokość plonów zbóż w województwach w latach 1992–1998 ( $p_i, i = 1,49$ ) i w latach 1999–2000 ( $P_j, j = 1,16$ ).

Wysokość plonu  $P_j^r$  przypadającą w roku  $r$  z zakresu 1992–1998 na obszar odpowiadający województwu  $j$  z nowego podziału terytorialnego można oszacować po przyjęciu pewnych założeń upraszczających. Jeśli przyjmujemy, że wysokość plonów jest stała na obszarze każdego z 49 województw i równa znanej średniej wartości  $p_i$ , to wartości  $P_j^r$  można wyznaczyć na podstawie następującego wzoru:

$$P_j^r = \frac{\sum_{i \in \{I\}} s_i^r z_i^r p_i^r a_{ij} / a_i}{\sum_{i \in \{I\}} s_i^r z_i^r a_{ij} / a_i} \quad (4)$$

gdzie  $a_{ij}$  — powierzchnia gruntów ornych województwa  $i$ , przypadająca na obszar województwa  $j$ , wyznaczona na podstawie danych z bazy CORINE;  $a_i$  — powierzchnia gruntów ornych w województwie  $i$  wyznaczona na podstawie bazy CORINE.



Sumowanie we wzorze przebiega po wskaźnikach ze zbioru  $\{I\}$  oznaczających województwa starego podziału, których obszar pokrywa się w pewnej części z obszarem województwa  $j$ . Stosując ten wzór zakładamy, że procentowy udział powierzchni gruntów ornych województwa  $i$ , który przypada na województwo  $j$  nie zmienia się w analizowanym okresie i jest zgodny z danymi pochodzącymi z bazy CORINE.

Do wstępnych analiz wybrano województwa, które charakteryzują się znacznym rozrzutem wysokości plonów w kolejnych latach. Są to województwa wielkopolskie, lubuskie, kujawsko-pomorskie, zachodniopomorskie i pomorskie, obejmujące obszar północno-zachodniej Polski. W podziale terytorialnym sprzed 1999 roku odpowiada im 15 mniejszych województw (bydgoskie, elbląskie, gdańskie, gorzowskie, kaliskie, konińskie, koszalińskie, leszczyńskie, pilskie, poznańskie, śląskie, szczecińskie, toruńskie, wrocławskie i zielonogórskie). Obszar ten przypada na trzy regiony klimatyczne: region klimatu bałtyckiego, klimatu pojeziernego i klimatu Krainy Wielkich Dolin. Wskaźniki agroklimatyczne półrocza letniego są zróżnicowane, jednak w zakresie bilansu wodnego przeważają na tym obszarze warunki suche i umiarkowanie wilgotne (Bac i inni, 1998). Struktura przestrzenna obszarów rolniczych w wybranych województwach charakteryzuje się znacznym udziałem gospodarstw wielkopowierzchniowych. Zgodnie z danymi z 1997 roku 11 spośród wymienionych 15 województw (według podziału obowiązującego do 1999 r.) miało na swym obszarze ponad 33% gospodarstw większych niż 10 ha. Czynniki ten może korzystnie wpływać na siłę związku pomiędzy wskaźnikami wyznaczonymi na podstawie danych satelitarnych o rozdzielczości 1 km a wysokością plonów.

Badano korelacje pomiędzy wysokością plonów na przestrzeni lat 1992–2000 a grupami poszczególnych wskaźników reprezentującymi dekady od 10 do 21 w badanym okresie. Analizowano niezależnie grupy wskaźników obejmujące  $NDVI$ , skumulowane wartości  $NDVI$ , skumulowane wartości temperatury  $T_s$  oraz wskaźniki  $VCIN$  i  $TCIN$ . Zaobserwowano istotne związki między wysokością plonów a grupami wskaźników opartych na wartościach  $NDVI$ . Spośród trzech grup obejmujących  $NDVI$ , skumulowane wartości  $NDVI$  i wskaźniki  $VCIN$  najwyraźniejsze korelacje z plonami występują dla wartości  $VCIN$ . Na rycinie 8 przedstawiono wyniki analizy korelacji pomiędzy wartościami  $VCIN$  reprezentującymi dekady od 12 do 18 a plonem na wybranym obszarze w latach 1992–2000. Wysoka wzajemna korelacja wartości  $VCIN$  w sąsiednich dekadach wskazuje na spójność tego wskaźnika. Powiązanie między wartościami  $VCIN$  dla różnych dekad maleje w miarę upływu czasu. Znaczące korelacje z wysokością plonu można zauważyć dla wskaźników  $VCIN$  z dekad 15, 16 i 17. Przeprowadzono analizę regresji wielokrotnej dla wskaźników  $VCIN$  z dekad od 10 do 21. Największą wartość współczynnika regresji ( $r = 0,92$  przy poziomie ufności  $p < 0,0001$ )

