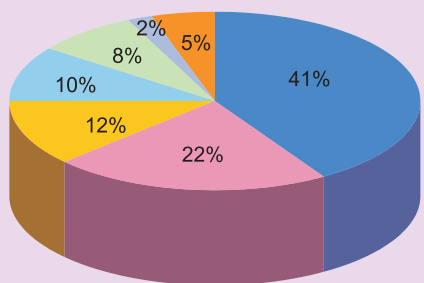


Chyba wrażenie spowodowane coraz to nowymi możliwościami pozyskiwania obrazów satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości sprawiło, że umknęło należytej uwadze zaistnienie najnowszego systemu z serii SPOT. Zasadniczo różni się on od swoich poprzedników i wypełnia lukę w obrazowaniu satelitarnym, plasując się między systemami „metroowymi” (jak Ikonos czy Quick-Bird) i średniorozdzielczymi (jak Landsat).



● Satelity SPOT 1-4

Obrazy i produkty pochodne z francuskiego satelitarnego systemu SPOT weszły na stałe do użytku, zyskały znaczną popularność i znalazły zastosowanie w wielu sektorach działalności (rys. 1). SPOT 1 zaczął funkcjonować w 1986 r. Kolejne cztery satelity (SPOT 4 nadal



- Tworzenie bazy danych topograficznych i GIS
- Rolnictwo i leśnictwo
- Środowisko
- Planowanie użytkowania ziemi
- Geologia
- Indywidualni użytkownicy
- Inne

Rys.1. Sektorowy udział użytkowników obrazów SPOT

pracuje) krążyły na podobnych orbitach heliosynchronicznych na wysokości 830 km. Każdy z nich wyposażono w dwa identyczne systemy obrazowania Ziemi. Są to skanery elektrooptyczne wysokiej rozdzielczości HRV z linijkami CCD umieszczonymi w płaszczyźnie ogniskowej teleskopów optycznych i zorientowanymi w kierunku prostopadłym do kierunku lotu. Każdy skaner HRV ma 4 linijki CCD:

- jedną złożoną z 6000 elementów do obrazowania panchromatycznego,
- 3 linijki po 3000 elementów każda do obrazowania wielospektralnego w zakresie zielonym, czerwonym i podczerwonym.

Każdy ze skanerów może pracować w trybie panchromatycznym (XP) lub wielospektralnym (XS). Z orbity skaner nadirowo „widzi” i rejestruje pas terenu o szerokości 60 km. Oznacza to, że terenowy wymiar piksela w trybie panchromatycznym wynosi 10 x 10 m, a w trybie wielospektralnym – 20 x 20 m.

Unikalnym rozwiązaniem skanerów HRV jest ruchome zwierciadło umie-

szczone pod układem optycznym. Wychyla ono pole widzenia skanera w kierunku poprzecznym do kierunku lotu do $\pm 27^\circ$ (co $0,6^\circ$). Położenie lustra można programować niezależnie dla każdego skanera. Oznacza to, że każdy z obrazowanych pasów można wybrać z pasa terenu o szerokości 950 km, nad którym przelatuje satelita, lub obrazować jeden pas o podwójnej szerokości. Możliwość obrazowania obszaru leżącego „z boku” trajektorii lotu znakomicie zwiększa częstotliwość „rewizyt”. Ruchome zwierciadło ma jeszcze jedną zaletę: pozwala uzyskać parę obrazów stereoskopowych tego samego obszaru pozyskanych z różnych orbit. Jest to tzw. stereoskopia z sąsiednich orbit. Jeżeli rozpatrywać parę obrazów pozyskanych pod skrajnymi kątami wychylenia zwierciadła, to para taka charakteryzuje się stosunkiem bazowym $B/H \approx 1,0$, a to oznacza dobrą wyznaczalność wysokości. Należy jednak zdawać sobie sprawę z ograniczeń możliwości pozyskania stereopary z różnych orbit. Niezbędne jest bowiem bezchmurne niebo w dwóch różnych dniach. Szanse na

taką pogodę, szczególnie w warunkach europejskich, są stosunkowo małe. Co więcej, obrazy tworzące stereoparę nie mogą być pozyskane w dużych odstępach czasu, ponieważ zmiany pokrycia terenu, spowodowane głównie zmianami szaty roślinnej, utrudniają stereoskopię, a w skrajnym przypadku ją uniemożliwiają (trudno mówić o stereoskopii obrazów pozyskanych w różnych porach roku).

