

## Nowa generacja zobrazowań satelitarnych

# Nadchodzi rewolucja

**ROMUALD KACZYŃSKI, WIESŁAWA SUJKOWSKA**

Po wieloletniej dominacji rządowych satelitów teledetekcyjnych nastaje era satelitów komercyjnych. Kilka organizacji (prywatnych konsorcjów) w USA i jedna w Izraelu otrzymały licencje rządowe na umieszczenie na orbitach satelitów do zbierania informacji o powierzchni Ziemi z dokładnością zastrzeżoną dotychczas dla celów wojskowych, tj. o zdolności rozdzielczej 1-3 m w przypadku u stereoskopowych zobrazowań panchromatycznych i 4-15 m w przypadku u zobrazowań wielospektralnych. Tak dokładne zobrazowania powierzchni naszego globu będą konkurencyjne dla dotychczas niezastąpionych w pracach kartograficznych zdjęć lotniczych.

**W**ysoko rozdzielcze zobrazowania satelitarne były dostępne w USA i w Rosji już od wielu lat, ale jedynie dla celów rozpoznania wojskowego. Służby cywilne na świecie miały do dyspozycji głównie dane z satelitów amerykańskich serii LANDSAT o rozdzielczości 30 m w terenie i francuskich satelitów SPOT (rozdzielczość danych panchromatycznych – 10 m, wielospektralnych – 20 m). W ciągu ostatnich kilku lat Rosja sprzedawała swoje archiwalne szpiegowskie zdjęcia satelitarne KVR-1000, KFA-3000 i DD-5 (o zdolności rozdzielczej około 1-2 m). Materiały te najlepiej nadają się do opracowania map topograficznych i tematycznych w skalach 1:25 000, a nawet 1:10 000. Są to jednak zdjęcia bez odpowiedniego pokrycia stereoskopowego oraz na ogół nieaktualne i trudno dostępne (rys. 1).

Zdjęcia z KVR-1000 wykorzystano w IGiK do wykonania cyfrowych map satelitarnych Warszawy w skalach 1:50 000 i 1:25 000. Na mapach tych uzyskano dokładność położenia szczegółów sytuacyjnych około  $mp = 6$  m, tj. poniżej  $mp = 0,3$  mm w skali mapy 1:25 000. Fragment mapy w skali 1:25 000 przedstawiamy na rysunku 2. Instytut Geodezji i Kartografii oferuje te mapy w postaci cyfrowej i w postaci map drukowanych. Opracowania wysoko rozdzielczych rosyjskich danych satelitarnych pozwoliły specjalistom IGiK zdobyć doświadczenie niezbędne do uczestnictwa w oczekującej nas nowej erze fotogrametrii i teledetekcji.

**D**o końca obecnego stulecia przewiduje się umieszczenie na orbitach okołozemskich ponad pięćdziesięciu satelitów z sensorami o wysokiej zdolności rozdzielczej. Większość tych przedsięwzięć jest typu komercyjnego; nic więc dziwnego, że zaangażowane firmy starają się jako pierwsze zaprezentować swe produkty na rynku. Od kilku lat w prasie fachowej pojawiają się (i dość szybko zmieniają) informacje o planowanych danych umieszczenia na orbitach satelitów nowej generacji. Według danych z końca stycznia 1997 roku wyścig może wygrać konsorcjum EarthWatch, które powierzyło wystrzelenie swego pierwszego satelity – Early Bird (Pan – 3 m, XS – 15 m) specjalistom rosyjskim. Satelita jest już zbudowany; w najbliższym czasie zostanie przetransportowany na kosmodrom na rosyjskim Dalekim Wschodzie, skąd ma zostać wystrzelony przy pomocy rosyjskiej rakiety nośnej w pierwszej dekadzie maja 1997 roku. Pod względem rozdzielczości liderem będzie jednak Space Imaging planujący umieszczenie na orbicie pod koniec 1997 roku pierwszego z serii satelitów CARTERRA (Pan – 0,82 m, XS – 4 m).

