

Przemysław Tuross*GEOSYSTEMS Polska Sp. z o.o., Warszawa*

SATELITARNE SYSTEMY OBSERWACJI ZIEMI – SIŁA RÓŻNORODNOŚCI

Wstęp

Zagadnienia przyrodnicze w badaniach przestrzeni geograficznej są jednymi z bardziej wymagających ze względu na złożoność dziedziny i różnorodność celów opracowań, zaś najbardziej wszechstronnym, dokładnym i aktualnym źródłem informacji geograficznej są zobrazowania satelitarne. Jednak wybór właściwego pod względem merytorycznym i ekonomicznym źródła danych obrazowych jest zadaniem złożonym. Potrzeby użytkowników informacji obrazowej, rejestrowanej z pułapu satelitarnego, są różne w zależności od przyjętej metodyki i założeń opracowania (zakres tematyczny, skala), dynamiki obserwowanych zjawisk (sytuacje kryzysowe, monitoring rozwoju roślin, aktualizacja map) i wielkości obszaru zainteresowania (zasięg lokalny, regionalny, krajowy). Tym samym różne są wymagania stawiane systemom satelitarnym w zakresie rozdzielczości przestrzennej (wymiar najmniejszego fragmentu terenu reprezentowanego w strukturze danych – terenowy rozmiar piksela), rozdzielczości spektralnej (wyrażana w ilości kanałów rejestracji i ich zakresie) i radiometrycznej (czułość rejestracji), a także rozdzielczości czasowej (potencjalny interwał akwizycji) i zasięgu terenowego (wielkości obrazowanego obszaru).

Publikacja ta stanowi przegląd możliwości kilku spośród stosowanych obecnie obserwacyjnych systemów satelitarnych. Zostały one podzielone na dwie grupy wykorzystujące odmienne technologie pozyskiwania zobrazowań. Systemy optyczne rejestrują promieniowanie odbite Słońca. Mimo uzależnienia od oświetlenia słonecznego i warunków atmosferycznych od lat dostarczają dużych ilości informacji o właściwościach fizycznych i chemicznych obiektów na powierzchni Ziemi. Natomiast instrumenty satelitów mikrofalowych (radarowe), należących do systemów aktywnych, same są źródłem promieniowania. Pozwala to na uniezależnienie od oświetlenia słonecznego i w znacznej mierze od warunków pogodowych. Zakres widma elektromagnetycznego wykorzystywany przez satelity radarowe umożliwia badanie szorstkości powierzchni (przy zdolności penetracji roślinności i gruntu w pewnych zakresach pasma radarowego), jej ekspozycji i właściwości dielektrycznych.

Systemy optyczne

Precyzyjna identyfikacja zbiorowisk roślinnych, kondycji roślinności i monitoring zmienności warunków siedliskowych to najistotniejsze elementy badań o profilu przyrodniczo-rolniczym, gdzie cechy obrazowań satelitarnych rejestrowanych przez systemy optyczne są najbardziej pomocne. O ich przydatności decydują parametry rozdzielczości przestrzennej, spektralnej, radiometrycznej i czasowej. Najistotniejsza z punktu widzenia rejestracji cech roślinności wydaje się być rozdzielczość spektralna, czyli ilość kanałów spektralnych rejestrujących określony zakres promieniowania elektromagnetycznego. Zwykle zmienność cech roślinności najlepiej reprezentują wartości i wzajemny stosunek poziomu promieniowania rejestrowanego przez kanały czerwony (R – *red*) i bliskiej podczerwieni (NIR – *near infrared*). Można przyjąć, że wzrost liczby kanałów rejestracji oznacza wzrost ilości informacji dostarczanej przez obrazowanie satelitarne. Dodatkowo cennych danych w postaci numerycznych modeli rzeźby terenu, przydatnych chociażby w modelowaniu erozji gleb, dostarcza fotogrametria. Produkcja tych danych opiera się na analizie stereopar, czyli par obrazów pozwalających na zbudowanie trójwymiarowego modelu powierzchni terenu.

