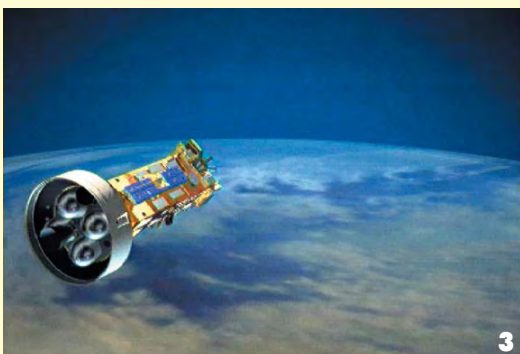


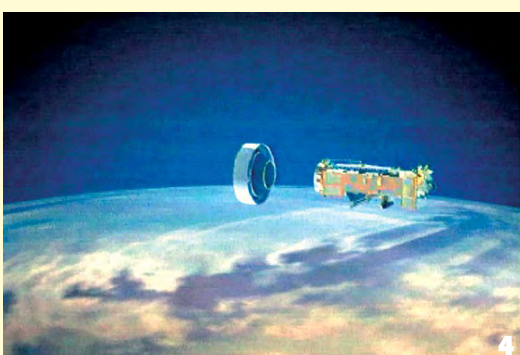
1



2



3



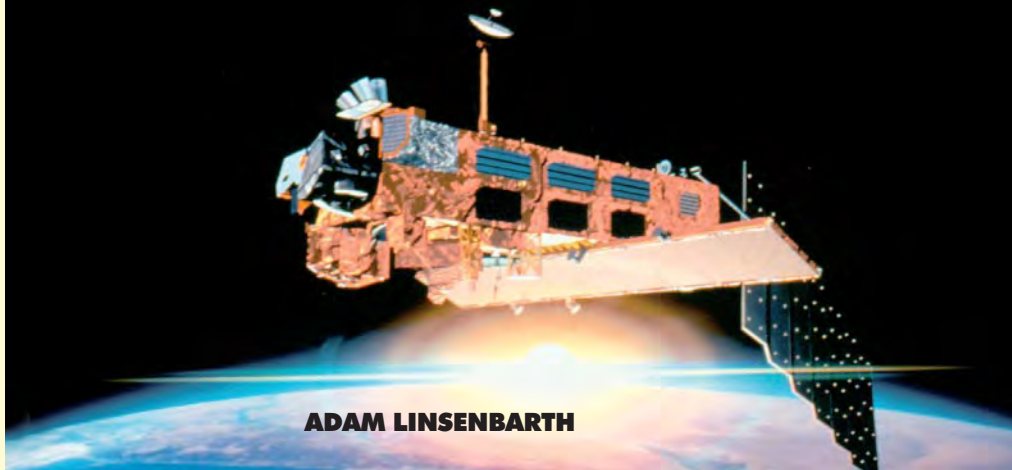
4



5

Europejski satelita środowiskowy

Envisat



ADAM LINSENBARTH

1 marca z bazy Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) w Kourou w Gujanie Francuskiej wystartowała raketa Ariane 5 wynosząca w przestrzeń kosmiczną satelitę teledetekcyjnego Envisat. Głównym celem pierwszego satelity ESA nowej generacji jest dostarczenie pełnej informacji o środowisku i jego zmianach. Koszt całej misji przewidzianej na 5 lat wynosi ponad 2 miliardy euro, co w przeliczeniu na jednego mieszkańca państw należących do ESA daje 7 euro (lub jedną filiżankę kawy rocznie).

Prace nad programem Envisat rozpoczęto jeszcze przed umieszczeniem na orbicie satelity ERS-1 (1991 r.). Początkowo ESA planowała zbudowanie systemu POEM-1 (The Polar Orbiting Earth Observation Mission), który miał dostarczać dane dla potrzeb badań naukowych i obserwacji meteorologicznych. Misja ta miała stanowić kontynuację programu ERS. W połowie roku 1993 ESA podjęła decyzję o podziale POEM-1 na dwie niezależne misje: Envisat (środowiskowa) i METOP-1 (meteorologiczna).