**W**przedsięwzięcia mające na celu zaprojektowanie, budowę i eksploatację nowoczesnych systemów satelitarnych do badania Ziemi zaangażowały się największe światowe giganty przemysłu fotooptycznego i informatycznego. O znacznym zaawansowaniu prac informują trzy konsorcja, które zapewniły sobie już odpowiednie licencje rządu USA: **EarthWatch Inc.** – konsorcjum to, pierwotnie utworzone przez Ball Aerospace & Technologies Corporation i World View Imaging Corporation, nawiązało strategiczną współpracę z japońską firmą Hitachi, włoską Nuova Telespazio, amerykańskimi: CTA Inc. i Datron Systems Inc. oraz kanadyjską MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd. Symulowane zdjęcia satelitarne i produkty ze zdjęć lotniczych tego konsorcjum przedstawiono na rys. 4, 6 i 7 (str. 22).

**ORBIMAGE** – firma utworzona przez amerykańską Orbital Sciences Corporation współpracuje z EIRAC Co Ltd., PR Applied Sciences, Fairchild Event Systems i MDA Ltd.

**Space Imaging, Inc.** – utworzone przez Lockheed Missiles



**Rys. 1 (powyżej).** Obraz rejonu San Diego w USA z rosyjskiego satelity DD-5 o terenowej zdolności rozdzielczej 2 m. Szerokość pasa zobrazowania 14 km. Widoczna autostrada z jadącymi samochodami, ulice osiedla i domy jednorodzinne. Możliwość opracowania fotomapy do skali 1:10 000. Zdjęcie udostępnione przez Converted Technologies Center w Moskwie.

**Rys. 2 (poniżej).** Mapa satelitarna Warszawy w skali 1:25 000 opracowana cyfrowo w IGiK na podstawie rosyjskich zdjęć satelitarnych KVR-1000 o terenowej zdolności rozdzielczej 3 m. Dokładność mapy  $mp < 6$  m w terenie.

**Rys. 3 (strona obok).** Symulowane zobrazowanie cyfrowe z satelity CARTERRA (Space Imaging) przedstawia rejon stadionu w Atlancie, Georgia, USA. Połączone zobrazowanie panchromatyczne (1 m) z wielospektralnym (4 m). Zdjęcie udostępnione przez Space Imaging.



i Space Corporation zapewniła sobie współpracę Lockheed Martin, E-Systems i Mitsubishi. Pod koniec 1996 Space Imaging zakupiło również największą amerykańską organizację dystrybucji danych satelitarnych – EOSAT. Symulowane zdjęcia satelitarne tego konsorcjum przedstawiono na rys. 3 i 5 (str. 19, 22). Dane techniczne satelitów planowanych do wystąpienia w najbliższej przyszłości przez trzy amerykańskie konsorcja przedstawione są w tabeli (poniżej).

**W**ysokorozdzielcze dane z nowych satelitów znajdują zastosowanie we wszystkich dziedzinach, w jakich dotychczas stosowano zdjęcia lotnicze, oraz w wielu nowych. Dane te będą konkurować ze zdjęciami lotniczymi. Prześledźmy teraz najważniejsze aspekty techniczne i pozatechniczne, które będą miały wpływ na wyniki tej konkurencji. Z satelitów można otrzymać zobrazowanie dowolnego miejsca na Ziemi bez uzyskiwania koniecznych obecnie w przypadku zdjęć lotniczych zezwoleń i uciążliwych działań logistycznych. Każdy, kto chociaż raz w życiu starał się o uzyskanie takiego pozwolenia, w pełni doceni tę zmianę! Rozdzielczość terenowa zdjęć lotniczych i nowych danych satelitarnych jest w zasadzie porównywalna, ale... Zdjęcia lotnicze dla celów opracowań ortofotomap cyfrowych muszą być skanowane z aperturą około 30 m lub 15 m. Powoduje to stratę informacji zawartej na filmie, którego zdolność rozdzielcza wynosi około 8 m. Tak uzyskane dane cyfrowe są kodowane ośmiobitowo, czyli gęstości optyczne są rejestrowane w przedziale 0-255, podczas gdy dane satelitarne mogą być kodowane ośmio- ( $2^8$ ) lub jedenastobitowo ( $2^{11}$ ) i nadają się do bezpośredniego przetwarzania w systemach komputerowych. Jedenastobitowy obraz satelitarny zawiera więc 2048 poziomów szarości, a w konsekwencji można różniczyć na nim o wiele więcej szczegółów niż na zdjęciu lotniczym. Dane o tak dużej rozdzielczości przestrzennej

i spektralnej znajdują zastosowanie np. w planowaniu przestrzennym, w rolnictwie dla oceny jakości upraw i przewidywania zbiorów, a nawet w pracach katastralnych (zakładanie katastru w krajach, które go do tej pory nie miały).