Najpopularniejszym rozwiązaniem w zakresie obrazowań satelitarnych oferowanych komercyjnie są jednometrowe obrazowania w paśmie optycznym. Szeroki obszar ich zastosowań oraz wysoka wartość informacyjna na potrzeby delimitacji i identyfikacji obiektów dla opracowań w skalach od 1 : 5000 do 1 : 2000 zostały już dobrze poznane. Do satelitów dysponujących możliwościami obrazowania z rozdzielczością 1 m dołączył 28 lipca 2006 r. południowokoreański satelita KOMPSAT-2.

Przy dużym obciążeniu istniejących systemów wydłuża się czas oczekiwania na rejestrację obrazowań. Obciążenie najpopularniejszych systemów 1-metrowych w drugiej połowie 2008 roku nie pozwala zaplanować akwizycji w dającym się przewidzieć terminie. Obecność satelity KOMPSAT-2 na orbicie należy rozumieć przede wszystkim nie jako konkurencję, lecz uzupełnienie możliwości obrazowania systemów stosowanych obecnie, umożliwiające szybszy dostęp do aktualnych obrazowań. KOMPSAT-2 rejestruje obrazowania z rozdzielczością terenową 1 m w kanale panchromatycznym i 4 m w kanałach barwnych (B, G, R, NIR) z orbity 685 km (rys. 1). System jest w stanie pozyskiwać dziennie 7500 scen o wymiarach terenowych 15 x 15 km (1,7 mln. km). Charakterystyka obrazowań KOMPSAT-2 czyni je odpowiednim materiałem obrazowym na potrzeby wykrycia i identyfikacji relatywnie niewielkich obiektów (pojazdów, dróg i innych obiektów liniowych, mebli ulicznych, ogrodzeń, pojedynczych drzew i krzewów, zatorów lodowych itp.), delimitację niewielkich obszarów uszkodzeń upraw i drzewostanu, lokalizację nowo powstałych budynków i rozpoznanie typów zabudowy, a także optymalizację i planowanie sieci drogowej i kolejowej. Obrazowania KOMPSAT-2 są właściwe dla potrzeb precyzyjnego kartowania terenu (1 : 5000) i fotointerpretacji (1 : 2000), co w połączeniu z wysokim potencjałem obrazowania w czasie jednego przejścia powoduje, że KOMPSAT-2 odpowiada wymaganiom szczegółowych analiz obszarów, nawet o znacznej powierzchni.

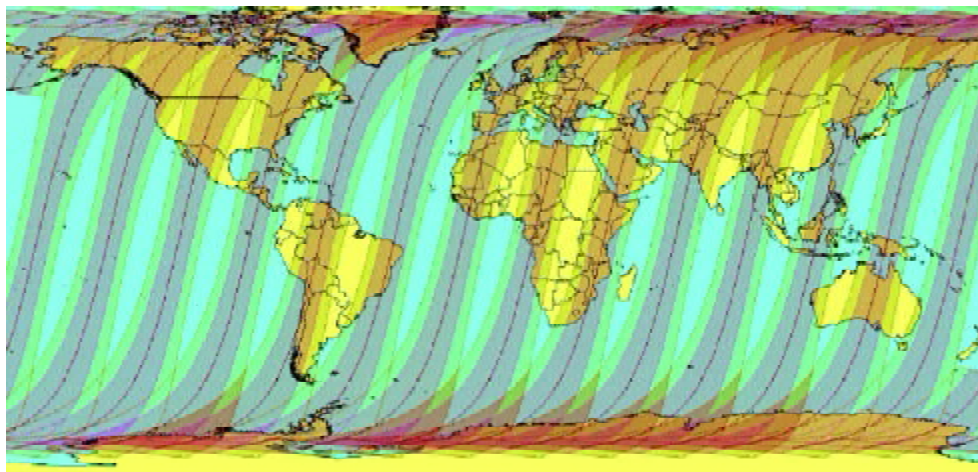


Rys. 1. Zobrazowanie z satelity KOMPSAT-2 (fragment Nagoja, Japonia)

Źródło: Spot Image.