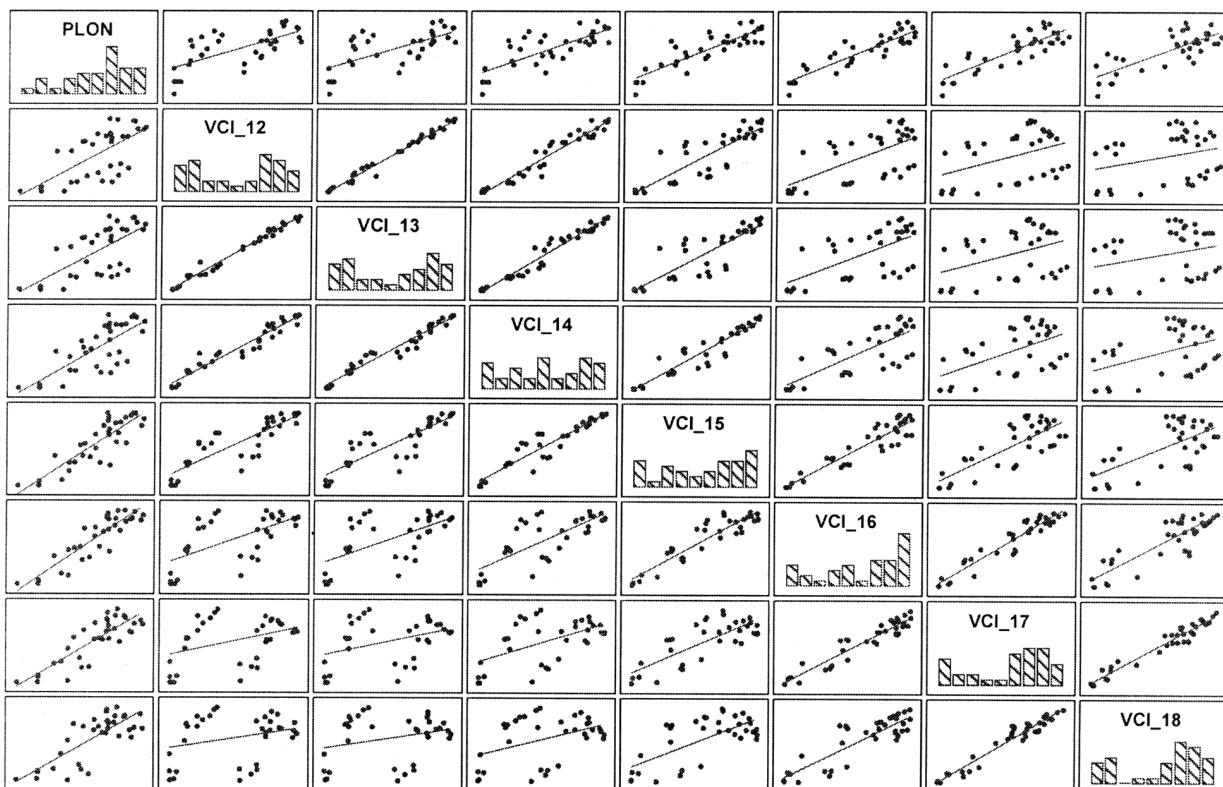
otrzymano dla wskaźników  $VCIN$  z dekad 12 i 17, przy współczynnikach korelacji cząstkowej równych odpowiednio 0,68 i 0,85.