Zdjęcia lotnicze wykonywane są kamerami fotogrametrycznymi o wymiarze kadru 23x23 cm, z obiektywami o odległości obrazu od 90 mm do 305 mm, czyli o dużym kącie widzenia, z wysokości do kilku km, podczas gdy zobrazowania satelitarne wykonywane są skanerem o bardzo małym (poniżej 1°) kącie widzenia, poprzez obiektyw o długiej (do 10 m) ogniskowej i z dużych (kilkaset km) wysokości. Zdjęcia lotnicze ciągle więc będą potrzebne do opracowań map wielkoskalowych, głównie terenów miejskich, w skalach 1:2000, 1:1000 i 1:500.

Jednocześnie pozyskane zobrazowania panchromatyczne i wielospektralne pozwolą na przeprowadzenie interpretacji temptycznej z dokładnością map topograficznych w skali 1:10 000. Połączenie satelitarnych danych panchromatycznych i wielospektralnych pozwala na wykonanie ortofotomap w barwach rzeczywistych i umownych, co jest szczególnie przydatne do interpretacji zjawisk przyrodniczych (kartowanie lasów, rozpoznawanie upraw).

**Z**djęcia lotnicze wykonuje się zwykle co kilka lat, a zobrazowania satelitarne tego samego obszaru można będzie przy pomocy nowych satelitów pozyskiwać (oczywiście w zależności od pogody!) nawet co 2-3 dni. Tak duża częstotliwość pozyskiwania danych (w połączeniu z dużą rozdzielczością) pozwoli na zastosowanie ich do oceny procesów szybkozmiennych, np. w rolnictwie do częstego określania niejednorodności pokrycia gleby roślinami uprawnymi w celu zaordynowania odpowiedniego nawożenia lub nawadniania; do wyceny nieruchomości; w sytuacjach klęsk żywiołowych, a nawet dużych katastrof lotniczych i drogowych.

Tabela 1. Dane techniczne satelitów nowej generacji

System/Konsorcjum	EarthWatch Inc.		Space Imaging	Orbimage
Satelita	Early Bird	Quick Bird	CARTERRA	Orbview
Rok umieszczenia na orbicie	1997	1998	1997	1998
Wysokość orbity [km]	475	470	680	460
Zakresy spektralne [ $\mu\text{m}$ ]	Pan XS <sub>1</sub> XS <sub>2</sub> XS <sub>3</sub> XS <sub>4</sub>	0,45 - 0,80 0,45 - 0,59 0,61 - 0,68 0,79 - 0,89	0,45 - 0,90 0,45 - 0,52 0,52 - 0,60 0,63 - 0,69 0,76 - 0,90	0,45 - 0,90 0,45 - 0,52 0,52 - 0,60 0,63 - 0,69 0,76 - 0,90
Rozdzielczość (piksele [m])	Pan XS	3 15	1 4	0,82 4
Interwał zobrazowania (Revisit time)	2 - 3 dni	2 - 3 dni	1,5 - 2 dni	< 3 dni
Typ detektora	CCD	linijka detektorów	linijka detektorów	linijka detektorów
Rozdzielczość spektralna danych	8 bitów	11 bitów	11 bitów	11 bitów
Rozmiary sceny [km]	Pan XS	6 x 6 30 x 30	6 x 6 36 x 36	11 x 11 11 x 11
Rejestracja środka rzutów (na orbicie)	DGPS	DGPS	DGPS	DGPS
Rejestracja danych na satelicie	500 scen	100 scen	64 Gbajty (500 scen)	32 Gbajty (250 scen)
Dokładność opracowania kartograficznego [m]				
bez fotopunktów	$m_p$	–	–	12
	$m_z$	–	–	8
z fotopunktami	$m_p$	6	2	2
	$m_z$	4	3	3

