

Potencjał informacyjny nowych misji satelitarnych w zakresie badań środowiska

*Information potential of new remote sensing satellite missions
in environmental research*

Dariusz DUKACZEWSKI, Elżbieta BIELECKA

Słowa kluczowe: Satelity Obserwacji Ziemi, Nowe misje teledetekcyjne, Planowane misje teledetekcyjne

Key words: Earth Observation Satellites, New remote sensing missions, Planned remote sensing

In December of 2009 the total number of active civil remote sensing satellites was 130. One of the largest group were multitask land observation remote sensing satellites (49 missions), providing data employed in majority of Earth Sciences and applied in spatial databases. Currently many new remote sensing missions are in preparation. The 103 of them will start in 2010 – 2015 and 24 in 2016 – 2025 period. The aim of this research was to analyse the possibilities of employment of the new remote sensing data to produce spatial data, and

to investigate the suitability of usage of this data. To achieve these goals, it was necessary to classify the types of remote sensing data. The next step was the analysis of the possibility of production thematic information for supplying spatial databases. The investigations allowed to identify the new trends concerning the design of new remote sensing missions and enabled to estimate the possibilities of employment of remote sensing data to produce spatial data, as well as to estimate the opportunities to use them for supplying spatial databases.

Wstęp

31 grudnia 2009 roku funkcjonowało 130 cywilnych satelitów teledetekcyjnych Ziemi, spośród których 49 stanowiły wielozadaniowe satelity obserwacji terenów lądowych. Satelity te dostarczają regularnie ogólnie dostępne, standardowe i powtarzalne dane o bogatym zakresie tematycznym, wykorzystywane do pozyskiwania informacji zasilającej bazy danych przestrzennych. Ponadto działały 63 satelity meteorologiczne, 9 – oceanograficznych, 5 – geofizycznych, 3 – geodezyjne i 1 glaciologiczny. Obecnie trwają prace mające na celu umieszczenie na orbicie do 2015 r. kolejnych 103 satelitów, spośród których 51 mają stanowić wielofunkcyjne satelity obserwacji terenów lądowych. Część spośród nich będzie pozwalała na rejestrację danych w nowych zakresach spektralnych, niejednokrotnie o bardzo wysokiej rozdzielczości. Dane i produkty pochodzące z no-

wych misji satelitarnych umożliwią pozyskanie różnorodnych danych tematycznych, przy czym należy zaznaczyć, że możliwości ich wykorzystania nie są pełni rozpoznane.

Celem artykułu jest analiza możliwości wykorzystania danych i produktów z nowych, prowadzonych od roku 2005, teledetekcyjnych misji satelitarnych obserwacji terenów lądowych oraz misji planowanych w latach 2010 – 2015 do zasilania baz danych przestrzennych. Analiza parametrów danych satelitarnych uwzględniająca m. in.: zakresy spektralne, częstotliwości, polaryzacje, rozdzielczość przestrzenną, sposób obrazowania, powtarzalność rejestracji pozwoliła na zaproponowanie ich typologii pod kątem wykorzystania w różnych zastosowaniach. W obrębie wydzielonych typów zbadano możliwości generowania informacji przestrzennej i jej przydatności do zasilania baz danych przestrzennych.

Typologia współczesnych satelitarnych misji teledetekcyjnych

Komitet do spraw Satelitów Obserwacji Ziemi (CEOS) wyróżnia 27 typów misji teledetekcyjnych (Earth Observation..., 2008). W wielu przypadkach to samo urządzenie satelitarne może być jednak wykorzystywane do realizacji więcej niż jednego typu misji. Kierując się kryterium możliwości zastosowania danych rejestrowanych przez urządzenia satelitarne do prowadzenia różnych typów badań i zasilania ich wynikami baz danych można wyróżnić 7 grup misji (tabela 1).

Analizując możliwości wykorzystania danych rejestrowanych przez satelity w obrębie poszczególnych grup misji stwierdzono, iż znaczna część spośród nich może być realizowana przy wykorzystaniu danych z wielofunkcyjnych satelitów obserwacji terenów lądowych. Udział liczby misji tych satelitów w przypadku 1 i 2 grupy misji wynosi 22 %, 3 – 10 %, 5 – 50 %, 6 – 30 % i 7 – 48 %, co świadczy o znacznym stopniu ich uniwersalności.

Stosując kryterium typu rejestracji i rozdzielczości wśród wielofunkcyjnych satelitów obserwacji terenów lądowych można wyróżnić 4 grupy: 25 satelitów o urządzeniach pasywnych średniej i dużej rozdzielczości (SPOT 4, 5; IRS 1C, 1D, P5, P6, Formosat-2; CBERS 2, 2B; AlSat-1; Bilsat-1; DEIMOS-1; Nigeriasat-1; UK-DMCSat-1; UK-DMCSat-2; Beijing-1; TopSat; RapidEye 1, 2, 3, 4, 5; THEOS, EO-1, SAC-C), 10 satelitów pasywnych o bardzo dużej rozdzielczości (Ikonos-2; QuickBird-2; GeoEye-1; Kompsat-2; IRS; IRS-Cartosat-2; WorldView-1; WorldView- EROS-A, B), 3 satelity hybrydowe (Terra-ASTER, ALOS, Envisat) i 9 satelitów o urządzeniach aktywnych (ERS-2; Radarsat-1, 2; COSMO-SkyMed-1, 2, 3; TerraSAR-X, RISAT-2, SAOCOM 1A)

Nowe misje teledetekcyjne wielofunkcyjnych satelitów obserwacji terenów lądowych

W okresie od 1 stycznia 2005 do 31 grudnia 2009 r. rozpoczęło pracę 20 cywilnych wielofunkcyjnych satelitów obserwacji terenów lądowych, w tym: 7 satelitów pasywnych o średniej i dużej rozdzielczości, 6 satelitów pasywnych o bardzo dużej rozdzielczości, 1 satelita hybrydowy oraz 6 satelitów o urządzeniach aktywnych.

Nowe satelity o urządzeniach pasywnych średniej i dużej rozdzielczości

W grupie tej przeważają mikrosatelity (tabela 2) o szerokim pasie obrazowania i krótkim czasie rewizyty (od dwukrotnego pokrycia terenu Europy w ciągu tygodnia przez satelity DEIMOS-1, UK-DMCSat-2 do codziennego okrycia Ziemi w przypadku konstelacji RapidEye).

Dane rejestrowane przez te satelity są udostępniane na zasadach niekomercyjnych (wyjątek stanowią dane z satelity RapidEye). Dane przestrzenne uzyskane w wyniku ich przetworzeń są wykorzystywane głównie do wspomagania planowania przestrzennego i zasilania baz danych systemów planowania kryzysowego. Mogą stanowić również materiał źródłowy do tworzenia warstw informacyjnych baz danych tematycznych (m. in. leśnych, użytkowania ziemi) oraz aktualizacji informacji zawartych w bazach danych topograficznych.

Nowe satelity o urządzeniach pasywnych bardzo dużej rozdzielczości

Satelity tej grupy (tabela 3) charakteryzują się stosunkowo wąskim pasem obrazowania. Możliwość rejestracji danych przy wykorzystaniu zmiennego kąta nachylenia umożliwia (w miarę zaistniałych potrzeb) znaczne skrócenie okresu rewizyty. Dane i produkty satelitarne pochodzące z tych satelitów są udostępniane na zasadach komercyjnych. Są one wykorzystywane głównie jako materiał źródłowy do tworzenia i aktualizacji warstw informacyjnych baz danych topograficznych oraz (rzadziej, głównie w przypadku danych z satelitów WorldView-2, GeoEye-1 i Kompsat-2) baz danych tematycznych (między innymi użytkowania ziemi, leśnych, łąkarskich, rolnych, planowania przestrzennego, planowania kryzysowego, systemów bezpieczeństwa narodowego).