Za pomocą regresji wielokrotnej analizowano również związki pomiędzy wysokością plonów a zestawami wskaźników charakteryzującymi oddzielnie poszczególne dekady. W wyniku tych analiz stwierdzono najsilniejszy związek ( $r = 0,89$ ) pomiędzy plonem a wartością  $VCIN$  w 16 dekadzie przy nieistotnym statystycznie udziale pozostałych wskaźników. Rycina 9 przedstawia skategoryzowany wykres rozrzutu dla plonu względem  $VCIN$  z dekady 16 w wybranych województwach.

Wstępne analizy statystyczne wskazują na istnienie znaczących związków pomiędzy wskaźnikami zbudowanymi na podstawie wartości  $NDVI$  z bazy INFOSAT a wysokością plonów. Wskaźniki te są zależne od kondycji roślin w okresie maja i czerwca i w tym sensie mogą być pośrednio miarą wysokości plonów. Nie stwierdzono znaczących statystycznie związków pomiędzy plonami a wskaźnikami opartymi na temperaturze. Sama temperatura powierzchni roślin nie stanowi dobrego wskaźnika. Należy się natomiast spodziewać, że zarówno wskaźnik  $TCIN$ , jak i wskaźniki porównawcze skonstruowane na bazie różnic pomiędzy temperaturą roślin a temperaturą powietrza mogą stanowić miarę natężenia procesu ewapotranspiracji, a co za tym idzie powinny świadczyć o kondycji roślin. Okres, dla którego zgromadzono dane w bazie INFOSAT jest stosunkowo krótki, więc wskaźniki oparte na porównaniu z wartościami minimalnymi i maksymalnymi z tego okresu, czyli  $VCIN$  i  $TCIN$ , wykazują znaczny brak stabilności. Dołączenie do bazy danych dla kolejnych lat może w istotny sposób zmieniać ich wartości. Wpływa to przede wszystkim niekorzystnie na podlegający większym wahaniom wskaźnik  $TCIN$ . Uzupełnienie bazy nowymi danymi może mieć więc znaczący wpływ na wyniki analiz.