Operacyjny tajwański satelita FORMOSAT-2, obrazujący od połowy 2006 roku z rozdzielczością 2 m, charakteryzuje się najwyższą (wśród wysokorozdzielczych satelitów optycznych) jednodniową rozdzielczością czasową. Realizowane jest to poprzez zastosowanie jedynie 14 orbit dziennych satelity oraz możliwości wychylenia korpusu poprzecznie i podłużnie wobec orbity o $\pm 45^\circ$ (rys. 2).

Pozwala to na: codzienny monitoring (ograniczony jedynie warunkami atmosferycznymi) przy tym samym kącie obrazowania, akwizycję z określonym interwałem lub w wyznaczonych okresach (monitoring rozwoju upraw) oraz szybkie wykonanie pokrycia wielkoobszarowego. Daje to również gwarancję wykorzystania każdego dnia o wymaganych do rejestracji warunkach atmosferycznych. Zobrazowania satelity FORMOSAT-2 spełniają wymagania opracowań w skali 1 : 10000. Obrazowanie z wysoką częstotliwością i regularnością znajduje zastosowanie w identyfikacji upraw i badaniu kondycji roślin, a ponadto dzięki potencjałowi codziennej akwizycji ułatwia pozyskanie zobrazowań przy sprzyjających warunkach atmosferycznych w ściśle określonym przedziale czasowym. Jest to szczególnie istotne przy pracach dotyczących prognozowania plonów. Dostępny w zobrazowaniach kanał niebieski pozwala na uzyskanie kompozycji w barwach naturalnych bez konieczności dodatkowego przetwarzania danych. Kanał ten, osobno lub razem z pozostałymi kanałami spektralnymi,



Rys. 2. Możliwości obrazowania satelity FORMOSAT-2 przy wychyleniu poprzecznym 30° i 45°
Źródło: Spot Image.

dostarcza także informacji istotnych dla kartowania płytkich wód dzięki możliwości penetrowania zbiorników wodnych nawet do 20 m. Informacja z kanału niebieskiego jest również istotna w analizach realizowanych na potrzeby rolnictwa i leśnictwa (rys. 3).

Rodzina francuskich satelitów SPOT od połowy lat osiemdziesiątych dostarcza wartościowych dla wielu dziedzin gospodarki, administracji i nauki zobrażeń satelitarnych o zróżnicowanych parametrach. Produkty powstające na bazie zobrażeń SPOT obejmują sceny i ortozobrazowania panchromatyczne i wielokanałowe w rozdzielczościach od 20 do 2,5 m (rys. 4). Parametry zobrażeń SPOT są efektem kompromisu pomiędzy wymaganiami dotyczącymi rozdzielczości terenowej a pokryciem przestrzennym (pas obrazowania 60 km w nadirze oraz możliwość wychylenia sensora poprzecznie do orbity $\pm 27^\circ$). Zobrażenia SPOT znajdują zastosowanie nie tylko w dziedzinie badań środowiskowych, ale także w wywiadzie wojskowym, katastrze, planowaniu przestrzennym. Najnowszy z serii francuskich satelitów SPOT-5 dysponuje możliwością wykonywania zobrażeń w pokryciu stereo w kanale panchromatycznym o rozdzielczości 10 m, co realizowane jest przez kolejne, poza głównym skanerem wielospektralnym HRG (High Resolution Geometric), urządzenie HRS (High Resolution Stereoscopic). Opracowany na podstawie tych danych numeryczny model rzeźby terenu może służyć potrzebom ortorektyfikacji obrazów HRG, co jest szczególnie istotne dla obszarów, dla których nie istnieją dane wysokościowe.

Możliwość rejestracji w kanale średniej podczzerwieni to cecha skanera LISS-III, indyjskiego satelity IRS-P6 Resourcesat. Dodatkowa informacja pozwala na dokładniejszą identyfikację pewnych cech roślinności. Skaner LISS-III rejestruje zobrażenia z rozdzielczością terenową 20 m.