EarthWatch: <http://www.digital.globe.com>

Space Imaging/EOSAT: <http://www.spaceimage.com>

**P**okrycie stereoskopowe w zobrazowaniach satelitarnych można otrzymać zgodnie z kierunkiem ruchu satelity (tak jak w zobrazowaniach lotniczych), ale również w kierunku przeciwnym do jego ruchu oraz z sąsiedniej orbity, podczas następnego obiegu Ziemi, czyli po upływie około 90 minut. Pokrycie może w takim przypadku sięgać 100%. Do opracowania NMT (numerycznego modelu terenu) z takich zobrażeń konieczne będzie użycie specjalnego oprogramowania do pomiaru zdjęć konwergentnych (zbieżnych). Jakość danych pozwoli na automatyczną generację NMT oraz numerycznego modelu pokrycia terenu (ten ostatni nieodzowny jest np. do określania propagacji fal radiowych do planowania sieci telefonii komórkowej).

Wykonywanie zobrażeń satelitarnych połączone jest z rejestracją precyzyjnym DGPS i inercyjnym systemem nawigacyjnym (INS), które określają przestrzennie współrzędne środka rzutów z dokładnością do 10 cm i kąty orientacji, czyli tzw. elementy orientacji zewnętrznej dla ekspozycji linii skanowanej.

**W** przypadku satelity CARTERRA skala zobrazowania w nadirze (prostopadle do powierzchni Ziemi) wynosi 1: 66 000, wielkość piksela 0,82 m, a szerokość pasa obrazowania (dla 13 000 pikseli x 0,82 m) – 11 km. Skaner może być wychylany do 40° w dowolnym kierunku (gimballing), co daje skalę zobrazowania 1: 100 000 (w kierunku prostopadłym do kierunku lotu) i 1: 66 000 w kierunku lotu. Przy skanowaniu w maksymalnym wychyleniu lustra (40°) piksel ma rozmiary 1,3 m w kierunku prostopadłym do lotu i 0,82 m w kierunku lotu; szerokość pasa zobrazowania wynosi wtedy 17 km. Dane satelitarne o rozdzielczości rzędu 1 m

dadzą możliwość generowania numerycznego modelu terenu zarówno przy pomocy fotopunktów (do skali 1:5000), jak i bez nich (do skali około 1:25 000). Opracowania kartograficzne wykonane na ich podstawie będą spełniały oficjalne kryteria dokładności. Korzystając tylko z DGPS na satelicie, który wyznacza położenie zobrazowania w przestrzeni z dokładnością 3 m oraz kierunek osi zobrazowanego piksela z dokładnością 2", można będzie sporządzać mapy terenów niedostępnych lub takich, gdzie dokładność opracowania może być mniejsza.

**K**oszt ortofotomapy o rozdzielczości 1 m wykonanej na podstawie zdjęć lotniczych wynosi obecnie w USA 80-120 USD za 1 km<sup>2</sup>. Space Imaging/EOSAT będzie oferował opracowanie ortofotomap satelitarnych o takiej dokładności w granicach 40 USD za 1 km<sup>2</sup>, czyli od dwu do trzech razy taniej.

Czy wprowadzenie na rynek wyskorozdzielczych zdjęć satelitów nowej generacji spowoduje odejście od zastosowań zdjęć lotniczych? Specjaliści twierdzą, że dane te okażą się komplementarne, a twórcy systemów informacji geograficznej i producenci map będą mogli zoptymalizować swą działalność korzystając z banków danych organizowanych przez Space Imaging – CARTERRA TM, Earth-Watch – Digital GlobeTM i ORBIMAGE – ORBNET TM. Te nowoczesne banki będą oferować dane satelitarne, lotnicze, archiwalne dane topograficzne, numeryczne modele terenu i wszelkie inne rodzaje danych uzupełniających w systemie on-line (przez łącza komputerowe) i off-line (sprzedaż tradycyjna). Informacje o danych udostępnione będą w Internecie.