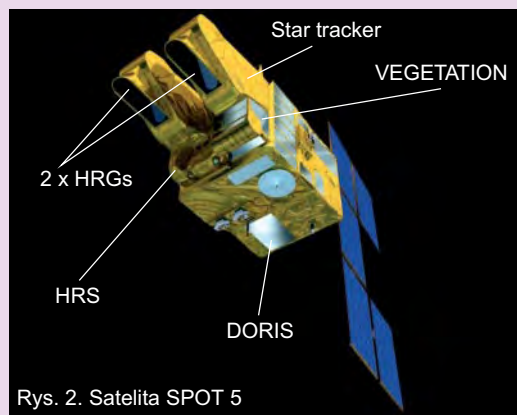
● SPOT 5 na orbicie

Satelita SPOT 5 (rys. 2) – umieszczony na orbicie 4 maja 2002 r. – różni się istotnie od wcześniejszych. Choć orbita została podobna, to ma on znacznie większą masę – 3000 kg (poprzednie 1750 kg). Zasadniczej zmianie uległy systemy obrazowania. SPOT 5 wyposażony jest m.in. w:

- dwa wysokorozdzielcze skanery HRG (ang. *high resolution geometric*),
- wysokorozdzielczy skaner stereoskopowy HRS (ang. *high resolution stereoskop instrument*).

● Wysokorozdzielcze skanery HRG satelity SPOT 5

Skanery HRG zastąpiły skaner HRV z wcześniejszych satelitów. Każdy może obrazować pas terenu o szerokości 60 km w trybie panchromatycznym z pikselem terenowym 5 m lub w trybie wielospektralnym w 4 zakresach (zielonym, czerwonym i podczerwonym – z pikselem 10 m i średniej podczerwieni – z pikselem 20 m). Nowością jest to, że w płaszczyźnie tłowej skanera wielospektralnego znajduje się jedna linijka CCD dla każdego kanału spektralnego, złożona z 12 000 pojedynczych elementów o wymiarach 6,5 x 6,5 μm. W zakresie panchromatycznym linijki obrazu tworzą dwie takie linijki CCD. We wcześniejszych skane-



Rys. 2. Satelita SPOT 5



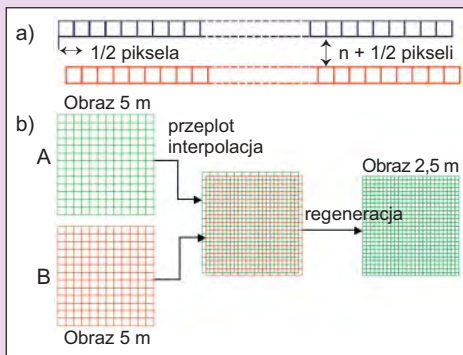
b) fragment (Śródmieście – 3,8 x 3,5 km)



c) powiększony fragment (Starówka – 1,7 x 1,6 km)

rach wirtualna linijka złożona z 6000 elementów składała się z 4 fizycznych linijek CCD.

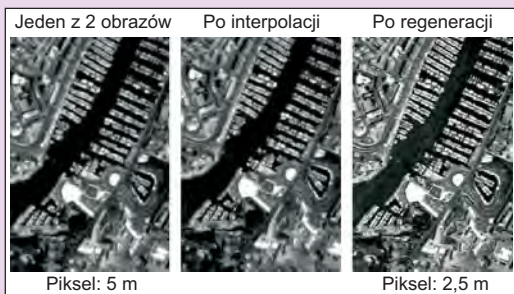
Skanery HRG mają jeszcze jedno rewolucyjne rozwiązanie. W płaszczyźnie tłowej teleskopu każdego ze skanerów znajduje się podwójny komplet linijek CCD, każda – jak powiedziano wcześniej – zawierająca 2 x 12 000 czułych elementów CCD. Każdy komplet linijek tworzy linię obrazu panchromatycznego z pikselem 5 m. Istotą rozwiązania jest to, że linie te umieszczone są obok siebie, ale przesunięte jedna względem drugiej o 1/2 piksela wzdłuż linii i o nieparzystą wielokrotność połowy piksela w kierunku poprzecznym (tj. kierunku lotu satelity) – rys. 3a. Pozwala to w rezultacie pozyskiwać jednocześnie z danego skanera HRG dwa obrazy panchromatyczne, każdy z pikselem 5 m, ale przesunięte względem siebie o 1/2 piksela w obu kierunkach. Ilustruje to rys. 3b. Złożona obróbka



Rys. 3. Pozyskiwanie obrazów w trybie „super” (*super mode*)

- a) wzajemne usytuowanie linijek CCD w płaszczyźnie tłowej
- b) etapy procesu przetwarzania

takich dwóch obrazów pozwala wygenerować nowy z pikselem 2,5 m – w trybie „super” (*super mode*). Ta obróbka obejmuje interpolację obrazów pierwotnych, dekonwolucję, usunięcie szumów i regenerację. Ocenia się, że efektywna rozdzielczość tak wygenerowanego obrazu w trybie „super” odpowiada obrazowi z pikselem 3 m (rys. 4).