Szczególnie innowacyjnym satelitą tej grupy jest WorldView-2, umieszczony na orbicie 10 października 2009 r. Poza rejestracją danych panchromatycznych o rozdzielczości 0.46 m, dostarcza on dane w 8 zakresach o rozdzielczości 1.84 m (2 m po resamplingu), w tym m. in. w paśmie niebieskim do obserwacji wód przybrzeżnych („coastal blue”), zakresie żółtym, krawędzi czerwonego widma („red edge”) oraz bliskiej podczerwieni/SWIR (Bersan, 2008) (tabela 5). Pasma niebieskie do obserwacji wód przybrzeżnych umożliwia również sprawne rozróżnienie roślinności oraz łatwiejsze przeprowadzanie korekcji atmosferycznych. Kanały żółty oraz krawędzi czerwonego widma dostarczają dodatkowe charakterystyki ułatwiające detekcję stanu zdrowotnego i sanitarnego roślinności (Oddone, 2008), zaś zakres bliskiej podczerwieni/SWIR ułatwia prowadzenie szczegółowych analiz wilgotności i produkcji biomasy. Duża rozdzielczość przestrzenna danych w połączeniu z bogatym zakresem spektralnym sprawia, iż mogą być one cennym materiałem źródłowym do tworzenia i aktualizacji danych przestrzennych, w tym: topograficznych (o stopniu szczegółowości odpowiadającym mapom w skali 1: 10 000), hydrograficznych, użytkowania ziemi, rolniczych (np. LPIS), o infrastrukturze komunikacyjnej i technicznej, jak również danych wykorzystywanych w planowaniu przestrzennym, zarządzaniu kryzysowym oraz monitoringu stanu zdrowotnego lasów, terenów podmokłych i linii brzegowej. Możliwa jest jednoznaczna detekcja niemal wszystkich

Tabela 1. Możliwości wykorzystania danych z misji satelitarnych do prowadzenia badań i zasilania baz danych.
 Table 1. Possible applications of Earth satellites data to different groups of research and databases supply

<p style="text-align: center;">NAZWA GRUPY / nazwa misji <i>Name of the group / Name of the mission</i></p>	<p style="text-align: center;">Liczba misji <i>Number of missions</i></p>
1. BADAŃ I ZASILANIA BAZ DANYCH METEOROLOGICZNYCH / RESEARCH ON METEOROLOGY AND METEOROLOGICAL DATABASES SUPPLY	
<ul style="list-style-type: none"> • aerozoli / <i>aerosols</i>: ERS, POES, OCEANSAT, Terra, GOES, SAC, Odin, Proba, Envisat, Aqua, FY-A, ICESat, SCISAT-1, Aura, PARASOL, CALIPSO, EPS, Meteor, SumbandilaSat, GLORY; 	20
<ul style="list-style-type: none"> • temperatur atmosfery / <i>atmospheric temperature</i>: ERS, DMSP, POES, Terra, GOES, CHAMP, SAC, Odin, Proba, TIMED, Envisat, Aqua, Meteosat, SCISAT-1, Aura, FY-2, CloudSat, CALIPSO, EPS, FY-3, OCEANSAT, Meteor, GOMS, SumbandilaSat, Megha-Tropiques; 	25
<ul style="list-style-type: none"> • pary wodnej / <i>water vapour</i>: Meteosat; ERS, DMSP, TRMM, GFO, POES, Terra, GOES, CHAMP, SAC, Odin, Jason, TIMED, Envisat, Aqua, Aura, PARASOL, CALIPSO, EPS, FY-3, Meteor, GOMS, COMS, Megha-Tropiques, SARAL; 	25
<ul style="list-style-type: none"> • wiatrów / <i>winds</i>: Meteosat, POES, OCEANSAT, Terra, GOES, Kalpana, SCISAT-1, MTSAT, CALIPSO, GOMS, COMS; 	11
<ul style="list-style-type: none"> • typu chmur, liczby i temperatury górnych partii chmur / <i>cloud type, amount and cloud top temperature</i>: Landsat, Meteosat; ERS, DMSP, TRMM, POES, INSAT, Terra, GOES, Envisat, Aqua, FY-1, Kalpana, ICESat, Aura, FY-2, MTSAT, CloudSat, CALIPSO, EPS, FY-3, RapidEye, HJ, Meteor, GOMS, GOSAT, COMS, Megha-Tropiques; 	28
<ul style="list-style-type: none"> • właściwości cząsteczek chmur i profilu chmur / <i>cloud particle properties and profile</i>: DMSP, TRMM, POES, Terra, Envisat, Aqua, ICESat, SCISAT-1, FY-2, CloudSat, CALIPSO, EPS, FY-3, Meteor, Megha-Tropiques, GLORY; 	16
<ul style="list-style-type: none"> • wód i opadów / <i>liquid water and precipitation rate</i>: Meteosat; ERS, DMSP, TRMM, POES, INSAT, OCEANSAT, GOES, Envisat, Aqua, Kalpana, MTSAT, CloudSat, FY-3, Meteor, GOMS, COMS, Megha-Tropiques, SAC, NPP; 	20
<ul style="list-style-type: none"> • ozonu / <i>ozone</i>: ERS, POES, Terra, GOES, Odin, TIMED, Envisat, Aqua, CALIPSO, EPS, FY-3, GOMS; 	12
<ul style="list-style-type: none"> • gazów śladowych (poza ozonem) / <i>trace gases (excluding ozone)</i>: ERS, Terra, Odin, TIUMED, Envisat, Aqua, SCISAT-1, Aura, CALIPSO, EPS, OCO, GOSAT; 	12
<ul style="list-style-type: none"> • powierzchniowej temperatury lądu / <i>land surface temperature</i>: Landsat, SPOT, ERS, POES, INSAT, Terra, GOES, NMP, Envisat, Aqua, FY-1, Meteosat, Kalpana, CBERS, Aura, FY-2, EPS, FY-3, Meteor, GOMS; 	20
<ul style="list-style-type: none"> • albedo i promieniowania odbitego / <i>albedo and reflectance</i>: Landsat, SPOT, ERS, Radarsat-2, IRS, POES, INSAT, Terra, NMP, SAC, PROBA, Envisat, Aqua, FY-1, UK-DMC, Nigeriasat-1, Resourcesat, CBERS, FY-2, PARASOL, CARTOSAT, MONITOR, TopSat, BJ, Alos, Resurs, KOMPSAT, EPS, Meteor, Sicz, COMS, SumbandilaSat, HY-1, COSMO-SkyMed, TerraSAR-X, IMS-1, FY-3, THEOS, RapidEye, HJ, RISAT; 	41
2. BADAŃ I ZASILANIA BAZ DANYCH RADIOLOGICZNYCH / RESEARCH ON RADIATION AND RADIATION DATA BASES SUPPLY	
<ul style="list-style-type: none"> • promieniowania / <i>radiation</i>: ERS, TRMM, SPOT, POES; INSAT, Landsat, Terra, ACRIMSAT, GOES, NMP, PROBA, Envisat, Aqua, FY-1, Meteosat, Kalpana, SORCE, UK-DMC, FY-2, MTSAT, TopSat, CloudSat, CALIPSO, EPS, FY-3, HJ, Meteor, GOMS, PICARD, Megha-Tropiques, GLORY; 	31
3. BADAŃ I ZASILANIA BAZ DANYCH GEOFIZYCZNYCH / RESEARCH ON GEOPHYSICS AND GEOPHYSICAL DATABASES SUPPLY:	
<ul style="list-style-type: none"> • gravimetrii, pomiarów magnetycznych i geodynamicznych / <i>gravimetry, magnetic and geodynamic measurements</i>: Diadème 1, 2, Starlette, Lageos, Stella, ERS, DMSP, Ørsed, CHAMP, SAC, Jason, Envisat, GRACE A, B, DEMETER, Resurs, GOCE, Meteor, GOMS, SARAL; 	19
4. BADAŃ I KARTOWANIA TERENÓW LĄDOWYCH / RESEARCH ON LAND AREAS AND LAND SURVEY:	
<ul style="list-style-type: none"> • wielozadaniowego obrazowania terenów lądowych / <i>multi - purpose land imagery</i>: Landsat, SPOT, ERS, Radarsat-2, IRS, POES, INSAT, Terra, GOES, NMP, SAC, PROBA, Envisat, Aqua, FY-1, UK-DMC, Nigeriasat-1, Resourcesat, CBERS, FY-2, PARASOL, CARTOSAT, MONITOR, TopSat, BJ, Alos, Resurs, KOMPSAT, EPS, HY-1, COSMO-SkyMed, Terra SAR-X, IMS-1, FY-3, THEOS, RapidEye, HY, Meteor, GOMS, Sicz, COMS, RISAT, TanDEM-X, QuickBird, Ikonos, GeoEye, WorldView; 	47
<ul style="list-style-type: none"> • topografii, krajobrazu / <i>landscape, topography</i>: Landsat, SPOT, ERS, Radarsat-2, IRS, GFO, Terra, TES, Jason, Envisat, ICESat, Resourcesat, MONITOR, Alos, Resurs, KOMPSAT, CARTOSAT, COSMO-SkyMed, TerraSAR-X, THEOS, HJ, TanDEM-X, Resourcesat; 	23