**GEOZET**

**Sprzęt geodezyjny** firm: NIKON, TOPCON, SOKKIA, BERGER, BHI i innych

**GEOZET**

**Sprzęt kreślarski** firm: STANDARDGRAPH-MECANORMA, KIN, ROTRING, STAEDTLER

**GEOZET**

**Światłokopiarki** firm: REGMA, NEOLT

**Materiały eksploatacyjne** firm: REGMA, RENKER

**GEOZET**

**Materiały do ploterów** – papiery, folie, kalki  
**Folie kserograficzne**

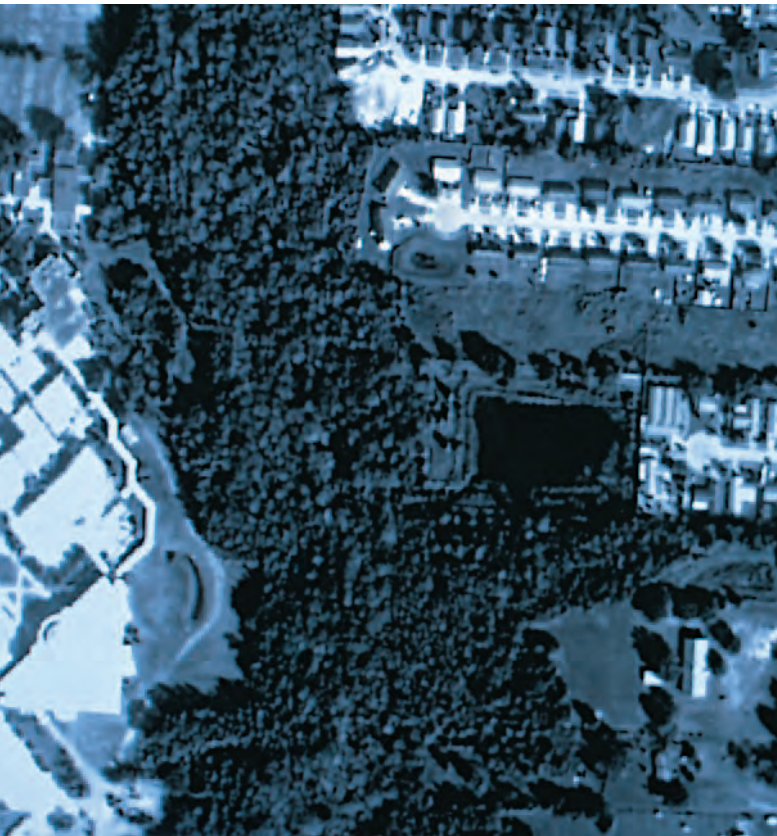
**GEOZET**

**Pomocniczy sprzęt geodezyjny:** ruletki, piony, węgielnice, łaty, tyczki, lustra, statywy

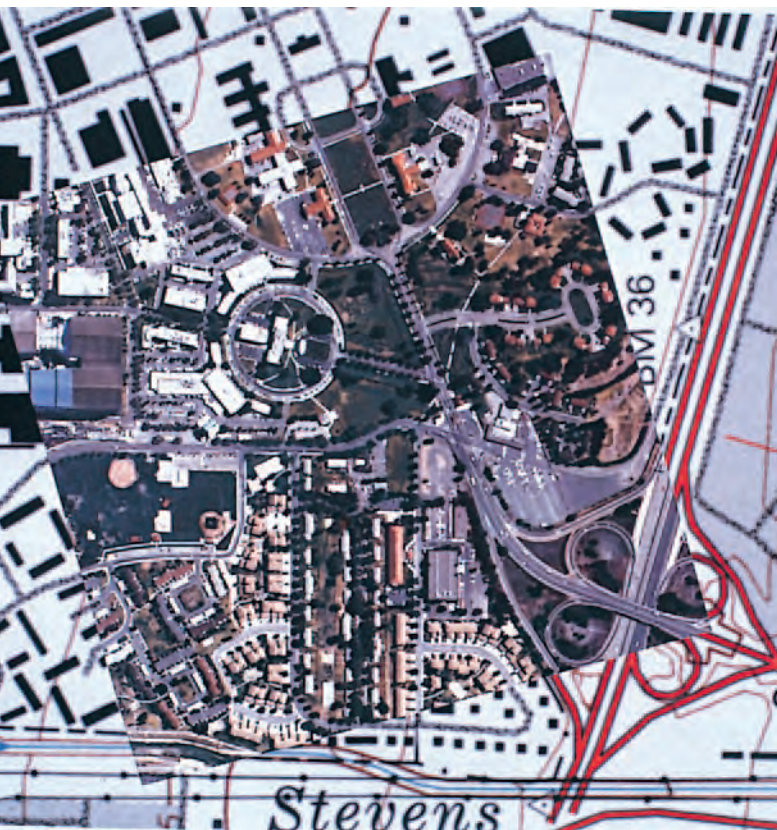
**GEOZET**

**GEOZET S.C.**

**01-018 Warszawa, ul. Wolność 2a, tel./faks 38-41-83**



**Rys. 4 (powyżej).** Orlando, Floryda. Symulowany obraz satelity Quick Bird (EarthWatch) o rozdzielczości 1 m. Zdjęcie udostępnione przez EOSAT.



**Rys. 6 (poniżej).** Ortofotografia (High Definition Ortho Images – DQQ) z pikselem 1 m dostępna poprzez bazę danych Digital Globe™ (EarthWatch). Dostępne są zobrazowania ze skanowanych zdjęć lotniczych barwnych, panchromatycznych i wykonanych w podczerwieni w barwach umownych. Zdjęcie udostępnione przez EOSAT.



**Rys. 7 (powyżej).** Ortofotografia (Ultra High Definition Ortho Images) z pikselem 0,5 m z bazy danych Digital Globe™. Zdjęcie udostępnione przez EOSAT.

**Rys. 5 (obok).** Simulowane zobrazowanie 11-bitowe miasta Mountain View w Dolinie Krzemowej w Kalifornii (Space Imaging). Obraz powstał z połączenia panchromatycznego zobrazowania o rozdzielczości 1 m z obrazem wielospektralnym o rozdzielczości 4 m. Produkt ten został następnie cyfrowo nałożony na mapę wektorową w skali 1:24 000 opracowaną przez US Geological Survey. Widoczne jest większe bogactwo szczegółów niż na konwencjonalnej mapie wektorowej. Zdjęcie udostępnione przez Space Imaging.