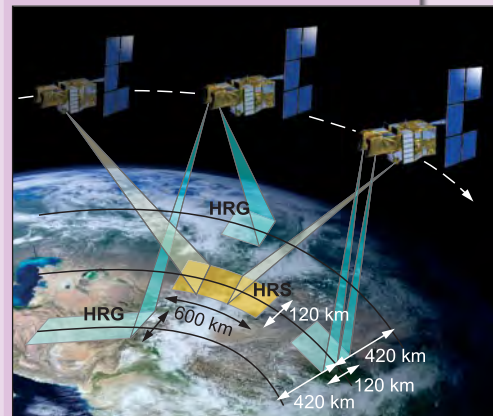
Rys. 4. Porównanie obrazów na etapach przetwarzania w trybie „super”

Specjalny sposób obróbki pozwala łączyć ze sobą obrazy panchromatyczne i wielospektralne o różnej rozdzielczości. W przypadku obrazów pozyskiwanych skanerem HRG satelity SPOT 5 daje to możliwość łączenia scen wielospektralnych z pikselem 10 m z panchromatycznymi z pikselem 5 m lub panchromatycznymi w trybie „super” z pikselem 2,5 m. W rezultacie takiego złożenia można otrzymać obraz barwny, ale o rozdzielczości panchromatycznego [algorytm takiej superpozycji został przybliżony w artykule *Wysokorozdzielcze systemy obrazowania satelitarne*, GEODETA 7/2002 i 8/2002 – red.].

● Skaner stereoskopowy HRS satelity SPOT 5

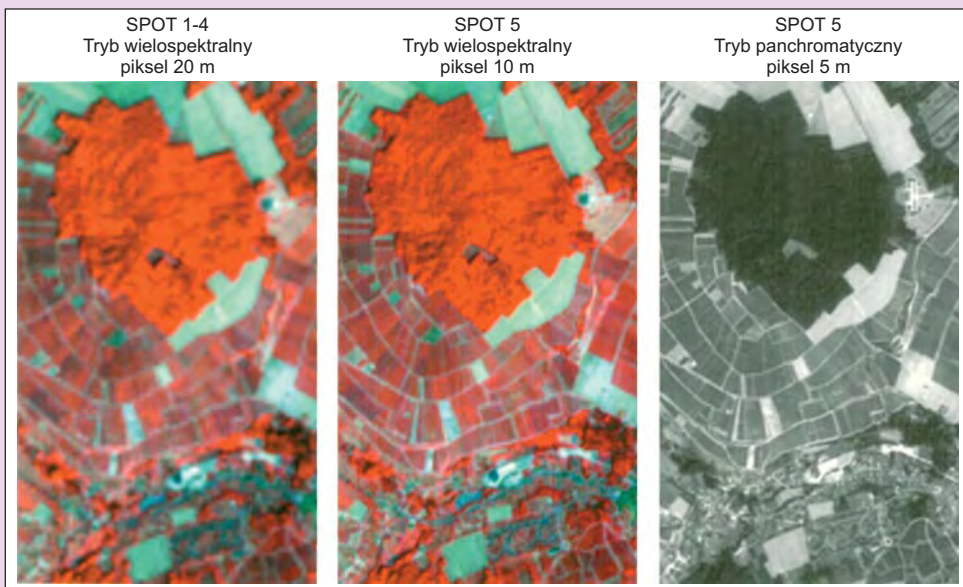
Całkowicie nowym przyrządem na pokładzie jest skaner stereoskopowy HRS. Wykorzystuje on koncepcję „stereoskopii z jednej orbity”. Składa się z dwóch niezależnych, identycznych kamer – skanerów elektrooptycznych. Osie optyczne skanerów znajdują się w płaszczyźnie orbity i są odchylone od linii pionu odpowiednio o 20° do przodu i 20° wstecz (ramka obok). Oznacza to, że z wysokości orbity $H = 832$ km pozyskiwane są jednocześnie obrazy stereoskopowe z bazy $B \approx 600$ km, ze stosunkiem bazowym $B/H \approx 0,84$ (jest on korzystniejszy niż dla szerokokątnych zdjęć lotniczych, gdzie zwykle $B/H \approx 0,60$). Taki stosunek bazowy gwarantuje dobrą wyznaczalność wysokości. Stereoskopia „z jednej orbity” ma