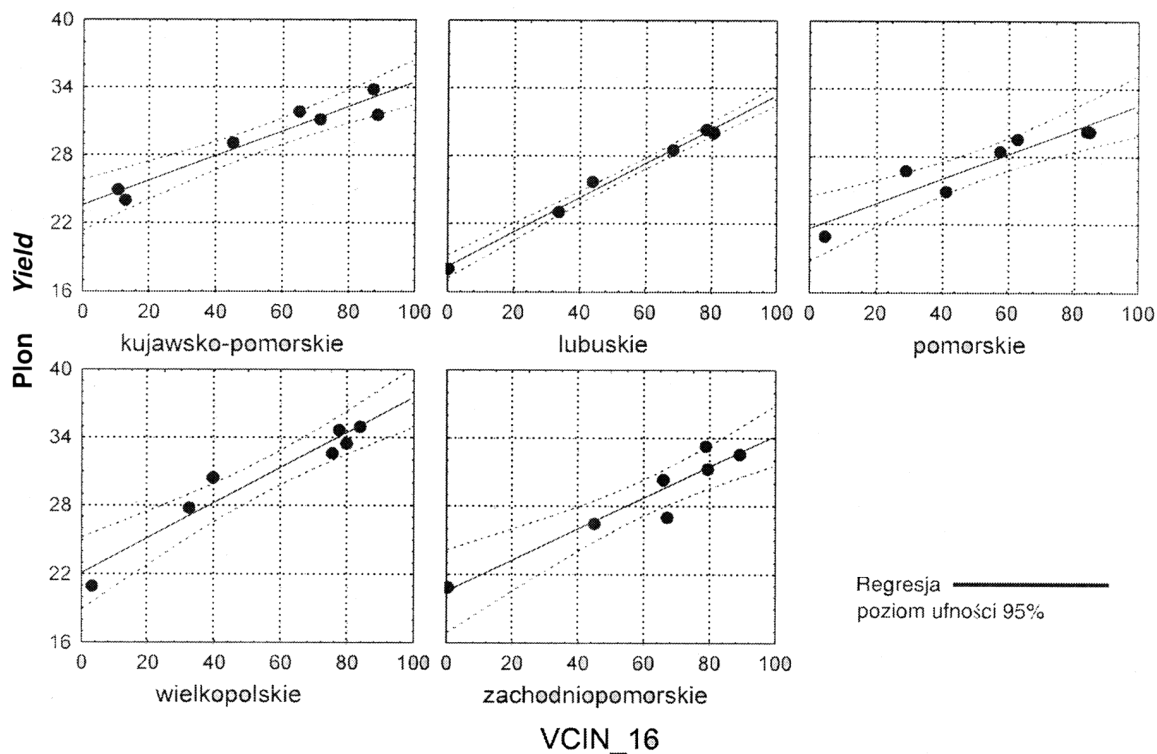
## Podsumowanie

Przeprowadzona wstępna ewaluacja bazy INFOSAT wskazuje na to, że może być ona cennym źródłem danych pozwalających na ocenę stanu roślin uprawnych. Sposób przetwarzania danych satelitarnych przed wprowadzeniem do bazy ma przede wszystkim na celu zmniejszenie stopnia zakłócenia danych przez takie czynniki jak zachmurzenie, rozpraszanie i absorpcja promieniowania w atmosferze, czy błędy geometryzacji. Tak przygotowane dane stanowią reprezentację wartości znormalizowanego wskaźnika zieleni i temperatury radiacyjnej na obszarach elementarnych o powierzchni 16 km<sup>2</sup>, nadają się więc do analizowania stanu upraw w skali regionu lub kraju. Baza INFOSAT gromadzi informacje oparte na stosunkowo łatwo dostępnych i spójnych wewnętrznie danych satelitarnych NOAA AVHRR. Zaletą takich zasobów danych jest przechowywanie informacji z wielu lat i w konsekwencji możliwość stosowania wskaź-



Ryc. 8. Korelacje pomiędzy wartościami wskaźników VCIN w dekadach od 12 do 18 a wysokością plonów w latach 1992–2000 na obszarze 5 województw

Fig. 8. Correlations among VCIN indices defined for decades 12 to 18 and cereal crop yield in the period of 1992–2000 within selected voivodships



Ryc. 9. Wykresy rozrzutu wartości wskaźnika VCIN z dekady 16 i wysokości plonu (zmienna zależna) w latach 1992–2000 na obszarze wybranych województw.

Fig. 9. Scatter plot of VCIN values for the 16th decade and cereal crop yield in the period of 1992–2000 within selected voivodships

ników porównawczych. Ze względu na różnorodność czynników wpływających na wzrost roślin uprawnych, spośród których stałym zmianom podlegają przede wszystkim parametry meteorologiczne oraz struktura upraw, dużego znaczenia nabierają wskaźniki oparte na lokalnych zakresach zmienności tych parametrów, które można wyznaczać na podstawie zdjęć satelitarnych. Posługiwanie się wskaźnikami tego rodzaju eliminuje w pewnym stopniu wpływ czynników stałych, takich jak lokalne warunki glebowe, czy lokalne warunki klimatyczne. Im dłuższy jest okres czasu, z którego zbierane są dane, tym większa jest ich wartość. Powiększenie zasobów bazy na podstawie danych sprzed roku 1992 oraz dogłębna analiza przydatności różnorodnych wskaźników skonstruowanych na jej podstawie do monitorowania stanu upraw stanowią najważniejsze cele dalszych prac związanych z bazą INFOSAT.

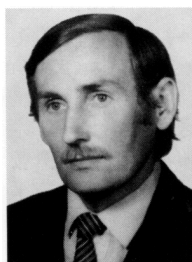
*Podziękowanie.* Autorzy składają podziękowanie prof. dr hab. Katarzynie Dąbrowskiej-Zielińskiej za cenne uwagi i sugestie dotyczące zawartości i wykorzystania bazy INFOSAT.