Dążąc do zapewnienia swym produktom optymalnych warunków zbytu Space Imaging, EarthWatch i ORBIMAGE uświadomiły sobie w pełni konieczność daleko idącej współpracy na rynkach światowych i już obecnie tworzą międzynarodowe struktury odbioru, przetwarzania i dystrybucji danych. Konsorcjum Space Imaging nabyło w listopadzie 1996 roku amerykańską firmę dystrybucyjną EOSAT – dotychczasowego światowego dystrybutora danych LANDSAT, również wyłącznego dystrybutora danych z satelitów indyjskich i jednego z głównych dystrybutorów zdjęć rosyjskich. Jeszcze przed połączeniem ze Space Imaging EOSAT podpisał umowę dystrybucyjną z konsorcjum EarthWatch. EOSAT, a poprzez niego również europejski EURIMAGE będzie więc udostępniał dane z większości światowych satelitów teledetekcyjnych. Taka organizacja sprzedaży danych będzie bardzo korzystna dla użytkowników – producentów opracowań kartograficznych i twórców GIS.

Jakie mogą być inne konsekwencje wprowadzenia na orbitę satelitów pozyskujących dane o rozdzielczości rzędu 1 metra? Zaczniemy od spraw tajności. Wiadomo, że konsorcja Space Imaging i EarthWatch podpisały z Izraelem umowy o całkowitym wyłączeniu terytorium tego państwa ze swoich planów akwizycji danych! A co mogą zrobić inne państwa, które nie wynegocjowały takich warunków, a zechcą ukryć pewne obiekty przed okiem satelity? Tym nie pozostanie nic innego, jak zastosowanie skutecznego kamuflażu. Przed sensorem wielospektralnym nie ukryją się jednak rzędy samolotów zamaskowane zieloną siatką ze sztucznymi listkami. Zadanie będzie polegało na zafałszowaniu charak-