Charakterystyka skanera stereoskopowego HRS



częstotliwość rewizyt	26 dni
zakres spektralny	panchromatyczny (490-690 nm)
szerokość obrazowanego pasa	120 km
maksymalna długość obrazowanego pasa	600 km
stosunek bazowy (dł. bazy/wys. orbity)	0,84 ($\pm 20^\circ$)
piksel	10 m w poprzek orbity 5 m wzdłuż orbity (kier. paralaks)
dokładność wysokościowa DTM generowanego z HRS	5-10 m względna 10-15 m absolutna
potencjał obrazowania	dziennie 126 000 km ² docelowo 30-50 mln km ² w ciągu 5 lat

zdecydowaną przewagę nad stereoskopia „z sąsiednich orbit”, ponieważ oba obrazy pozyskiwane są w tym samym czasie. Również z tytułu zachmurzenia nieba stawiane są tu mniejsze ograniczenia. Oba skanery pracują w zakresie panchromatycznym (0,5-0,7 μ m). W płaszczyźnie tłowej każdego z nich znajduje się linijka CCD złożona z 12 000 elementów. Skanery obrazują pas terenu położony nadirowo pod satelitą o szerokości 120 km. Oznacza to terenowy wymiar piksela w kierunku poprzecznym do kierunku lotu równy 10 m. Maksymalna długość obrazowanego pasa wynosi 600 km. W kierunku podłużnym – w wyniku zwiększonej częstotliwości próbkowania (tj. odczytu sygnału z linijek CCD) – wymiar piksela wynosi 5 m. Taki zmniejszony wymiar piksela w kierunku lotu, tj. kierunku paralaks podłużnych, umożliwia zwiększenie dokładności określenia wysokości. ▶▶▶



Rys. 5. Porównanie obrazów satelitów serii SPOT (skala 1:25 000)

TANIEJ NIE BĘDZIE!

Już dziś skontaktuj się z naszym partnerem handlowym



WIELKA AKCJA PROMOCYJNA

Bentley PowerDraft V8.1 PL

Wszystko, co niezbędne w 2D dla plików DGN i DWG

Bentley PowerDraft V8.1 PL w sposób naturalny obsługuje najpopularniejsze formaty danych inżynierskich DGN i DWG, pozwala rejestrować zmiany wprowadzane do projektu i przywracać dowolną jego wersję, zabezpieczać dane projektowe mechanizmami podpisów elektronicznych oraz indywidualnych praw dostępu dla poszczególnych użytkowników, zapewnia pełną obsługę plików rastrowych w wielu formatach, pozwala na łączenie elementów plików projektowych z rekordami baz danych, rozbudowę środowiska o dodatkowe aplikacje oraz umożliwia dostęp do innych nowości i rozszerzeń pojawiających się wraz z Generacją V8 aplikacji firmy Bentley Systems.

~~5.375 zł~~
3.499 zł
+VAT

Promocja przedłużona do 28 sierpnia 2003 r.
<http://www.bentley.pl/promocja.html>



Produkty SPOT 5

Systemy obrazowania satelity SPOT 5 pozwalają wygenerować różne produkty, o różnej dokładności geometrycznej i charakterystyce spektralnej. Dystrybuowane są m.in.:

- standardowe sceny obrazowe na poziomie przetworzenia 1A, 1B i 2A (kolorowe z pikselem 20 m i 10 m oraz czarno-białe z pikselem 10 m, 5 m i 2,5 m),
- mapy obrazowe SPOTView Precision na poziomie przetworzenia 2B (kolorowe z pikselem 20 m, 10 m i 5 m oraz czarno-białe z pikselem 10 m, 5 m i 2,5 m),
- mapy obrazowe SPOTView Ortho na poziomie przetworzenia 3 (kolorowe z pikselem 20 m, 10 m i 5 m oraz czarno-białe z pikselem 10 m, 5 m i 2,5 m),
- Numeryczny Model Terenu (DTM) wsiatce 30 m.

Produkty mogą być dostarczane na różnym poziomie przetworzenia:

- 1A: bez korekcji geometrycznej, radiometria znormalizowana.
- 1B: korekcja geometryczna z tytułu ruchu obrotowego i krzywizny Ziemi oraz wychylenia układu optycznego, radiometria znormalizowana.
- 2A: przetworzenie do projekcji mapy (UTM WGS84) na podstawie danych pokładowych, radiometria znormalizowana.
- 2B: przetworzenie do projekcji mapy (UTM WGS84) z wykorzystaniem fotopunktów (GCP), radiometria poprawiona zgodnie z życzeniem odbiorcy.
- 3: produkt ortorektyfikowany (przetworzenie do projekcji mapy UTM WGS84 z wykorzystaniem fotopunktów i DTM), radiometria poprawiona zgodnie z życzeniem odbiorcy.

Więcej informacji: www.spotimage.com

Skaner stereoskopowy HRS przeznaczony jest do budowy Numerycznego Modelu Terenu (DTM) przydatnego w GIS. Nie jest przewidywana dystrybucja obrazów skanera HRS, a tylko produktu (DTM).

SPOT 5 wyposażony jest w pamięć półprzewodnikową o pojemności 90 GB, co odpowiada zawartości 160 scen panchromatycznych lub wielospektralnych. Ma doskonałe systemy pokładowe do rejestracji trajektorii orbity (DORIS) oraz systemy orientacji katowej oparte na śledzeniu gwiazd (Stellar Sensor). Pozwala to lokalizować pozyskiwane obrazy tylko na podstawie danych pokładowych (bez fotopunktów) z błędem średnim 50 m. Dla porównania, ta dokładność lokalizacji dla wcześniejszych satelitów serii SPOT była na poziomie 350-500 m.