• roślinności / <i>vegetation</i> : Landsat, SPOT, ERS, Radarsat-2, IRS , POES, INSAT, Terra, NMP, SAC, PROBA, Envisat, Aqua, FY-1, Meteosat, UK-DMC, Resourcesat, CBERS, FY-2, PARASOL, TopSat, Alos, KOMPSAT, EPS, COSMO-SkyMed, Terra SAR-X, IMS-1, FY-3, THEOS, RapidEye, HJ, Meteor, GOMS, Sicz, RISAT, TanDEM-X ;	36
5. BADAŃ I ZASILANIA BAZ DANYCH O GLEBACH / RESEARCH ON SOILS AND SOILS DATABASES SUPPLY	
• wilgotności gleb / <i>soil moisture</i> : ERS, Radarsat-2, DMSP, POES, Envisat, Alos, EPS, FY-3, RISAT, MIRAS ;	10
6. BADAŃ I ZASILANIA BAZ DANYCH OCEANOGRAFICZNYCH / RESEARCH ON OCEANOGRAPHY AND OCEANOGRAPHIC DATABASES SUPPLY	
• wielozadaniowego obrazowania terenów morskich i oceanicznych / <i>multi – purpose sea & ocean imagery</i> : Landsat, SPOT, ERS, Radarsat-2, GFO, POES, OCEANSAT, Terra, GOES, SAC, Envisat, Aqua, FY-1, FY-2, Alos, EPS, COSMO-SkyMed, Terra SAR-X, HJ, Meteor, Sicz, COMS, RISAT, TanDEM-X, SARAL ;	25
• topografii oceanów i prądów / <i>ocean topography and currents</i> : ERS, Radarsat-2, GFO, OCEANSAT, Jason, Envisat, GRACE A, B, COSMO-SkyMed, Terra SAR-X, HJ, Megha-Tropiques, RISAT, TanDEM - X ;	14
• koloru i biologii oceanów / <i>ocean colour and biology</i> : OCEANSAT, Terra, SAC, PROBA, Envisat, Aqua, HY-1, FY-3, HJ, COMS ;	10
• zasolenia oceanów / <i>ocean salinity</i> : SMOS ;	1
• wiatrów przypowierzchniowych oceanów / <i>ocean surface winds</i> : ERS, Radarsat-2, DMSP, TRMM, GFO, POES, OCEANSAT, QuikSCAT, Jason, Envisat, Aqua, CORIOLIS, Alos, EPS, FY-3, Meteor, SARAL ;	17
• temperatury powierzchni oceanów / <i>ocean surface temperature</i> : Meteosat, ERS, POES, OCEANSAT, Terra, GOES, Envisat, Aqua, FY-2, EPS, HY-1, FY-3, GOMS, COMS ;	14
• wysokości i spektrum fal / <i>wave surface temperature</i> : ERS, Radarsat-2, GFO, Jason, Envisat, SARAL ;	6
7. BADAŃ I ZASILANIA BAZ DANYCH GLACJOLOGICZNYCH / RESEARCH ON GLACIOLOGY AND GLACIOLOGY DATABASES SUPPLY	
• zasięgu i grubości pokrywy śnieżnej / <i>snow cover, edge and depth</i> : Landsat, ERS, Radarsat-2, DMSP, IRS, POES, Terra, NMP, Envisat, Aqua, FY-1, Resourcesat, Alos, EPS, COSMO-SkyMed, Terra SAR-X, FY-3, RapidEye, HJ, Meteor, Sicz, RISAT, Tan DEM-X ;	23
• kartowania terenów lodowych / <i>ice sheet topography</i> : ERS, Radarsat-2, IRS, Terra, Envisat, SPOT, ICESat, Alos, RISAT ;	9
• zasięgu i grubości pokrywy lodowej mórz / <i>sea ice cover, edge and thickness</i> : Landsat, SPOT, ERS, Radarsat-2, POES, OCEANSAT, Terra, NMP, Envisat, Aqua, FY-1, ICESat, Alos, EPS, HY-1, COSMO SkyMed, Terra SAR-X, FY-3, RapidEye, HJ, Meteor, Sicz, RISAT, SumbandilaSat, Tan DEM-X .	25

Tabela 2. Nowe wielofunkcyjne satelity obserwacji terenów lądowych o urządzeniach pasywnych średniej i dużej rozdzielczości

Table 2. New multi – purpose land imagery passive, medium- and high resolution satellites

		CBERS – 2B	Beijing-1	TopSat	DEIMOS-1	UK-DMCSat-2	IRS 2C	RapidEye 1-5
Zakres spektralny Spectral scope	μm	rozdzielczość (metry) <i>resolution (meters)</i>						
Panchromatyczny <i>Panchromatic</i>	0.50 ÷ 1.10	80						
	0.50 ÷ 0.70			2.8				
	0.51 ÷ 0.75	20	4					
Niebieski <i>Blue</i>	0.40 ÷ 0.50			5.6				
	0.44 ÷ 0.50							5.6
	0.45 ÷ 0.52	20	32					
Zielony <i>Green</i>	0.50 ÷ 0.60			5.6				
	0.52 ÷ 0.59	20					5.8, 23.5, 55	5.6
	0.52 ÷ 0.60		32					
Czerwony <i>Red</i>	0.52 ÷ 0.62				22	22		
	0.60 ÷ 0.70			5.6				
	0.62 ÷ 0.68						5.8, 23.5, 55	
Krawędź czerwonego widma <i>Red edge</i>	0.63 ÷ 0.69	20, 260	32		22	22		5.6
	0.69 ÷ 0.73							5.6

Bliska podczerwień <i>Near Infrared</i>	0.75 ÷ 1.30							
	0.76 ÷ 0.88							5.6
	0.76 ÷ 0.90		32		22	22	5.8, 23.5, 55	
	0.77 ÷ 0.86						5.8, 23.5, 55	
	0.77 ÷ 0.89	20, 260						
	1.55 ÷ 1.75	80						
SWIR	1.30 ÷ 3.00						23.5	
	2.08 ÷ 2.35	80						
TIR	10.40 ÷ 12.50	80						

Tabela. 3. Nowe wielofunkcyjne satelity obserwacji terenów lądowych o urządzeniach pasywnych bardzo dużej rozdzielczości

Table 3. New multi – purpose land imagery passive, very high resolution satellites

		WorldView-1	WorldView-2	GeoEye-1	Kompsat-2	EROS B	IRS Cartosat (P5)
Zakres spektralny <i>Spectral scope</i>	μm	rozdzielczość (metry) <i>resolution (meters)</i>					
Panchromatyczny <i>Panchromatic</i>	0.45 ÷ 0.80		0.46	0.41			
	0.45 ÷ 0.90	0.46					
	0.50 ÷ 0.75						2.50
	0.50 ÷ 0.90				1	0.7	
Pasmo niebieskie do obserwacji wód przybrzeżnych <i>Coastal blue</i>	0.400 ÷ 0.450		1.84				
Niebieski <i>Blue</i>	0.45 ÷ 0.51		1.84	1.65			
	0.45 ÷ 0.52				4		
Zielony <i>Green</i>	0.51 ÷ 0.58		1.84	1.65			
	0.52 ÷ 0.60				4		
Żółty <i>Yellow</i>	0.585 ÷ 0.625		1.84				
Czerwony <i>Red</i>	0.63 ÷ 0.69		1.84		4		
	0.655 ÷ 0.69			1.65			
Krawędź czerwonego widma <i>Red Edge</i>	0.705 ÷ 0.745		1.84				
Bliska podczerwień <i>Near Infrared</i>	0.76 ÷ 0.89		1.84				
	0.76 ÷ 0.90				4		
	0.78 ÷ 0.92			1.65			
	0.86 ÷ 1.040		1.84				

obiektów powierzchniowych, uwzględnianych w bazach danych topograficznych o stopniu szczegółowości odpowiadającym mapom w skali 1: 10 000. Poważne ograniczenie stanowi degradacja rozmiaru pikseli (niezgodna z powszechnie ratyfikowanym Traktatem o Przestrzeni Kosmicznej z 27 stycznia 1967 r.).

Nowe satelity hybrydowe

W omawianym okresie pracę na orbicie rozpoczął tylko 1 cywilny satelita tego typu – ALOS. Rejestruje on dane o rozdzielczości 2.5 m (z możliwością tworzenia

stereopar) w zakresie panchromatycznym (0.52÷0.77 μm) oraz o rozdzielczości 10 m w zakresie widma niebieskiego (0.42÷0.55 μm), zielonego (0.52÷0.60 μm), czerwonego (0.61÷0.69 μm), bliskiej podczerwieni (0.76÷0.89 μm), jak również dane paśmie L (i polaryzacji HH, VV, HV). Dane optyczne są wykorzystywane głównie do wspomagania kartowania topograficznego i tematycznego, zaś dane z urządzenia PALSAR są wykorzystywane m. in. do badań wilgotności gleb, litologii i geologii. Umożliwiają one również prowadzenie monitoringu szaty roślinnej. ALOS zapewnia kontynuację misji satelity JERS-1.