Wyjątkowe wymagania wiążą się z opracowaniami o zasięgu regionalnym, krajowym lub nawet transgranicznym. Takie aplikacje wymagają kompletnego pokrycia



Rys. 3. Satelita FORMOSAT-2 rejestruje obrazy także w zakresie promieniowania niebieskiego (Kozloduy, Bułgaria)

Źródło: Spot Image.

znacznych obszarów spójnym materiałem obrazowym. Zasób EURO-MAPS dla Polski spełnia te wymagania przy wysokich parametrach i korzystnej cenie. EURO-MAPS to jednolita radiometrycznie mozaika zobrazowań indyjskiego satelity IRS-P6 Resourcesat w barwach rzeczywistych, opracowana dla obszaru całej Polski (rys. 5). Orto-mozaika powstała na podstawie zortorektyfikowanych z wysoką dokładnością geometryczną oraz zmozaikowanych i zbalansowanych radiometrycznie zobrazowań satelitarnych o rozdzielczości 5 m. Dzięki temu produkt jest jednolity geometrycznie i radiometrycznie dla całej powierzchni kraju. Wysoka rozdzielczość oraz wysoka dokładność przetworzenia w połączeniu z cechą homogeniczności dla całego obszaru pokrycia czyni z tego zasobu wartościowe źródło danych dla badań w zakresie ochrony środowiska, rolnictwa, leśnictwa, zagospodarowania przestrzennego czy kartografii. Rozdzielczość terenowa pozwala na zastosowanie EURO-MAPS nawet w opracowaniach o skali 1 : 20000. Dodatkowo dostępne jest archiwum pięciokanałowych ortoobrazów (G, R, NIR, SIWR i syntetyzowany B), które stanowiły podstawę opracowania ortomozaiki. Najwyższa możliwa aktualność zasobu utrzymywana jest dzięki systematycznemu włączaniu do mozaiki nowo pozyskanych ortoobrazów. Jest to kolejny tego typu produkt w Europie.



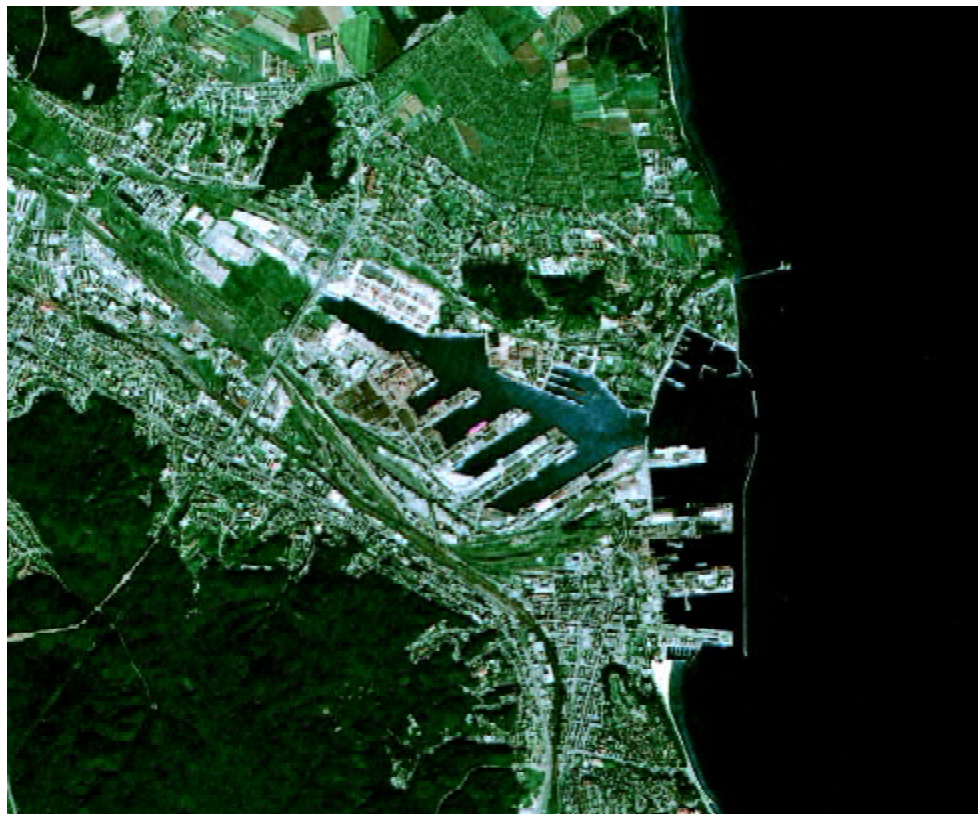
Rys. 4. Centralna część Warszawy z Wisłą i Stadionem X-lecia na zobrazowaniu satelity SPOT-5 o rozdzielczości 2,5 m; kanał niebieski został zsyntetyzowany dla potrzeb stworzenia kompozycji w barwach rzeczywistych

Źródło: Spot Image.