## Objaśnienia użytych terminów:

- piksel** – element obrazu. Im mniejszy piksel, tym większa terenowa zdolność rozdzielcza zobrazowania.
- obraz 8-bitowy** jest obrazem czarno-białym w przedziale gęstości optycznej od 0 do 255, czyli  $2^8$ , co daje 256 odcieni szarości, gdzie 0 odpowiada kolor czarny, a 255 kolor biały. Obraz 11-bitowy zawiera  $2^{11}$  (2048) odcieni szarości.
- Pan** – zobrazowanie panchromatyczne wykonywane jest skanem działającym w widzialnym zakresie spektrum elektromagnetycznego i bliskiej podczerwieni (zwykle 0,45-0,8  $\mu\text{m}$ ).
- XS** – zobrazowanie wielospektralne wykonywane jest jednocześnie w kilku zakresach spektrum przy pomocy filtrów przepuszczających tylko dany wycinek promieniowania, np. pasmo zieleni, czerwieni, promieniowania podczerwonego.
- ortofotomapa cyfrowa** – przetworzone do obowiązującego odwzorowania kartograficznego zeskanowane zdjęcie lotnicze lub zobrazowanie satelitarne, w którym wyeliminowano błędy położenia i wysokości punktów wynikające ze sposobu rejestracji. Ortofotomapa zawiera znacznie więcej informacji niż tradycyjna mapa wektorowa.
- DGPS** (Differential Global Positioning System) – oparty na znajomości położenia satelitów GPS system wyznaczania położenia punktów na powierzchni Ziemi i odpowiadających im punktów na zobrazowaniu satelitarnym. Każdy punkt wyznaczany jest niezależnie, na podstawie kilku satelitów, z taką samą dokładnością.
- USGS** (United States Geological Survey) – agencja rządowa USA odpowiedzialna za opracowywanie map topograficznych kraju.

terytyki spektralnej obiektu, aż do wysyłania w przestrzeń fałszywych sygnałów w celu zmylenia czujników satelity. Zwiększona dostępność wysokorozdzielczych danych satelitarnych spowoduje również wzrost liczby procesów o naruszeniu praw państw, firm, a nawet osób prywatnych poprzez niezgodne z ich interesami wykorzystanie informacji. Spodziewać się więc można burzliwego rozwoju przynajmniej dwóch dziedzin – badań nowoczesnych technik kamuflażu oraz prawa kosmicznego. Ale to już nie jest problem dla geodetów. My rzucimy się z zapałem do pracy i przy pomocy nowych danych satelitarnych będziemy tworzyć jeszcze dokładniejsze, piękniejsze i tańsze mapy.

## Literatura:

- K.P. Korbly**: *One-Meter Satellites – Expanding Imagery for GIS Geo Info Systems*, 1996, s. 28-42;
- Nuova Telespazio S.p.A. Materiały firmy, 1996;
- EarthWatch: Materiały firmy, 1996;
- J. Thorpe**: *Aerial Photography and Satellite Imagery: Competing or Complementary?* – Earth Observation Magazine, 1996, s. 35-39;
- L.W. Fritz**: *The Era of Commercial Earth Observation Satellites*, PE&RS, 1996, s. 39-43;
- L.W. Fritz**: *Commercial Earth Observation Satellites*, ISPRS Archive, Vol. XXI B 4, Comm.IV, s. 273-282;
- Space Imaging, Materiały firmy i kontakty osobiste, 1996;
- Materiały konferencji Globalnej Sieci Dystrybucji Danych Satelitarnych Space Imaging/EOSAT, Amelia Island, Florida, 1997.

**Doc. dr hab. inż. Romuald Kaczyński** jest kierownikiem Zakładu Fotogrametrii w IGiK, specjalistą fotogrametrii cyfrowej. W 1995 roku otrzymał nagrodę Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji im. Doleżala.

**Mgr Wiesława Sujkowska** jest pracownikiem OPOLiS – IGiK i przedstawicielem sieci dystrybucji danych satelitarnych EURIMAGE oraz SPOTIMAGE.

radiotelefon dla geodety



## ALINCO

...dla praktyków



zasięg: do 10 km

opcja: obsługa bez pomocy rąk

wyposażenie dodatkowe

wymiary 55 x 100 x 28

tylko 492 zł.za szt.+VAT



40-091 Katowice ul. Słowackiego 13/2  
tel. (032) 106-89-23