## Literatura

- Bac S., Koźmiński C., Rojek M., 1998: *Agrometeorologia*, PWN, Warszawa.
- Banachowski L., 1998: *Bazy danych — tworzenie aplikacji*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- Baranowski M., Ciołkosz A., 1997: *Opracowanie bazy danych „pokrycie terenu Polski”*, Prace IGIK, t. 46, z. 95, Warszawa, 7–25.
- Beynon-Davies P., 1998: *Systemy baz danych*, WNT, Warszawa.
- Bochenek Z., 1999: *Operacyjne wykorzystanie zdjęć satelitarnych NOAA AVHRR do oceny warunków rozwoju upraw w Polsce*, Fotointerpretacja w Geografii. Problemy Telegeoinformacji, t. 29, PTG KTŚ, Warszawa, 3–13.
- Coll C., Caselles V., 1997: *A split-window algorithm for land surface temperature from advanced very high resolution radiometer data: Validation and algorithm comparison*, J. Geophys. Res., vol. 102, no. D14, 16697–16713.
- Dąbrowska-Zielińska K., 1999: *System Wczesnego Ostrzegania przed zagrożeniem występowania niedoborów wody na obszarach rolniczych na podstawie zdjęć satelitarnych NOAA*, Fotointerpretacja w Geografii. Problemy Telegeoinformacji, t. 29, PTG KTŚ, Warszawa, 14–22.
- Dąbrowska-Zielińska K., Kogan F., Ciołkosz A., Gruszczynska M., Kowalik W., 2001: *Modelling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR based indices*, przyjęte do druku w Int. J. Remote Sens.
- Kalluri S.N.V., Zhang Z., Jaja J., Bader D.A., Song H., El Saleous N., Vermonte E., Townshend J.R.G., 1999: *A Hierarchical Data Archive and Processing System to Generate Custom Tailored Products From AVHRR Data*, Materiały konferencyjne IGARSS99, Hamburg.
- Kozłowska T., Dąbrowska-Zielińska K., Ostrowski J., Ciołkosz A., Stankiewicz K., Bochenek Z., 2000: *Szacowanie plonów z użytków zielonych w skali regionalnej z zastosowaniem teledetekcji satelitarnej*, Biblioteczka Wiadomości IMUZ, t. 95, Falenty.
- Kriebel K.T., Gesell G., Kästner M., Mannstein H., 1999: *The cloud analysis tool APOLLO: Improvements and validations*, Report 126, DLR-Oberpfaffenhofen, Institut für Physik der Atmosphäre, D-82234 Wessling, Germany, (ISSN 0943-4771, submitted to Int. J. Remote Sens.).
- Rao C.R.N., Chen J., 1995: *Inter-satellite calibration linkages for the visible and near-infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on the NOAA-7, -9, and -11 spacecraft*, Int. J. Remote Sens., vol. 16, 1931–1942.
- Saunders R. W., Kriebel K. T., 1988: *An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data*, Int. J. Remote Sens., vol. 9, 123–150.
- Tanré D., Deroo C., Duhaut P. i inni, 1990: *Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: the 5S code*. Int. J. Remote Sens., 11, 659–668.
- Teillet P.M., 1992: *An Algorithm for the Radiometric and Atmospheric Correction of AVHRR Data in the Solar Reflective Channels*, Remote Sens. Environ., vol. 41, 185–195.
- Townshend J.R.G., 1994: *Global data sets for land applications from the Advanced Very High Resolution Radiometer: An introduction*, Int. J. Remote Sens., vol. 11, 217–221.



Dr Krystyna Stankiewicz jest absolwentką Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Od 1993 r. pracuje w Instytucie Geodezji i Kartografii w Zakładzie Teledetekcji. W 1998 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych w zakresie geodezji i kartografii przedstawiając pracę pt. *Metoda przetwarzania mikrofalowych zdjęć satelitarnych obszarów o uroz-*



maconej rzeźbie z wykorzystaniem numerycznego modelu terenu. Uczestniczyła w szeregu prac związanych z zastosowaniem teledetekcji w rolnictwie i ochronie środowiska. Interesuje się zagadnieniami cyfrowego przetwarzania obrazów satelitarnych, klasyfikacją treści obrazów oraz wykorzystaniem obrazów mikrofalowych między innymi w kartowaniu użytkowania ziemi. Instytut Geodezji i Kartografii, Zakład Teledetekcji, 00-950 Warszawa, ul. Jasna 2/4, tel/fax: 827-03-28; e-mail: krystyna.stankiewicz@igik.edu.pl

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 Prze-

strzennej 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