● Kartograficzne wykorzystanie obrazów SPOT 5

Wcześniejsze systemy obrazowania SPOT zorientowane były na dostarczanie średniorozdzielczych, wielospektralnych obrazów o zasięgu globalnym. Obrazy te znajdują zastosowanie w monitorowaniu obiektów i zjawisk zachodzących na powierzchni Ziemi i jako takie wykorzystywane są w wielu aplikacjach branżowych.

Znaczne zwiększenie zdolności rozdzielczej systemu obrazowania SPOT 5 przy zachowaniu szerokiego pasa obrazowania oraz możliwość „stereoskopii z jednej orbity” pozwalają postrzegać te obrazy również jako źródło danych dla „typowych” opracowań mapowych.

W kontekście tworzenia map sytuacyjno-wysokościowych potencjał kartograficzny obrazów należy rozumieć jako:

- pomiarowy – określający dokładność sytuacyjną i wysokościową opracowania,
- interpretacyjny – określający zasób treści obrazu.

Z tych dwóch kryteriów drugie jest trudniejsze do spełnienia dla obrazów satelitarnych. W opracowaniach topograficznych przyjmuje się, że dla ekstrakcji z obrazów (czy zdjęć) treści topograficznej adekwatnej do zasobu mapy topograficznej, terenowa zdolność rozdzielcza powinna być nie gorsza niż 0,2 mm w skali mapy. Jeżeli zdolność rozdzielczą zdjęć czy obrazów rozumieć tak, jak tradycyjnie się ją definiuje dla zdjęć lotniczych, to terenowa zdolność rozdzielcza obrazu jest równa 2-3 pikselom terenowym (wynika to z procesu tworzenia obrazu pikselowego i teorii próbkowania). W rezultacie, jeżeli zadaniem jest tworzenie czy aktualizacja mapy topograficznej (o dokładności sytuacyjno-wysokościowej i treści jak tradycyjna mapa topograficzna), to piksel terenowy obrazu (czy skanowanych zdjęć) powinien być na poziomie 0,07-0,10 mm w skali mapy. Doświadczenia z obrazami satelitarnymi potwierdzają generalnie słuszność powyższej ogólnej relacji, ale jest to tylko wytyczna i nie należy jej traktować zbyt dosłownie w różnych przypadkach występujących w praktyce.

Posiłkując się powyższą ogólną regułą, można wskazać, że:

- obrazy panchromatyczne SPOT 5 (piksel 5 m) są przydatne do aktualizacji (czy tworzenia) map topograficznych w skali 1:50 000,

- obrazy panchromatyczne w trybie „super” (piksel 2,5 m) są przydatne do aktualizacji map topograficznych w skali 1:25 000.

Jeżeli celem opracowania jest wytworzenie cyfrowej ortofotomapy, to jej zdolność rozdzielczą określa wymiar wynikowego piksela. Przy wydruku ortofotomapy ze zdjęć lotniczych przyjmuje się, że dla zachowania oryginalnej treści ortofotomapy cyfrowej wydruk powinien mieć rozdzielczość około 10 pikseli/mm. Praktyka pokazuje, że przy korzystaniu z obrazów satelitarnych i właściwej ich obróbce cyfrowej można uzyskać zadowalający efekt wizualny już przy wydruku o rozdzielczości 5 pikseli/mm.

Przyjmuje się dodatkowo, że dokładność sytuacyjna cyfrowej ortofotomapy wynosi 2-3 piksele. Dla uzyskania takiej dokładności konieczne jest – na etapie ortorektyfikacji – wykorzystanie Numerycznego Modelu Terenu (DTM) o odpowiedniej dokładności wysokościowej. Uwzględniając powyższe rekomendacje, można określić, w jakiej maksymalnej skali można wizualizować (plotować, drukować) cyfrowe ortofotomapy wytworzone z obrazów SPOT. Obrazy satelitarne:

- z pikselem 20 m (wielospektralne kanały SPOT 1-4) – umożliwiają wytworzenie ortofotomap w skali 1:100 000,
- z pikselem 10 m (wielospektralne kanały SPOT 5, panchromatyczne kanały SPOT 1-4) – umożliwiają wytworzenie ortofotomap w skali 1:50 000,
- z pikselem 5 m (panchromatyczny kanał SPOT 5) – umożliwiają wytworzenie ortofotomap w skali 1:25 000,
- z pikselem 2,5 m (panchromatyczny kanał SPOT 5 w trybie „super”) – umożliwiają wytworzenie ortofotomap w skali 1:10 000.

Wizualizacja cyfrowych ortofotomap w większej skali nie poszerza zakresu informacji odczytywanych przy wizualnej analizie ortofotomap.