Kompleks instrumentów wykorzystywanych w programie Envisat postanowiono

Pierwsze minuty po starcie: 1. 00:02:24 – odrzucenie dopalaczy; 2. 00:09:33 – odłączenie silników wspomagających; 3. 00:24:50 – wejście na orbitę i wyłączenie silników; 4. 00:26:35 – odłączenie pozostałej części rakiety; 5. 00:44:57 – wysunięcie baterii słonecznych

umieścić na platformie polarnej PPF (The Polar Platform), która jest uniwersalna dla różnych misji ESA. Prace nad jej budową rozpoczęto w roku 1990, a w 1995 podpisano kontrakt na zintegrowanie platformy z instrumentami programu Envisat.

Przygotowanie i realizacja projektu Envisat odbywała się w ramach trzech podstawowych kontraktów zawartych przez Europejską Agencję Kosmiczną:

1. platforma polarna (PPF) – konsorcjum kierowane przez Astrium Ltd. (d. Matra Marconi Space),
2. instrumenty programu – konsorcjum Astrium GmbH (d. Dornier Satellitensysteme GmbH),
3. segment naziemny programu – konsorcjum działające pod przewodnictwem Alcatel Space Industries.

W konsorcjach powołanych do realizacji programu Envisat brało udział ponad 100 firm z różnych państw należących do Europejskiej Agencji Kosmicznej oraz Kanady.

MIPAS (Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding) jest spektrometrem pracującym w zakresie średniej podczerwieni (4,15-14,6 μm). Pozwala na określenie profili różnych składowych atmosfery oraz temperatury na podstawie obserwacji świetlnego kręgu Ziemi. Szeroki zakres spektralny tego instrumentu oraz wysoka spektralna zdolność rozdzielcza pozwalają na pełny pomiar ponad dwudziestu gazów śladowych. Pracuje zarówno w dzień, jak i w nocy.

MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) jest spektrometrem obrazowym o średniej rozdzielczości pracującym w zakresie fal 400-1050 nm. Wykonuje pomiar radiacji słonecznej odbitej przez powierzchnię Ziemi lub przez chmury, zarówno w zakresie widzialnym, jak i w podczerwonym. Umożliwi detekcję właściwości biofizycznych oceanów, takich jak koncentracja chlorofilu oraz skład wód przybrzeżnych. Rejestruje dane w 15 kanałach spektralnych charakteryzujących się wąskimi przedziałami (od 2,5 do 20 nm). Szerokość pola widzenia instrumentu MERIS wynosi 1150 km. Pas ten jest rejestrowany przez 5 identycznych kamer z minimalnym wzajemnym pokryciem. Dwie opcje działania systemu MERIS: o pełnej rozdzielczości (300 m w nadirze) i o zredukowanej (1200 m w nadirze) można stosować jednocześnie.

GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars) to urządzenie do monitorowania ozonu poprzez obserwację zasłonięcia gwiazd. Zawartość ozonu w atmosferze jest jednym z zasadniczych czynników decydujących o środowisku. GOMOS jest spektrometrem optycznym pracującym w trzech zakresach widma: ultrafioletowym (250-625 nm) oraz w bliskiej podczerwieni (756-773 nm i 926-952 nm). Umożliwi wykrycie ozonu i innych gazów śladowych na wysokościach pomiędzy 20 a 100 km nad powierzchnią Ziemi.

RA-2 (Radar Altimeter) jest udoskonaloną wersją instrumentu działającego na satelitach ERS. Ten dwuczęstościowy wysokościomierz mikrofalowy pracuje w pasmach Ku i S. Umożliwi precyzyjny pomiar powierzchni oceanów oraz wysokości fal i prędkości wiatrów.