Systemy mikrofalowe

Charakterystyka aktywnych skanerów mikrofalowych umożliwia obrazowanie powierzchni ziemi niezależnie od oświetlenia słonecznego i warunków atmosferycznych. Możliwości takie są niezastąpione w przypadku zjawisk dynamicznych o charakterze klęsk żywiołowych, kiedy istotny jest czas otrzymania aktualnej informacji obrazowej. Rozwój mikrofalowych systemów satelitarnych wiąże się ze zwiększeniem rozdzielczości terenowej zobrazowań, umożliwieniem rejestracji pełnej informacji polaryzacyjnej, a także dużą elastycznością. Zaawansowane zastosowania obejmują radargrametrię (tworzenie modeli wysokościowych na podstawie stereopar), interferometrię (metoda oparta na analizie fazy fali powracającej do anteny, służąca precyzyjnemu badaniu zmian poziomu gruntu) oraz polarymetrię (analiza obrazów rejestrowanych przy różnej polaryzacji wiązki).

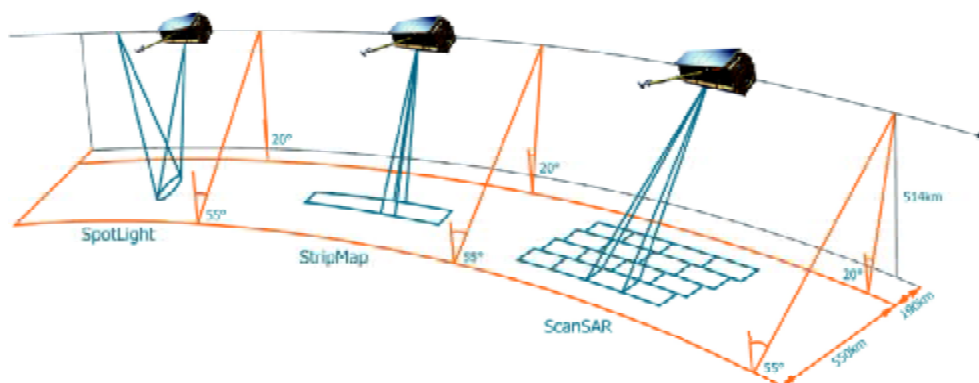
W dniu 26 czerwca 2007 r. został umieszczony na orbicie niemiecki satelita radarowy TerraSAR-X. Charakterystyka orbity i możliwość sterowania wiązką promieniowania pozwoliły na uzyskanie regularnego interwału akwizycji 2,5 dnia. Obrazy rejestrowane są w trzech podstawowych trybach, różniących się rozdzielczością (1-16 m) i powierzchnią sceny (50-15000 km²); (rys. 6).



Rys. 5. Port w Gdyni – fragment mozaiki EURO-MAPS opartej o zobrazowania satelity IRS-P6 (5 m)
Źródło: GEOSYSTEMS Polska.

Tryb SpotLight (1 m) to najbardziej zaawansowany produkt obrazowy pochodzący z satelitarne systemu mikrofalowego. W kierunku zasięgu (czyli poprzecznie do kierunku ruchu satelity), dzięki odpowiedniej częstotliwości sygnału (300 MHz), osiąga rozdzielczość 1 m. Metrowa rozdzielczość w kierunku równoległym do orbity osiągnięta jest dzięki sterowaniu wiązki, która przez możliwie najdłuższy czas skierowana jest na obrazowany fragment terenu. Tryb StripMap (3 m) obejmuje pas terenu opromieniowany ciągłą sekwencją impulsów, przy zachowaniu stałych kątów wiązki. Efektem jest ciągły pas obrazu o jednakowych parametrach (w kierunku poruszania się satelity) i rozdzielczości 3 m. Tryb ScanSAR (16 m) umożliwia pokrycie dowolnego obszaru globu o powierzchni do 100000 km² w czasie tygodniowej kampanii akwizycji.