Nowe satelity o urządzeniach aktywnych

Trzy spośród 6 satelitów o urządzeniach aktywnych umieszczonych na orbicie w omawianym okresie funkcjonują w ramach konstelacji, zaś pozostałe 3 będą działać w ramach przyszłych sieci satelitów. Konstelacja satelitów COSMO-SkyMed (CONstellation of small Satellites for the Mediterranean basin Observation) składa się obecnie z 3 (spośród planowanych 4) satelitów utrzymywanych przez włoskie Ministerstwo Nauki, Ministerstwo Obrony i Włoską Agencję Kosmiczną (ASI). Są one wyposażone w radary SAR, działające w paśmie X, o rozdzielczości dochodzącej do 1 m (COSMO-SkyMed System Description..., 2007) i czasie rewizyty rządu 3 godzin (Coletta, 2008). Dane te są wykorzystywane do: kontroli ruchu na morzach, wczesnego ostrzegania o zagrożeniach naturalnych, wspomaganie systemów zarządzania kryzysowego, monitoringu leśnego i kontroli upraw, wykrywania samowoli budowlanych, wspomaganie zasilania baz danych topograficznych oraz systemów bezpieczeństwa narodowego. Satelita RISAT-2 (Radar Imaging SATellite) Indijskiej Organizacji Badań Kosmicznych (ISRO), skonstruowany we współpracy indyjsko – izraelskiej, jest wyposażony w SAR pracujący w paśmie C (5.350 GHz). Dane te są wykorzystywane jako materiał do warstw informacyjnych baz danych: systemów bezpieczeństwa narodowego, wspomaganie systemów zarządzania kryzysowego, rolnictwa, leśnictwa, glebowych oraz geologicznych. Satelita RADARSAT-2 Kanadyjskiej Agencji Kosmicznej (CSA) jest wyposażony w SAR działający w paśmie C (5.405 GHz). Zapewnia on kontynuację misji satelity RADARSAT-1. Rejestrowane przez niego dane są wykorzystywane do generowania warstw informacyjnych baz danych: systemów bezpieczeństwa narodowego, wspomaganie systemów zarządzania kryzysowego, glaciologicznych, morskich, rolnictwa, leśnictwa, glebowych i geologicznych. Satelita TerraSAR-X powstały w wyniku współpracy Niemieckiego Centrum Kosmicznego (DLR) i EADS Astrium jest wyposażony w SAR pracujący w paśmie X (9.65 GHz). Dane są wykorzystywane do zasilania baz danych: kontroli ruchu na morzach, wczesnego ostrzegania o zagrożeniach naturalnych, wspomaganie systemów zarządzania kryzysowego, monitoringu leśnego i kontroli upraw oraz aktualizacji baz danych topograficznych i NMT.

Planowane misje teledetekcyjne wielofunkcyjnych satelitów obserwacji terenów lądowych

Do roku 2015 planowane jest rozpoczęcie pracy przez 51 wielofunkcyjnych satelitów obserwacji terenów lądowych, 38 satelity meteorologiczne, 7 oceanograficznych, 3 geofizyczne, 2 glaciologiczne oraz 1 satelitę geologicznego. Wśród 51 planowanych wielofunkcyjnych satelitów obserwacji terenów lądowych wyróżniono 5 grup różniących się sposobem obrazowania oraz rozdzielczością przestrzenną:

1. satelity wyposażone w pasywne systemy obrazowania małej rozdzielczości (AMAZÔNIA-1);
2. satelity wyposażone w pasywne systemy obrazowania średniej i dużej rozdzielczości (CBERS-3, 4; NX; Nigeriasat-2, Astroterra; LDCM; Sentinel 2A, 2B, AlSat 2A i 2B, Resourcesat-3, Kanopus-V N1, Kanopus-V N2, PRISMA-1, RASAT, VENUS);
3. satelity wyposażone w pasywne systemy obrazowania bardzo dużej rozdzielczości (GeoEye-2; Cartosat-3, Pléiades 1, 2; Kompsat-3; EROS-C, ALOS -3, SSOT);
4. satelity hybrydowe (Sentinel 3A, 3B, Seosat, SMAP);
5. satelity wyposażone w urządzenia aktywne (COSMO-SkyMed-4; RISAT-1; RISAT-L, SABRINA; Sentinel 1A, 1B; SAOCOM 1B, 2A, 2B; TerraSAR-X2, TanDEM-X; MAPSAR, Kompsat-5, 7; ALOS -2, Radarsat Constellation 1, 2, 3; CSG – COSMO-Sky-Med 2 generacji 1, 2, 3, 4).

Planowane satelity wyposażone w urządzenia pasywne małej rozdzielczości

Jak wynika z przeprowadzonego rozpoznania, w chwili obecnej trwają prace jedynie nad jednym satelitą małej rozdzielczości – AMAZÔNIA-1 brazylijskiej agencji INPE. Satelita ten będzie wyposażony w urządzenie OBA (Observador Brasileiro da Amazonia) o pasie obserwacji szerokości 2200 km pomiędzy 5° φ N a 15° φ S i rozdzielczości 100 m w kanałach widma widzialnego i bliskiej podczerwieni (0.45÷0.50 μm, 0.52÷0.57 μm, 0.63÷0.69 μm, 0.76÷0.90 μm) oraz 300 m w zakresie MWIR i TIR (3.4÷4.2 μm; 6.0÷15.0 μm).

Planowane satelity wyposażone w urządzenia pasywne średniej i dużej rozdzielczości

W grupie tej (poza nowymi koncepcyjnie satelitami Sentinel 2A, 2B, Nigeriasat-2, Kanopus-V N1, Kanopus-V N2, PRISMA-1, RASAT, VENUS) znaczną część stanowią satelity wyposażone w urządzenia mające zapewnić ciągłość misji. Jednak jedynie jeden satelita – NX budowany przez Surrey Satellite Technology Ltd. dla NASRDA ma zapewnić kontynuację gromadzenia danych o parametrach analogicznych, jak w przypadku już funkcjonującego mikrosatelity Nigeriasat-1. Dane te pozwolą na prowadzenie długookresowych analiz czasowo – przestrzennych zmian stanu roślinności. Ułatwią także programowanie pracy mikrosatelity Nigeriasat-2. Przyczynią się one również do usprawnienia wypełniania i aktualizacji baz danych dla leśnictwa, rolnictwa, hydrografii o stopniu szczegółowości odpowiadającym mapom w skalach przeglądowych.

Siedem satelitów ma zapewnić kontynuację i rozwój wcześniejszych misji. Chińsko-brazylijskie satelity CBERS-3 i 4 będą wyposażone w zmodyfikowane urządzenia PANMUX, MUXCAM, IRMSS, rejestrujące dane w 3 dodatkowych kanałach podczerwieni (tabela 4). Za

Tabela. 4. Zakresy spektralne i rozdzielczość danych z projektowanych satelitów o urządzeniach pasywnych średniej i dużej rozdzielczości

Table 4. Spectral scope and resolution parameters of planned passive, medium- and high resolution satellites

		CBERS - 3 i 4	NX	Nige- ria- sat-2	Astro- terra	LDCM	Senti- nel 2A, 2B	AlSat 2A, 2B	Kano- pus-V N1, N2	RA- SAT	VE- NUS	RESO- UR- CE- SAT-3
Zakres spektralny <i>Spectral scope</i>	μm	rozdzielczość (metry) <i>resolution (meters)</i>										
Panchroma- tyczny <i>Panchro- matic</i>	0.42 ÷ 0.73									7.5		
	0.45 ÷ 0.90							2.5				
	0.50 ÷ 0.68					15						
	0.50 ÷ 0.75				>2							
	0.50 ÷ 0.80								2.5			
	0.51 ÷ 0.75	10		2.5								
	0.51 ÷ 0.85	5										
Niebieski <i>Blue</i>	0.40										5.3	
	0.42 ÷ 0.55									15		
	0.433 ÷ 0.453					30						
	0.443						60				5.3	
	0.450 ÷ 0.515					30						
	0.45 ÷ 0.52	20		5; 32				10				
	0.49						10				5.3	
Zielony <i>Green</i>	0.50 ÷ 0.59				8				12, 25			
	0.52 ÷ 0.59	10, 20										10
	0.52 ÷ 0.60		32	5; 32		30						
	0.52 ÷ 0.62											
	0.555										5.3	
	0.56						10					
	0.53 ÷ 0.60							10				
	0.55 ÷ 0.63									15		
Czerwony <i>Red</i>	0.58 ÷ 0.73									15		
	0.60 ÷ 0.69								12, 25			
	0.61 ÷ 0.68				8							
	0.62										5.3	
	0.62 ÷ 0.68											10
	0.62 ÷ 0.69							10				
	0.63 ÷ 0.68					30						
	0.63 ÷ 0.69	10, 20	32	5; 32								
		0.665						10				
	0.667									5.3		
Bliska pod- czerwień <i>Near Infra- red</i>	0.70 ÷ 0.79								12, 25			
	0.702										5.3	
	0.705						20					
	0.740						20					
	0.742										5.3	
	0.76 ÷ 0.89							10				
	0.76 ÷ 0.90	40	32	5; 32								
	0.76 ÷ 1.10	40										
	0.775						20					
	0.77 ÷ 0.86											10
	0.77 ÷ 0.89	10, 20										
	0.78 ÷ 0.89				8							
	0.782										5.3	
0.80 ÷ 0.89								12, 25				
	0.842						10					