Porównanie wymaganej rozdzielczości obrazów cyfrowych dla tworzenia topograficznej mapy wektorowej i ortofotomapy potwierdza znany fakt, że dla wytworzenia cyfrowej ortofotomapy wystarczają obrazy o niższej zdolności rozdzielczej niż dla wytworzenia mapy wektorowej w tej samej skali. Powyższe wnioski można rozszerzyć na tworzenie baz danych topograficznych i budowę systemów GIS o zakresie treści zbliżonym do podanych skal.

Prognozy rozwoju rynku obrazowania satelitarnego zgodnie wskazują na rolnic-

two jako główny sektor zapotrzebowania na takie obrazy. Parametry satelity SPOT 5 spełniają takie oczekiwania. Składa się na to:

- wielospektralność (4 kanały spektralne),
- stosunkowo duża geometryczna zdolność rozdzielcza,
- duży obszar obrazowania połączony z możliwością wychylenia układu optycznego w poprzek trajektorii lotu pozwalający na częste rewizyty, co jest kluczem do rejestrowania upraw w zaprojektowanym terminie (obrazowanie co 2-3 dni dla szerokości 45°).

System dopłat bezpośrednich do rolnictwa – o którym tak głośno w kraju – wymaga przeprowadzania corocznych kampanii kontrolnych dla 5-6% powierzchni objętej dopłatami. Zakłada się, że kontrola taka będzie przeprowadzana metodami teledetekcji, na bazie trzykrotnej rejestracji w określonych fazach wzrostu upraw. W krajach UE i krajach kandydujących trwają prace wdrożeniowe, są przeprowadzane kampanie kontrolne dla testowania systemu. Parametry satelity SPOT 5 predysponują go do zajęcia czołowego miejsca w dostarczaniu danych do takiej kontroli.

● Perspektywy rozwoju systemów satelitarnych

Satelitarne obrazowanie Ziemi w minionych 30 latach rozwijało się bardzo stabilnie. Byliśmy świadkami ciągłego postępu w zakresie dużych narodowych, cywilnych systemów, takich jak Landsat czy SPOT. Na orbicie pojawiały się kolejne satelity danej serii (ze znacznym wyprzedzeniem znane były parametry techniczne i przewidywany termin umieszczenia). Towarzyszą temu rozbudowane sieci dystrybucji. Te kosztowne systemy są dotowane przez poszczególne państwa. Końcowi użytkownicy mogą nabyć obrazy po cenach kilkakrotnie niższych od faktycznych kosztów ich pozyskania.

Obok tego nurtu cywilnego rozwijają się systemy wojskowe. Dotychczas były to obszary rozłączne. Sytuacja w ostatnim okresie ulega dość zasadniczym zmianom. Można zaobserwować kilka istotnych, nowych elementów tej sytuacji:

1. Następuje komercjalizacja przemysłu obrazowania z kosmosu. Dzieje się tak za sprawą globalnej „odwilży”. Przejawem tego są licencje na satelitarne wysokorozdzielcze obrazowanie, a wynikiem – zaistnienie rynku obrazów

Ceny produktów SPOT (SPOT Image) w euro

Standardowe sceny, poziom 1A, 1B, 2A. Produkty archiwalne

Produkt	SPOT	Pełna scena 60 x 60 km	1/2 sceny 40 x 40 km	Uwagi
kolor 20 m cz.-b. 10 m	1-4	1900	1200	dla scen z okresu 1986-2000
kolor 10 m cz.-b. 5 m	5	2700	2025	
cz.-b. 2,5 m	5	5400	4050	

Uwaga: dla produktów zamawianych, wymagających programowania systemu cena powiększona o 800 euro/produkt.

Numeryczny Model Terenu – DEM (w siatce 30 m). Produkt archiwalny

stereopara	6500
30' x 30'	6500
15' x 15'	3200
7'30 x 7'30	1650

Uwagi: ■ DEM dostarczany bez obrazów stereo. ■ Cena dotyczy DEM znajdującego się w archiwum. W przeciwnym przypadku naliczany jest dodatkowy koszt programowania satelity.

Mapy obrazowe SPOTView Precision – poziom 2B

Produkt	Pełna scena 60 x 60 km	30' x 30'	15' x 15'	7'30 x 7'30
kolor 20 m cz.-b. 10 m	3240	3240	1990	1440
kolor 10 m cz.-b. 5 m	4040	4040	2400	1730
kolor 5 m cz.-b. 2,5 m	6740	6740	3480	2220
kolor 2,5 m	9980	9980	5100	3170

Uwagi: ■ Ceny dotyczą produktów zamawianych (programowanych). Dla produktów znajdujących się w archiwum – cena pomniejszona o 800 euro/produkt. ■ Dla produktów zamawianych z priorytetem realizacji – dodatkowy koszt 3100 euro/produkt