Całkowity pas obrazowania o szerokości ok. 100 km jest osiągnięty poprzez quasi-symultaniczne skanowanie czterech przylegających pasów z różnym kątem wiązki. Maksymalna rozdzielczość obrazów pozyskiwanych przez system wynosi 1 m i jest najwyższa spośród dotychczas oferowanych przez satelity mikrofalowe. Ułatwia to spełnianie wymagań stawianych danym obrazowym w opracowaniach o bardzo róż-



Rys. 6. Operacyjne tryby obrazowania satelity mikrofalowego TerraSAR-X
 Źródło: GEOSYSTEMS Polska.

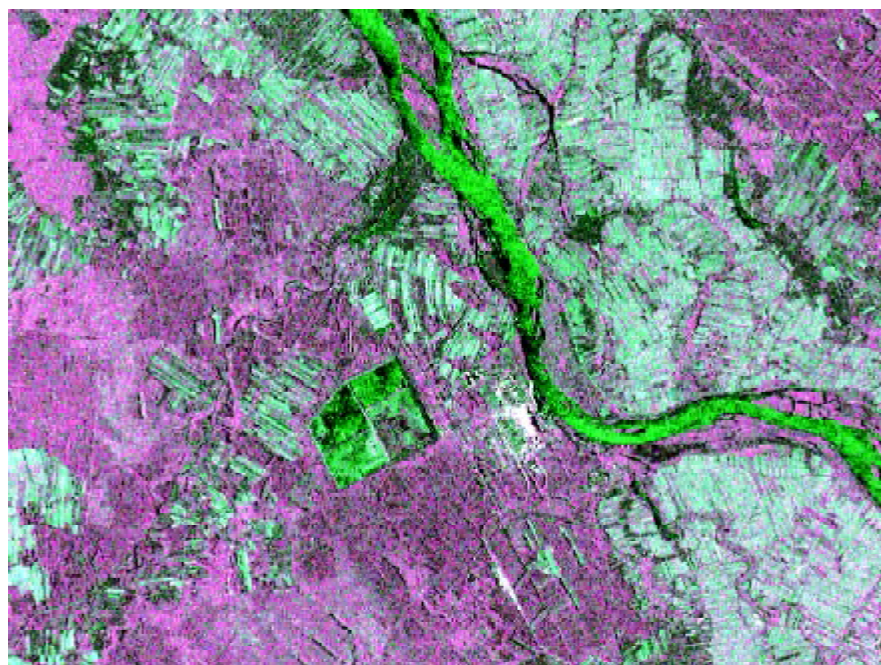
nych poziomach skalowych. Dla fal pasma X, zastosowanego w systemie, powierzchnie roślin, gruntu i innych obiektów są nieprzenikalne dzięki temu rejestrowany przez TerraSAR-X obraz jest łatwy do interpretacji wizualnej (elementy pokrycia terenu, infrastruktura, pojazdy); (rys. 7).

Dzięki charakterystyce systemu radarowego obrazowane są cechy obiektów niedostępne skanerom optycznym, takie jak: właściwości dielektryczne, szorstkość i ruch obiektów. Obraz może być rejestrowany w kombinacji kilku różnych polaryzacji wiązki jednocześnie. Powstaje więc obraz wielokanałowy, który może zostać przedstawiony jako kompozycja barwna (rys. 8). Cztery dostępne tryby polaryzacji (VV, VH, HV i HH) w pełni opisują właściwości polarymetryczne rejestrowanych obiektów. Większa zawartość informacyjna takich danych pozwala na pełniejszą i dokładniejszą interpretację obrazowań. Umożliwia to identyfikację i delimitację obiektów niewidocznych na obrazowaniach optycznych (np. niektóre zbiorowiska roślinne). Wysokorozdzielcze obrazowania mikrofalowe są wartościowym uzupełnieniem obrazowań optycznych.