	0.845 ÷ 0.865					30						
	0.865						20				5.3	
	0.910										5.3	
	0.940						60					
Środkowa podczerwień <i>Middle Infrared</i>	1.30 ÷ 3.00											23.5
	1.36 ÷ 1.39					30						
	1.375						60					
	1.55 ÷ 1.75	20, 40										
	1.56 ÷ 1.66					30						
	1.61						20					
SWIR	2.08 ÷ 2.35	80										
	2.10 ÷ 2.30					30						
	2.190						20					
TIR	10.40 ÷ 12.50	80										

pomocą urządzeń PANMUX i MUXCAM (o rozdzielczości 5, 10 i 20 m) możliwe będzie rejestrowanie obrazów stereoskopowych. Dane o rozdzielczości 80 m i dużym zasięgu scen ułatwią szybką detekcję zmian pokrycia terenu i zagrożeń naturalnych. Dane o rozdzielczości 5 m i 10 m pozwolą na aktualizację baz danych topograficznych w skalach średnich. Mogą one również zasilić bazy: użytkowania ziemi, stanu zdrowotnego lasów, stanu upraw oraz wspomagania planowania kryzysowego.

Satelita Astroterra jest projektowany jako kontynuator misji SPOT 5. Jego zakresy spektralne będą analogiczne jak w przypadku SPOT-a 5, zaś rozdzielczość przestrzenna zostanie w niewielkim stopniu zwiększona, przy zachowaniu dotychczasowych rozmiarów scen (Rigal, 2007). Będzie on dostarczał obrazy stereoskopowe. Rejestrowane dane będą mogły być wykorzystywane do zasilania baz danych użytkowania ziemi o stopniu szczegółowości odpowiadającym mapom w skali 1: 25 000, aktualizacji baz danych topograficznych, baz danych o lasach, łąkach i terenach podmokłych.

Misja LDCM ma zapewnić kontynuację gromadzenia danych o rozdzielczości i zakresach spektralnych zbliżonych do rejestrowanego przez urządzenie Landsat ETM+ (Behrens, 2009). Zakresy spektralne urządzenia OLI (Operational Land Imager) zostały jednak w niewielkim stopniu zmodyfikowane (NIR, SWIR i MIR) (Murphy-Morris, 2007). Wprowadzono kanał mający ułatwić badanie strefy brzegowej i aerozoli ($0.433\div 0.453\ \mu\text{m}$) oraz kanał pozwalający na wykrywanie i badanie cirrusów ($1.36\div 1.39\ \mu\text{m}$). Dane te będą mogły być wykorzystane do zasilania i aktualizacji baz danych: użytkowania ziemi, stanu zdrowotnego lasów i procesów brzegowych o stopniu szczegółowości odpowiadającym mapom w skali 1: 100 000.

Mikrosatelity AlSat 2A i 2B (projektowane we współpracy Algierskiej Agencji Kosmicznej ASAL z EADS Astrium) mają za zadanie zapewnić kontynuację i rozwój misji mikrosatelity AlSat-1. Dane z urządzenia NAOMI będą mogły być wykorzystywane do tworzenia i aktualizacji bazy danych topograficznych o szczegółowości 1: 25 000, baz danych użytkowania ziemi, leśnych, hydrograficznych, zasobów i eksploatacji minerałów (w tym ropy naftowej) oraz do wykrywania

samowoli budowlanych, ochrony upraw i systemów zarządzania kryzysowego (Maliet, Brooker, Pawlak, 2008).

Indyjski satelita Resourcesat-3 (wyposażony w urządzenie LISS III) ma zapewnić kontynuację misji satelitów IRS.

Satelita Nigeriasat-2 będzie rejestrował dane w zakresie panchromatycznym o rozdzielczości 2,5 m oraz dane multispektralne o rozdzielczości 5 m i 32 m. Dane te będą wykorzystywane do zasilania baz danych miejskich; baz danych zmian użytkowania ziemi; baz: topograficznych, katastralnych, hydrograficznych, geologicznych, transportu, produkcji rolnej, leśnych, technicznych (m. in. infrastruktury ropociągów), planowania kryzysowego oraz wykrywania samowoli budowlanych (Chizea, Ejimanya, 2008). Satelity Sentinel 2A i 2B wyposażone w urządzenie MSI (Multi Spectral Imager) są przeznaczone do monitoringu stanu środowiska lądowego i wybrzeży w ramach programu GMES. 13 kanałów spektralnych o rozdzielczości od 10 do 60 m umożliwi prowadzenie analiz zmian zasięgu i właściwości biofizycznych pokrycia roślinnego. Dane te będą mogły zostać wykorzystane w bazach: użytkowania ziemi, stanu zdrowotnego lasów, terenów podmokłych, łąk, ochrony środowiska, wykrywania zagrożeń naturalnych. Planowany czas ponownego obrazowania tego samego obszaru będzie wynosić 1 dobę.

Satelity Kanopus-V N1 i Kanopus-V N2 Rosyjskiej Federacyjnej Agencji Kosmicznej (Roskosmos) i Rosyjskiej Federacyjnej Służby do spraw Hydrometeorologii i Monitoringu Środowiska (Roshydromet) mają zostać umieszczone na orbicie 31 grudnia 2010 i 2011 r. Będą one wyposażone w multispektralne urządzenia: MSS (Roskosmos) o rozdzielczości 12 m i pasie obrazowania o szerokości 20 km, MSU-200 o rozdzielczości 25 m i pasie obrazowania o szerokości 250 km, jak również panchromatyczne urządzenie PSS o rozdzielczości 2,5 m. Dane te będą mogły zostać wykorzystane do kartowania użytkowania ziemi i pokrywy śnieżnej oraz wykrywania pożarów.

Satelita PRISMA-1 (PRecursore IperSpettrale della Missione Applicativa) Włoskiej Agencji Kosmicznej ASI ma zostać umieszczony na orbicie 30 lipca 2011 r. Będzie on wyposażony w panchromatyczne urządzenie PAN CAMERA o rozdzielczości 5 m oraz kamerę hyper-

spektralną HYC o rozdzielczości 30 m, rejestrującą dane w 230 kanałach. Pas obserwacji w przypadku obu urządzeń będzie miał szerokość 30 km. Dane rejestrowane przez tego satelitę mają być wykorzystywane do kartowania użytkowania i pokrycia ziemi, monitoringu roślinności i strefy brzegowej.

Agencja TUBITAK tureckiego Instytutu Badawczego Technologii Kosmicznych przewiduje 1 maja 2010 umieszczenie na orbicie satelity RASAT. Na jego pokładzie ma działać urządzenie panchromatyczne RASAT VIS Panchromatic o rozdzielczości 7,5 m oraz RASAT VIS Multispectral camera o rozdzielczości 15 m. Pas obrazowania obu urządzeń ma mieć szerokość 30 km. Rejestrowane przez nie dane mają posłużyć do aktualizacji map topograficznych, kartowania użytkowania ziemi, wspomagania planowania przestrzennego oraz zasilania monitoringu środowiska.

1 grudnia 2011 r. planowane jest umieszczenie na orbicie mikrosatelity VENUS francuskiego Narodowego Centrum Badań Kosmicznych (CNES) i Izraelskiej Agencji Kosmicznej (ISA). Będzie wyposażony w urządzenie VSC (Venus Superspectral Camera), rejestrujące dane o rozdzielczości 5,3 m i pasie o szerokości 27 km w 12 kanałach (tabela 4). Dane te będą mogły zostać wykorzystane do kartowania użytkowania ziemi, monitoringu roślinności, jak również badań albedo.

Planowane satelity wyposażone w urządzenia pasywne bardzo dużej rozdzielczości

W roku 2011 planowane jest umieszczenie na orbicie satelity GeoEye-2, który ma rejestrować dane o rozdzielczości przestrzennej do 25 cm lecz stosunkowo skromnym zakresie spektralnym. Zapowiedziano, iż dane te będą poddawane degradacji dla odbiorców którzy nie wykonują projektów przeznaczonych dla rządu USA lub jego agend. Dane z satelity GeoEye-2 mogą być wykorzystywane do zasilania baz danych topograficznych, rolniczych, użytkowania ziemi, planowania przestrzennego, infrastruktury komunikacyjnej i technicznej, monitoringu stanu zdrowotnego lasów, terenów podmokłych oraz baz systemów zarządzania kryzysowego.

Indyjska Organizacja Badań Kosmicznych (ISRO) planuje umieszczenie w dniu 1 stycznia 2011 r. na orbicie satelity Cartosat-3, wyposażonego w urządzenie PAN (Cartosat-3) rejestrujące dane o rozdzielczości 30 cm (tabela 5) w pasie o szerokości 6 km.