Mapy obrazowe SPOTView Ortho – poziom 3

Produkt	Pełna scena 60 x 60 km	30' x 30'	15' x 15'	7'30 x 7'30
kolor 20 m cz.-b. 10 m	3420	3420	2100	1500
kolor 10 m cz.-b. 5 m	4220	4220	2510	1800
kolor 5 m cz.-b. 2,5 m	6920	6920	3600	2300
kolor 2,5 m	10 200	10 200	5300	3300

Uwagi: ■ Ceny dotyczą produktów zamawianych (programowanych). Dla produktów znajdujących się w archiwum – cena pomniejszona o 800 euro/produkt. ■ Dla produktów zamawianych z priorytetem realizacji – dodatkowy koszt 3100 euro/produkt

Warto zauważyć, że SPOT 5 dzięki znacznie zwiększonej zdolności rozdzielczej w stosunku do wcześniejszych systemów tej serii oraz przy zachowaniu szerokości obrazowanego pasa terenu „wpasowuje” się pod względem rozdzielczości i wydajności obrazowania między „metrowe” systemy satelitarne (takie jak Ikonos czy QuickBird), charakteryzujące się bardzo dużą rozdzielczością przy stosunkowo małym pasie obrazowania, a średniorozdzielcze (jak Landsat 7) – rys. 6. Jeżeli przy porównaniach uwzględnić czynnik ceny, to okazuje się, że SPOT 5 wypełnia lukę wśród dostępnych systemów obrazowania satelitarnego i oferuje produkty o bardzo korzystnym stosunku ceny do jakości (patrz tabela na s. 12).

o „metrowej” rozdzielczości. Dostępność takich obrazów dla cywilnych użytkowników stwarza nowe możliwości, a obrazy te przejmują częściowo rynek dotychczas pokrywany przez zdjęcia lotnicze.

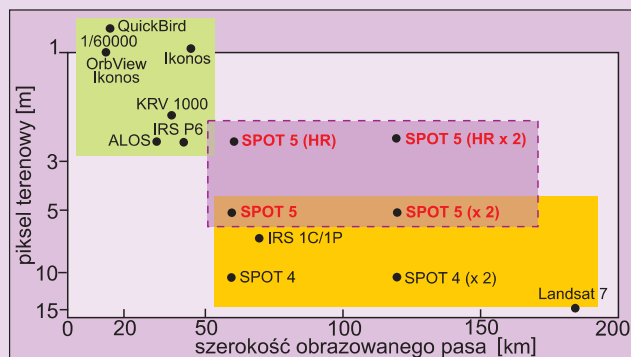
2. Zaistnienie wysokorozdzielczych systemów obrazowania satelitarnego okrzyknięto sukcesem. W kategoriach technicznych jest to niewątpliwym sukces. Ale nie jest to już takie oczywiste, jeśli patrzeć z punktu widzenia finansowego. Powstały silne konsorcja stawia-

jące sobie za cel budowę systemów „metrowych”. Prace przygotowawcze pochłonęły olbrzymie kwoty. Na etapie planowania zakładano, że koszt obrazów będzie poniżej kosztów pozyskania zdjęć lotniczych o porównywalnym potencjale pomiarowym. Tak się jednak nie stało, obrazy „metrowe” są droższe od zdjęć lotniczych. Okoliczności te nie pozwalają – jak na razie – mówić o sukcesie finansowym, komercyjnego przecież, przedsięwzięcia. Powoduje to niepewność rozwoju tych systemów.

3. Nie ma konkretnych zapowiedzi kontynuowania programów Landsat i SPOT; przeciwnie, wiele wskazuje na to, że te systemy w dotychczasowej formule nie będą kontynuowane.

4. Obserwuje się trend odchodzenia od ciężkich, wielosystemowych satelitów (takich jak Landsat, SPOT, Envisat) na rzecz „lekkich”, wyposażonych w pojedyncze systemy obrazowania. Głównym powodem takich zmian jest dążenie do obniżenia kosztów budowy satelitów i umieszczenia ich na orbicie.

5. Obrazowanie satelitarne przez dziesięciolecie zdominowane przez zaledwie trzy kraje (USA, Rosja, Francja) staje się polem działalności kilku nowych. Można tu wymienić Indie, Niemcy, Japonię, Chiny, Brazylię, Koreę, Izrael czy Wielką Brytanię. W dziedzinie budowy mikro- i minisatelitów dużą aktywność wykazuje brytyjska firma SSTL (Surrey Satellite Technology Ltd.), która w latach 1990-2000 zbudowała satelity dla Korei, Portugalii, Chile, Tajlandii, Malezji i Chin. Zainteresowanie tym obszarem



Rys. 6. Parametry geometryczne SPOT 5 na tle innych systemów obrazowania satelitarnego

działalności wyrażają Nigeria i Turcja. Ci nowi „aktorzy” zainteresowani są budową i eksploatacją małych satelitów, głównie na własne potrzeby.