W dniu 14 grudnia 2007 roku na orbitę wyniesiony został drugi z kanadyjskich satelitów mikrofalowych RADARSAT-2. Podobnie jak TerraSAR-X przenosi radar z syntetyzowaną aperturą (SAR). Obrazowania RADARSAT od ponad 10 lat wykorzystywane są w geologii, oceanografii, klasyfikacji szaty roślinnej, monitoringu pokrywy lodowej i zanieczyszczeń morskich. Od początku maja br. dostępne są komercyjnie produkty RADARSAT-2. Obejmują one produkty obrazowe o rozdzielczości od 3 do 100 m rejestrowane w trybach pojedynczej, podwójnej i poczwórnej polaryzacji. Szerokość pasa obrazowania wynosi od 25 do 170 km (rys. 9). Cechą, która odróżnia satelitę RADARSAT-2 od TerraSAR-X jest stała możliwość obrazowania w obu kierunkach zasięgu anteny; w przypadku TerraSAR-X obrazowanie w lewo od anteny udostępniane jest tylko w szczególnych sytuacjach. Pozwala to na skrócenie interwału akwizycji do 24 godzin powyżej 70° szerokości geograficznej.



Rys. 7. Południowo-zachodnia część Wrocławia. Obraz w rozdzielczości 1,25 m w polaryzacji HH
Źródło: GEOSYSTEMS Polska.



Rys. 8. Otoczenie Elektrociepłowni „Kozienice”. Obraz w rozdzielczości 4,75 m pozyskany
w dwóch polaryzacjach VV i VH, zaprezentowany w kompozycji barwnej RGB (VV,VH,VV+VH)
Źródło: GEOSYSTEMS Polska.



Rys. 9. Zobrazowanie z satelity RADARSAT-2 wykonane w poziomej polaryzacji i rozdzielczości 10 m; San Francisco, USA

Źródło: MDA.

Podsumowanie

Obecnie szeroko dostrzegana jest potrzeba popularyzacji w Polsce wiedzy o dostępności i możliwościach wykorzystania systemów obserwacji ziemi w przedsiębiorstwach z dziedziny rolnictwa. Wspomaganie decyzji w zakresie zabiegów agrarnych czy szacowania plonów na podstawie informacji pozyskanych zdalnie z pułapu satelitarnego jest powszechnie stosowane na całym świecie. Upowszechnienie technik teledetekcji i systemów informacji przestrzennej jako narzędzia zarządzania rolniczą przestrzenią produkcyjną na poziomie lokalnym, regionalnym i krajowym jest warunkiem koniecznym do spełnienia wymagań konkurencyjności na rynkach międzynarodowych oraz zapewnienia odpowiedniego poziomu jakościowego i ilościowego produkcji rolniczej w Polsce.

Literatura

1. Bouillon A., Bernard M., Giger P., Orsoni A., Rudowska V., Baudoin A.: SPOT-5 HRS geometric performances: Using block adjustment as a key DEM generation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2006, **60**:134-146.
2. McNairn H., Shang J., Champagne C., Huffman E., Smith A., Fiset T.: A Multi-sensor approach to inventorying agricultural land use. 31st International Symposium on Remote Sensing of the Environment, Saint Petersburg, Russia, June 20-24, 2005.
3. Chen L. C., Teo T. A., Liu C. L.: The geometrical comparisons of RSM and RFM for FORMOSAT-2 satellite image. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2006, **60**: 573-579.
4. Panigrahy S., Manjunatha K. R., Chakraborty M., Kundub N., Parihara J. S.: Evaluation of RADARSAT standard beam data for identification of potato and rice crops in India. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, **54**: 254-262.
5. Ioannidis C., Vassilaki D.: Combined use of spaceborne optical and SAR data – incompatible data sources or a useful procedure? Integrating Generations FIG Working Week 2008, Stockholm, 2008.

Adres do korespondencji:

mgr Przemysław Turowski
GEOSYSTEMS Polska Sp. z o.o.
ul. Smolna 38 lok.5
00-375 Warszawa
tel.: (+48) 502-228-898
przemyslaw.turowski@geosystems.com.pl
przemyslaw.turowski@gmail.com