Sieć satelitów Pléiades 1, 2 (CNES) przygotowywana przez EADS Astrium i Alcatel ma dostarczać dane o rozdzielczości 50 cm w zakresie panchromatycznym i 2 m w zakresie multispektralnym (z możliwością stereoskopii), o czasie rewizyty wynoszącym 1 dzień w skali całej Ziemi. Pewne ograniczenie będzie stanowił brak

Tab . 5. Zakresy spektralne i rozdzielczość danych z nowych satelitów o urządzeniach pasywnych bardzo dużej rozdzielczości

Table 5. Spectral scope and resolution parameters of planned passive, very high resolution satellites

		Pléiades 1, 2	GeoEye-2	CARTOSAT-3	Kompsat-3	EROS C	SSOT
Zakres spektralny <i>Spectral scope</i>	μm	rozdzielczość (metry) <i>resolution (meters)</i>					
Panchromatyczny <i>Panchromatic</i>	0.45 ÷ 0.80		0.25				1.45
	0.45 ÷ 0.90						
	0.48 ÷ 0.83	0.5					
	0.50 ÷ 0.75			0.30			
	0.50 ÷ 0.90				0.7	0.7	
Niebieski <i>Blue</i>	0.45 ÷ 0.51		1.5 ?	1.5 ?			
	0.45 ÷ 0.52				2.8		5.8
	0.45 ÷ 0.55	2					
	0.48 ÷ 0.52					2.8	
Zielony <i>Green</i>	0.49 ÷ 0.61	2					
	0.51 ÷ 0.58		1.5 ?	1.5 ?			
	0.52 ÷ 0.60				2.8		
	0.53 ÷ 0.60						5.8
Czerwony <i>Red</i>	0.54 ÷ 0.58					2.8	
	0.60 ÷ 0.72	2					
	0.62 ÷ 0.69						5.8
	0.63 ÷ 0.69				2.8		
	0.64 ÷ 0.68					2.8	
Bliska Podczerwień <i>Near Infrared</i>	0.655 ÷ 0.920		1.5 ?	1.5 ?			
	0.75 ÷ 0.95	2					
	0.76 ÷ 0.89						5.8
	0.76 ÷ 0.90				2.8		
	0.78 ÷ 0.92		1.5 ?	1.5 ?			
	0.82 ÷ 0.90					2.8	

kanalu SWIR. Planowana jest natomiast rejestracja danych w zakresie widma niebieskiego, co wynika z potrzeby współpracy z satelitami radarowymi sieci COSMO SkyMed w ramach cywilno – wojskowego programu ORFEO. Cykl programowania satelitów Pléiades został zredukowany do 3 godzin. Zakres spektralny danych oraz ich rozdzielczość predysponują je do wykorzystania w bazach danych topograficznych (o stopniu szczegółowości odpowiadającym mapom w skali 1: 5 000 – 1: 10 000), planowania przestrzennego, bezpieczeństwa narodowego, planowania kryzysowego, monitoringu i zarządzania wybrzeżami, monitoringu upraw, lasów oraz do wspomaganie analiz zmian klimatycznych.

Mniejszą rozdzielczość będą miały dane rejestrowane przez satelitę Kompsat-3 południowokoreańskiej agencji KARI, przygotowywanego przez EADS Astrium. Jego zadaniem będzie kontynuacja misji satelitów Kompsat-1 i 2. Zakres spektralny danych oraz ich rozdzielczość pozwolą na ich wykorzystanie do monitoringu lasów i upraw, kartowania użytkowania ziemi, detekcji samowoli budowlanych, wspomaganie planowania przestrzennego i zarządzania kryzysowego. Rejestracja danych w zakresie niebieskim umożliwi prowadzenie badań hydrologicznych i monitoringu strefy brzegowej. Uzyskiwane dane przestrzenne będą mogły być wykorzystane w bazach danych topograficznych (o stopniu szczegółowości odpowiadającym mapom w skali 1:10 000).

Podobną rozdzielczość, lecz nieco inny zakres spektralny będą miały dane rejestrowane przez izraelskiego satelitę EROS-C (IAI). Będzie on cywilną wersją satelity wywiadowczego Ofeq 3. Nietypowy dobór zakresu spektralnego kanału bliskiej podczerwieni ma przyczynić się do zredukowania problemów związanych z rejestracją pary wodnej. Dane z tego satelity mogą być wykorzystywane do generowania informacji przeznaczonych do baz danych topograficznych (o szczegółowości odpowiadającej mapom w skali 1: 10 000), planowania przestrzennego, bezpieczeństwa narodowego, planowania kryzysowego, hydrograficznych, monitoringu upraw, roślinności w warunkach klimatu suchego oraz do wspomaganie analiz zmian klimatycznych i monitoringu strefy brzegowej. Czas rewizyty (15 dni) może zostać zredukowany do 3 dni dzięki rejestracji danych z sąsiednich orbit.

Japońska Agencja Badania Przestrzeni Kosmicznej (JAXA) planuje umieszczenie na orbicie 1 stycznia 2013 r. satelity ALOS-3. Będzie on wyposażony w udoskonalone urządzenie PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping) o rozdzielczości 80 cm w zakresie panchromatycznym i 3,2 m w 4 kanałach spektralnych (tabela 5). Pas rejestracji będzie miał szerokość 50 km. Możliwe będzie dokonywanie rejestracji przy wychyleniu do 60°, co umożliwi szybkie kartowanie obszarów kłęsk żywiolowych (Imai *et alli*, 2009)

Chilijski satelita SSOT (Sistema Satelital para Observación de la Tierra) będzie również posiadał możliwość rejestracji danych z sąsiednich orbit, co pozwoli na redukcję czasu rewizyty z 15 do 3 dni. Zakres spek-

tralny danych i ich rozdzielczość przestrzenna umożliwi ich wykorzystanie do zasilania baz danych topograficznych (o stopniu szczegółowości odpowiadającym mapom w skali 1: 25 000). Na ich podstawie można również wygenerować informację do wypełnienia baz danych wspomagających zarządzanie terenami rolnymi, leśnymi, monitoringu i ochrony środowiska, hydrograficznych, planowania kryzysowego, ochrony upraw, planowania przestrzennego. Satelita ten ma zostać umieszczony na orbicie 20 stycznia 2010 r.

Planowane satelity hybrydowe

Grupa satelitów hybrydowych w roku 2012 powiększy się o satelity Sentinel 3A, 3B i Seosat, zaś w roku 2014 o satelitę SMAP. Misje Sentinel 3A i 3B stanowią składowe GMES. Ich celem jest zapewnienie kontynuacji rejestracji danych dotyczących: koloru oceanów (dotychczas rejestrowanych przez urządzenie MERIS satelity Envisat), temperatury powierzchni mórz i lądów (urządzenie AATSR satelity Envisat), zasięgu lodu na powierzchni lądu i oceanu (urządzenie RA satelity Envisat), zmian pokrycia roślinnego (analogicznie jak Végétation satelity SPOT). Satelity Sentinel 3A i 3B zostaną wyposażone w urządzenie Ocean and Land Colour Imager (OLCI) o 21 kanałach spektralnych i urządzenie Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR) o 9 kanałach spektralnych. Ponadto na pokładzie zostaną zainstalowane: radarowy altimetr SRAL (pracujący w paśmie Ku i C), radiometr mikrofalowy (23.8 GHz i 36.5 GHz) oraz zestaw urządzeń określających precyzyjnie orbitę (wielokanałowy odbiornik GNSS, instrument DORIS, retroreflektor laserowy LRR) (Drinkwater, Donion, 2008). Urządzenia satelitów Sentinel 3A i 3B będą dostarczały dane o ukształtowaniu powierzchni mórz, cyrkulacji, jakości wód, temperaturze powierzchni mórz, sedymentacji i eutrofizacji. Będą one również rejestrowały dane o zasięgu i grubości pokrywy lodowej oceanów (dostarczając materiału dla baz obszarów okołobiegunowych), prądach morskich, wietrze i falowaniu (do baz danych bezpieczeństwa morskiego), wreszcie o zmianach temperatury oceanów. Dane będą gromadzone w cyklu jednodniowym dla stref wybrzeży oraz dwudniowym dla pozostałych obszarów Ziemi.

Satelita SMAP (Soil Moisture Active Passive) agencji NASA ma zostać umieszczony na orbicie 31 grudnia 2014 r. Będzie on wyposażony w SAR działający w paśmie L oraz pasywny radiometr (L-band Radiometer). Urządzenia te pozwolą na pomiar wilgotności gleby o rozdzielczości rzędu 10 m oraz wykrywanie jej zamarzania i rozmarzania o rozdzielczości od 1 do 3 km w pasie obrazowania o szerokości 1000 km.