6. Wszystkie prognozy rozwoju rynku obrazowania satelitarnego zgodnie wskazują na rolnictwo jako główny sektor zapotrzebowania na takie obrazy. Miałyby one służyć do oceny stanu upraw, określania pór nawożenia, sygnalizowania zagrożeń upraw i szybkiego reagowania na te zagrożenia, potrzeby stosowania środków chwastobójczych, kontroli nawadniania, prognozowania zbiorów itd. Takie potrzeby wymagają obrazowania wielospektralnego o średniej rozdzielczości i krótkim okresie rewizyt, możliwości praktycznie codziennego obrazowania interesujących obszarów.

Zestawienie cen różnych produktów satelitarnych

System	Produkt	Cena za produkt [euro]	Cena jednostkowa [euro/km ²]
Landsat 7	Pełna scena (173 x 183 km) panchro + 7 kanałów wielospektralnych	1500	0,047
SPOT 5	Scena (60 x 60 km): kolor 10 m lub cz.-b. 5 m	3500	0,97
	Scena (60 x 60 km): cz.-b. 2,5 m	6200	1,72
	Mapa obrazowa SPOTView Ortho, scena (60 x 60 km): kolor 10 m lub cz.-b. 5 m	4220	1,17
	kolor 5 m lub cz.-b. 2,5 m	6920	1,92
	kolor 2,5 m	10 000	2,83
	DEM (siatka 30' x 30') – archiwalny	6500	2,11
IRS-1C/D	Panchro, scena (70 x 70 km), 5,8 m	2500	0,51

7. Jednym z priorytetów nowych systemów jest wzrost częstotliwości obrazowania. Czas rewizyt skracają się do 1 dnia. Pozwoli to na planowanie obrazowania w założonym terminie. Taka możliwość może mieć kluczowe znaczenie dla niektórych zastosowań, jak np. rolnictwo (kontrola upraw), ubezpieczenia, obronność, monitorowanie obszarów klęsk żywiołowych.

8. Przewiduje się, że nastąpi zbliżenie dotychczas rozłącznych potrzeb cywilnych i wojskowych. Nowe systemy będą obsługiwały oba te sektory.

9. Oczekuje się, że w bliskiej przyszłości radarowe systemy SAR z pikselem 1 m będą dostępne komercyjnie. Należy jednak podkreślić, że zasób informacyjny obrazów SAR jest inny niż obrazów w zakresie optycznym. Można przyjąć w przybliżeniu, że zasoby te są porównywalne, gdy piksel obrazu optycznego jest 3-5 razy większy (to znaczy, że zasób treści obrazu SAR z pikselem 1 m będzie porównywalny z zasobem obrazu optycznego z pikselem 3-5 m).

ostatniego satelity SPOT 5. Zmienia się polityka francuskiej agencji kosmicznej CNES (Centre National D'Etudes Spatiales) dalszego uczestnictwa Francji w obrazowaniu satelitarnym. Proponowana jest koncepcja Pléiades, która ma zastąpić system SPOT. Zakłada się również, że w przyszłości nie będzie obowiązywał podział na systemy o przeznaczeniu militarnym (jak HELIOS) i systemy cywilne (jak SPOT). Nowy system ma być wykorzystywany przez obie grupy użytkowników. Na mocy porozumienia podpisanego w styczniu 2001 r. między Francją i Włochami francuska agencja kosmiczna CNES i włoska ASI rozwijają dualny (optyczny i radarowy, cywilny i militarny) system obserwacji Ziemi, łączący odpowiednie projekty narodowe Pléiades i Cosmo-Skymed. Program zakłada umieszczenie na orbicie w latach 2003-2006 konstelacji minisatelitów: czterech radarowych i dwóch optycznych o wysokiej rozdzielczości (piksel poniżej metra). Francja rozwija komponenty optyczne, będące kontynuatorami SPOT, Włochy rozwijają komponenty radarowe. Segment naziemny budowany jest wspólnie. Satelity optyczne i radarowe będą dostarczały dane o bardzo krótkim odstępie rewizytowania: 24 h w zakresie optycznym i 12 h w zakresie mikrofalowym. Dane te mają zaspokoić zarówno potrzeby naukowe, jak i komercyjne, ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb obronności i bezpieczeństwa. Przewidywane główne zastosowania cywilne to: kartografia i GIS, infrastruktura, planowanie przestrzenne dla miast, geodynamika i zagrożenia sejsmiczne, rolnictwo i użytkowanie ziemi, leśnictwo i hydrologia.

● SPOT, i co dalej?

Program SPOT liczy 17 lat. Byliśmy przyzwyczajeni do tego, że informowano o parametrach technicznych i planowanych terminach umieszczenia na orbicie kolejnych satelitów systemu. Sytuacja obecnie zmieniła się o tyle, że nie jest planowane umieszczenie następcy