Hiszpański SEOSAT/INGENIO był początkowo projektowany jako satelita pasywny o rozdzielczości 2,5 m w zakresie panchromatycznym oraz 10 m – multispektralnym i zakresach spektralnych analogicznych jak w przypadku satelity SPOT 5. Zaproponowano jednak wyposażenie go w urządzenie PAU (hybrydowy radio-

metr działający w paśmie L oraz reflektometr GPS), które umożliwi badanie zasolenia mórz (Camps *et alli*, 2008). Czas rewizyty (30 dni) może być skracany do 3 dni dzięki rejestracji z innych orbit (Vega, Ureña, 2009). Dane przestrzenne generowane na podstawie danych z tego satelity będą mogły zasilać bazy danych: topograficznych, leśnych, rolniczych, hydrograficznych, oceanograficznych, ochrony środowiska, użytkowania ziemi. SEOSAT/INGENIO będzie współpracował z wojskowym satelitą radarowym PAZ (*ibid.*), wyposażonym w urządzenie PAZ SAR-X o rozdzielczości od 1 do 15 m.

Planowane satelity wyposażone w urządzenia aktywne

Dosyć dużą grupę wielofunkcyjnych satelitów obserwacji terenów lądowych Ziemi będą stanowiły satelity wyposażone w urządzenia aktywne. Trzy spośród nich (COSMO-SkyMed-4, SAOCOM 1B, TanDEM-X) są uzupełnieniem funkcjonujących konstelacji satelitarnych, natomiast 13 (COSMO-SkyMed 2 generacji 1, 2, 3, 4 i SAOCOM 2A, 2B; Sentinel 1A, 1B; ALOS-2, TerraSAR-X2, Radarsat Constellation 1, 2, 3) mają zapewnić kontynuację obecnych misji. W pełni nowe rozwiązania stanowią natomiast: SABRINA, RISAT-1, RISAT-L, MAPSAR i Kompsat-5, 7.

COSMO-SkyMed-4 będzie od 2010 r. 4 składnikiem włoskiej sieci satelitów. W 2011 r. konstelacja ta zostanie uzupełniona satelitą interferometrycznym SABRINA (System for Advanced Bistatic and Radar Interferometry Applications). W latach 2012 – 2014 na orbitę zostaną wprowadzane 4 satelity CSG-SAR (Cosmo-SkyMed Seconda Generazione – COSMO-SkyMed 2 generacji).

Zadaniem satelitów Sentinel 1A, 1B będzie zachowanie ciągłości rejestracji danych w paśmie C (rejestrowanych przez satelitę Envisat). Przewiduje się, iż Sentinel 1A zostanie umieszczony na orbicie 30 czerwca 2011 r., zaś Sentinel 1B – 30 czerwca 2013 r.

Argentyńsko-włoskie satelity SAOCOM 1B, 2A, 2B (Satélite Argentino de Observación Con Microondas) będą stanowić (wraz z satelitą SAOCOM 1A) konstelację satelitów radarowych, pracujących w paśmie L (1.3 GHz) o rozdzielczości terenowej 10 m. Dane radarowe umożliwią badanie wilgotności gleb, litologii i geologii. Dane przestrzenne uzyskane z przetworzeń danych satelitarnych umożliwią prowadzenie monitoringu: naturalnych klęsk żywiołowych, upraw, użytkowania ziemi, pokrywy śnieżnej lub lodowej, pozwalając na zasilanie baz danych systemów planowania kryzysowego, nadzoru upraw, baz danych meteorologicznych i hydrologicznych.

Projekt TanDEM (TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement) realizowany przez EADS Astrium dla DLR polega na umieszczeniu na orbicie satelity o parametrach zbliżonych do satelity TerraSAR-X, który wraz z nim będzie prowadził synchronicznie

pomiary interferometryczne (Boeer *et alli*, 2008). Użytkany numeryczny model terenu będzie wykorzystany w bazach danych topograficznych oraz bazach danych tematycznych. Projekt ten ma zostać zrealizowany wiosną 2010 r.

Na dzień 1 stycznia 2013 r. zaplanowano umieszczenie na orbicie satelity TerraSAR-X2 wyposażonego w urządzenie X-Band SAR o maksymalnej rozdzielczości rzędu 4 m. Satelita ten ma zapewnić ciągłość misji zapoczątkowanej przez satelitę TerraSAR-X.

Konstelacja trzech satelitów Radarsat zostanie umieszczona na orbicie w latach 2013 – 2015. Zostaną one wyposażone w urządzenia SAR (CSA RADARSAT Constellation), pracujące w paśmie C (5,405 GHz) o polaryzacji horyzontalnej, wertykalnej i mieszanej oraz rozdzielczości do 5 m. Dane uzyskane z tego urządzenia będą mogły zostać wykorzystane do badania wartości albedo, kartowania pokrywy lodowej i pokrycia terenu, wykrywania pożarów oraz rejestracji wysokości fal i prędkości wiatru nad akwenami mórz i oceanów. Satelity te będą również wyposażone w pomocnicze urządzenie AIS automatycznej identyfikacji statków.

Południowokoreański satelita Kompsat-5 (budowany dla KARI przez Alcatel Alenia Space) zostanie umieszczony na orbicie prawdopodobnie w 2010 r. Ma on pracować w paśmie X na orbicie umożliwiającej codzienną rejestrację danych z Półwyspu Koreańskiego. W 2017 r. planuje się jego zastąpienie satelitą Kompsat-7. Dane przestrzenne uzyskane z tej misji mogą zostać wykorzystane w bazach danych systemu bezpieczeństwa narodowego, monitoringu środowiska (lądowego i wodnego), geomorfologicznych oraz zarządzania kryzysowego.

Japońska Agencja Badania Przestrzeni Kosmicznej (JAXA) planuje umieszczenie 1 stycznia 2012 r. na orbicie satelity ALOS-2. Na jego pokładzie będzie działało urządzenie PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) o maksymalnej rozdzielczości rzędu 7 m. Dane uzyskane z tego urządzenia będą mogły zostać wykorzystane do badania wartości albedo, kartowania pokrywy lodowej i śnieżnej, wilgotności gleb, pokrycia roślinnego oraz rejestracji kierunku wiatru nad terenami oceanów.

ISRO planuje umieszczenie 20 stycznia 2010 r. na orbicie satelity RISAT-1. Celem jego misji jest stała obserwacja Półwyspu Indyjskiego przy wykorzystaniu pasma C (5.350 GHz) o polaryzacji horyzontalnej, wertykalnej i mieszanej. Informacje uzyskane w wyniku przetworzenia tych danych mogą zasilać bazy danych systemów bezpieczeństwa narodowego, zarządzania kryzysowego, rolnictwa, leśnictwa, bazy glebowe, geologiczne oraz monitoringu wybrzeży.

Na 1 lipca 2014 r. ISRO planuje umieszczenie na orbicie satelity RISAT-L, wyposażonego w urządzenie SAR L o maksymalnej rozdzielczości rzędu 1 m. Dane pochodzące z tego urządzenia będą mogły zostać wykorzystane do badania wartości albedo, kartowania pokrywy lodowej i śnieżnej, wilgotności gleb, pokrycia roślinnego.

Brazylijsko – niemiecki satelita MAPSAR (Multi-purpose SAR) ma zostać umieszczony na orbicie 3 grudnia 2013 r. Będzie on wyposażony w urządzenie SAR (MAPSAR) działające w paśmie L. Jego maksymalna rozdzielczość będzie wynosiła około 1 m. Satelita ten będzie również wyposażony w pomocnicze urządzenie pomiarowe DSC. Dane uzyskane z urządzenia SAR (MAPSAR) będą mogły zostać wykorzystane do badania wartości albedo, kartowania pokrywy lodowej i śnieżnej, wilgotności gleb, pokrycia roślinnego oraz rejestracji kierunku wiatru nad oceanami.

Planowane satelity innych misji

Wśród planowanych satelitów innych misji zwraca uwagę wzrost liczby satelitów oceanograficznych. Do roku 2015 zostaną umieszczone na orbicie 2 satelity rejestrujące kolor oceanów i powierzchnię mórz: HY-1C, HY-1D (wyposażone w urządzenia COCTS i CZI), 1 – badania temperatury powierzchni mórz i falowania (HY-2A z instrumentami RAD, SCAT i ALT), 1 – kartowania strefy wybrzeży (HY-3A z urządzeniem WSAR), 2 – meteorologiczno – klimatologiczno – oceanograficzne: Jason 3 (FJP) i Meteor-M N3 (SAR, Radiomet, MSS-BIO) oraz 1 – oceanograficzno – klimatologiczny: Oceansat-3 (skaterometr, altimetr, TIR, PMR i OCM). Wzrośnie również liczba satelitów glaciologicznych (m. in. CryoSat-2, wyposażony w instrumenty: DORIS-NG, SIRAL, reflektory laserowe, ICESat-II ze zmodyfikowanym urządzeniem GLAS). W roku 2012 zostanie umieszczony na orbicie jeden z pierwszych specjalistycznych satelitów geologicznych EnMAP z urządzeniem HSI.

Wnioski

Najliczniejszą grupę nowych misji satelitarnych w okresie 2010–2015 (poza misjami meteorologicznymi) będą stanowiły wielofunkcyjne misje obserwacji terenów lądowych. Wśród 51 planowanych satelitów tego przeznaczenia 9 będzie zapewniało uzupełnienie lub kontynuację dotychczasowych misji. 7 satelitów będzie łączyło kontynuację dawnych misji z rejestracją danych o zwiększonej rozdzielczości i dodatkowych kanałach. 21 satelitów wyposażonych w nowe urządzenia będzie dostarczało danych w nowych zakresach o udoskonalonej rozdzielczości. Zarówno w przypadku satelitów pasywnych, jak i aktywnych powszechne jest dążenie do zwiększania rozdzielczości (nawet w przypadku relatywnie tanich mikrosatelitów). Dostatecznie powszechne jest zwiększanie liczby kanałów i uwzględnianie rejestracji zakresu niebieskiego widma. Na uwagę zasługuje inicjatywa rejestracji danych w zakresie żółtym, krawędzi czerwonego widma i SWIR. Bardzo powszechne jest dążenie do skracania czasu rewizyty i cyklu programowania misji. Zwiększenie rozdzielczości w powiązaniu z rejestracją danych w nowych zakresach oraz SWIR umożliwi dostarczanie bardziej wiarygodnych informa-

cji w zakresie lokalizacji, kształtu i charakterystyk obiektów o niewielkich rozmiarach, istotnego zwiększenia zakresu informacji dotyczącej stanu zdrowotnego roślinności, zróżnicowania składu gatunkowego siedlisk (ze szczególnym uwzględnieniem stopnia wilgotności), charakterystyk stref brzegowych. Rozbudowa sieci satelitów radarowych, współpracujących z satelitami optycznymi przyczyni się do wzrostu dostępnego zakresu danych dotyczących środowiska morskiego, stref przybrzeżnych, zagrożeń naturalnych oraz zagadnień związanych z bezpieczeństwem narodowym. Zwiększenie rozdzielczości przestrzennej i wzbogacenie zakresu tematycznego danych satelitarnych w połączeniu ze skróceniem okresu pomiędzy kolejnymi obrazowaniami tego samego terenu i redukcją długości cyklu programowania usprawni dostęp do bardziej wiarygodnych, bogatych i aktualnych informacji przestrzennych, możliwych do wykorzystania w bazach danych: topograficznych, użytkowania ziemi, leśnych, infrastruktury, siedlisk, ochrony środowiska, systemów nawigacji lądowej i morskiej, katastru, rolnictwa. Możliwe stanie się również zasilanie wiarygodnymi danymi baz danych planowania przestrzennego, monitoringu: leśnego, wód powierzchniowych, linii brzegowej, zanieczyszczeń punktowych, osuwisk, ruchów tektonicznych, szkód górniczych, jak również baz systemów planowania kryzysowego oraz systemów bezpieczeństwa narodowego.

Literatura

- Behrens, C. E., 2009, Landsat and the Data Continuity Mission, Congressional Research Service, CRS Report for Congress, May 22, 2009.
- Bersan, A., 2008, DigitalGlobe current offering and future WorldView2 mission, Proceedings of Eurimage Meeting 2008, Roma, 09-10 October 2008.
- Boer, J., Fiedler, H., Krieger, G., Zink, M., Bachmann, M., Huesco Gonzalez, J., 2008, TanDEM-X: A Global Mapping Mission, Integrating Generations, FIG Working Week 2008, Stockholm.
- Camps, A., Rodríguez – Álvarez, Bosch-Lluis, X., Marchán, J.F., Ramos-Pérez, I., Segarra, M., Sagués, Ll., Tarragó, D., Cuñado, O., Vilaseca, R., Tomàs A., Mas, J., Guillamón, J., 2008, PAU in SeaSAT. A proposed Hybrid L-band Microwave Radiometer / GPS Reflectometer to Improve Sea Surface Salinity Estimates from Space, Microrad 2008, Firenze, March 11-14, 2008.
- Chizea, F.D., Ejimanya, J. I., 2008, NigeriaSat-2: Technical Parameters, Operational Perspectives and Target Applications, NASRDA, Abuja.
- Coletta, A., 2008, COSMO-SkyMed. Keeping an Eye on the World, Proceedings of Eurimage Meeting 2008, Roma, 09-10 October 2008.
- COSMO-SkyMed System Description & User Guide, 2007, ASI – Agenzia Spaziale Italiana. COSMO-SkyMed Mission, Doc. No: ASI-CSM-ENG-RS-093-A.
- Drinkwater, M. R., Donion, C., 2008, GMES Sentinel-3: a mission for operational oceanography, ESA.
- Earth Observation Handbook, CEOS, 2008, 167 s.
- Imai, H., Katayama, H., Imai, T., Suzuki, S., Hatooka, Y., Osawa, Y., 2009, A Conceptual Design of the Optical Sat-

- elite for the Post-ALOS Program, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA).
- Maliet, E., Brooker, L., Pawlak, D., 2008, Global High Resolution Imaging for new Markets, Proceedings of the 59th IAC (International Astronautical Congress), Glasgow, Scotland, UK, Sept. 29 to Oct. 3, 2008, IAC-08-B1.2.7.
- Murphy-Morris, J., 2007, Operational Land Imager, Landsat Science Team Meeting, USGS EROS, January 8, 2007.
- Oddone, A., 2008, Overview of current and future Remote Sensing missions, Proceedings of Eurimage Meeting 2008, Roma, 09-10 October 2008.
- Rigal, D., 2007, The Earth Observation and GIS communities fighting the climate crisis, Spot Image S.A, Toulouse.
- Vega, E., Ureña, J., 2009, Ingenio and Paz Ground Segment Interoperability. Programa Nacional de Observación de la Tierra por Satélite – PNOTS (Spanish Earth Observation Satellite Programme), GSCB Workshop, ESA/ESRIN, Frascati, 18 – 19 June 2009.



Dr Dariusz Dukaczewski ukończył studia na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (specjalizacja w zakresie kartografii). W roku 1994, po stażu w GDTA w Tuluzie, uzyskał DESS na Wydziale Nauk Ścisłych Uniwersytetu Paryskiego (w zakresie teledetekcji), zaś w 2001 r. tytuł doktora nauk o Ziemi w Instytucie Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN im. Stanisława Leszczyckiego. W latach 1987 – 1988 pracował w ówczesnej Pracowni Fotointerpretacji Geograficznej WGiSR UW. Od roku 1993 pracuje w Zakładzie Systemów Informacji Przestrzennej Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie. Obecnie jest zatrudniony na stanowisku adiunkta. Jego aktualne zainteresowania w zakresie teledetekcji dotyczą wykorzystania danych satelitarnych w systemach zorientowanych czasowo, tzw. prostych i złożonych animacjach kartograficznych (przeznaczonych do tradycyjnej wizualizacji komputerowej oraz za pomocą e-papieru). Od roku 2003 pełni również w IGiK-u funkcję dystrybutora danych satelitarnych. Instytut Geodezji i Kartografii, ul. Modzelewskiego 27, 02 – 679 Warszawa, tel. (22) 329 19 70, e-mail: dariusz.dukaczewski@igik.edu.pl



Dr hab. inż. **Elżbieta Bielecka**, absolwentka Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej (1978), doktor nauk przyrodniczych w zakresie geografii (1990), doktor habilitowany nauk technicznych w zakresie geodezji i kartografii (2005). Od roku 1994 zatrudniona w Instytucie Geodezji i Kartografii. Od 2006 r. prof. mianowany WAT na Wydziale Inżynierii Lądowej i Geodezji. Teledetekcją zajmuje się od lat 80 XX w. Prowadziła szereg prac naukowych i wdrożeniowych w zakresie projektowania i wykorzystania systemów informacji geograficznej w gospodarce przestrzennej, administracji publicznej, w rolnictwie, ochronie i monitoringu środowiska, statystyce publicznej. Kierowała wieloma projektami krajowymi i międzynarodowymi z zakresu wykorzystania GIS do pozyskiwania danych i wykonywania analiz przestrzennych. Autorka kilkudziesięciu artykułów naukowych oraz dwóch podręczników z dziedziny systemów informacji geograficznej.

Członek Klubu Teledetekcji Środowiska PTG, Polskiego Towarzystwa Informacji Przestrzennej (PTIP), Komitetu Technicznego 297 ds. Informacji geograficznej PKN, Członek Narodowego Komitetu CODATA.