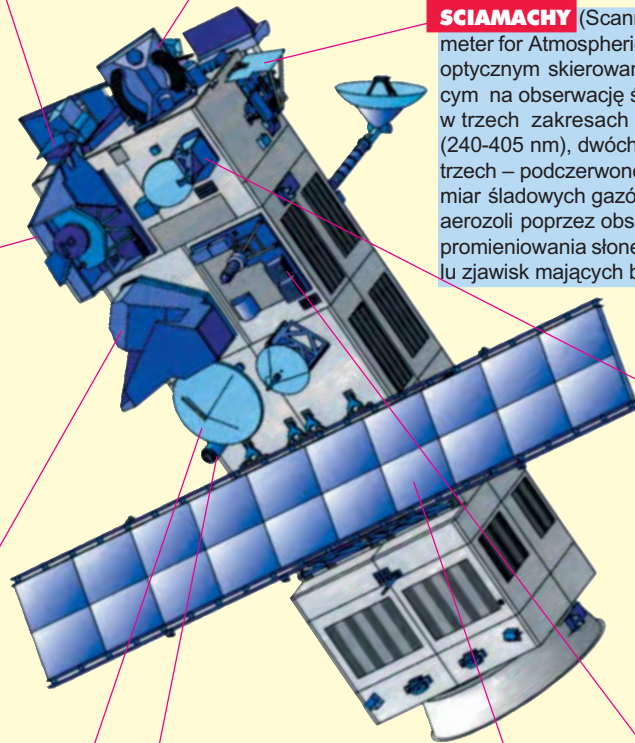
LRR (Laser Retro-Reflector) jest instrumentem pasywnym, który może być użyty przez naziemną stację pomiaru odległości jako reflektor dla systemu laserowego. Umożliwia kalibrację instrumentu RA-2 poprzez pomiar wysokości i odległości. Dane z tego systemu wykorzystywane są także do kalibracji DORIS oraz do określania parametrów orbity.

AATSR (Advanced Along-Track Scanning Radiometer) jest kopią instrumentu pracującego na satelitach ERS. Umożliwia pomiar temperatury powierzchni morza z dokładnością 0,3°C. Parametr ten stanowi jeden z najbardziej stabilnych elementów klimatu, a jego znajomość – w skali globalnej – pozwala na charakterystykę klimatu Ziemi i jego zmian. AATSR jest udoskonalonym radiometrem skanującym wzdłuż trajektorii lotu i rejestrującym promieniowanie o długości fal 550-1200 nm.

SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography) jest spektrometrem optycznym skierowanym nadiowo, a także pozwalającym na obserwację świetlnego kręgu Ziemi. Pracuje w trzech zakresach promieniowania ultrafioletowego (240-405 nm), dwóch – widzialnego (400-810 nm) oraz trzech – podczerwonego (1,94-2,38 μm). Umożliwia pomiar śladowych gazów w atmosferze oraz koncentracji aerozoli poprzez obserwację odbitego i rozproszonego promieniowania słonecznego. Pozwoli na zbadanie wielu zjawisk mających bezpośredni wpływ na atmosferę.

MWR (Microwave Radiometer) jest pasywnym radiometrem mikrofalowym rejestrującym promieniowanie o częstotliwości 23,8 GHz (1,2 cm) oraz 36,6 GHz (0,8 cm). Pozwala na pomiar zawartości pary wodnej w atmosferze oraz wody w chmurach. Jego zadaniem jest dostarczanie danych umożliwiających korekcie atmosferyczne niezbędne dla systemu RA-2.

DORIS (Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite) jest instrumentem mikrofalowym umożliwiającym określenie w czasie rzeczywistym położenia satelity na orbicie z dokładnością 1 m. Dalsze przetworzenie otrzymanych danych pozwala na określenie orbity z dokładnością do 3 cm.



Instrumentarium misji

Program Envisat wymagał skonstruowania i zainstalowania na satelicie 10 różnych instrumentów. Niektóre z nich stanowią udoskonalenie instrumentów działających w programie ERS-1 i ERS-2. Inne natomiast to całkowicie nowe konstrukcje, wykonane specjalnie dla tej misji.

ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar) to udoskonalony radiolokator z anteną syntetyczną pracujący w paśmie C w trzech wariantach: obrazowym, szerokiego pokrycia i falowym. ASAR jest największym instrumentem na pokładzie Envisat. Produkuje wysokiej jakości obrazy radarowe przydatne do określenia: ■ charakterystyki fal morskich, ■ zasięgu i ruchów lodów, ■ zasięgu śniegów i lodów, ■ topografii powierzchni terenu, ■ właściwości powierzchni terenu, ■ wilgotności gleby i zasięgu obszarów podmokłych, ■ zasięgu wysuszenia, ■ zasięgu obszarów pustynnych i procesów pustynnienia, a także do monitorowania klęsk żywiołowych. Główną jego zaletą jest możliwość wykonywania zobrazowań zarówno w dzień, jak i w nocy, niezależnie od warunków atmosferycznych. W wariantcie obrazowym można rejestrować pas powierzchni terenu o szerokości 100 km (w zakresie pola widzenia 485 km) ze zdolnością rozdzielczą 30 m lub o szerokości 150 km (zdolność rozdzielcza 150 m). Wariant przemiennej polaryzacji umożliwia otrzymywanie obrazów przy polaryzacji VV/HH, HH/HV lub VV/VH o podobnej rozdzielczości geometrycznej, ale o zredukowanej rozdzielczości radiometrycznej. W wariantcie falowym ASAR umożliwia pomiar zmian wstępnego odbicia od powierzchni morza na skutek falowania. Dokonuje się wówczas rejestracji obrazów 5 x 5 km położonych w odległości co 100 km. W przypadku wariantu globalnego obraz o szerokości 400 km rejestrowany jest z rozdzielczością 1 km.

● Zadania misji Envisat

Cele misji to przede wszystkim kontynuacja obserwacji radarowych dostarczanych przez ERS, rozciągnięcie ich na oceany i obszary pokryte lodami oraz zwiększenie liczby obserwowanych parametrów definiujących środowisko naturalne i dostarczenie niezbędnych danych do prac badawczych z nim związanych, m.in. w zakresie atmosfery i badań oceanicznych.

Ponadto misja Envisat pozwoli na bardziej efektywne monitorowanie powierzchni Ziemi, badanie dynamiki zmian i zarządzanie eksploatacją zasobów naturalnych.

Zadania misji Envisat będą realizowane zarówno w zakresie globalnym, jak i regionalnym. Pewne dane wymagają rejestracji w czasie rzeczywistym, dla innych wystarczy tryb off-line. W zakresie globalnym dane dostarczane w czasie rzeczywistym są niezbędne do monitorowania i prognozowania stanu wód oceanów, temperatury powierzchni wody, parametrów atmosfery (temperatury, ciśnienia, wilgotności, wysokości chmur, radiacji itp.) czy koloru wód oceanów dla połowów rybackich. Z kolei w trybie off-line można zbierać dane potrzebne do monitorowania lodów i ich dynamiki, interakcji pomiędzy atmosferą a powierzchnią lodów, zanieczyszczenia akwenów wodnych, procesów radiacji itp.

W skali regionalnej powtarzalne i koherentne dane pozyskiwane z misji Envisat są przydatne do monitorowania lasów, terenów rolniczych, zmian brzegowych, lodów i śniegów, ruchu statków, określania wilgotności gleby i procesów wegetacyjnych, badań hydrologicznych itp. Dla niektórych z tych zadań dane muszą być dostarczane na bieżąco (np. ruch statków, klęski żywiołowe, zanieczyszczenia wody), dla innych z kolei (takich jak wilgotność gleby) wystarczy termin kilku dni od momentu ich rejestracji przez satelitę.

● Satelita i jego orbita

Envisat to największy zbudowany dotychczas satelita tele-detekcyjny. Rozmiarami zbliżony jest do dużego samochodu ciężarowego (10 m x 4 m x 4 m z panelami baterii słonecznej

i ze zwiniętą anteną radarową oraz 25 m x 7 m x 10 m z rozwinętą anteną). Waga satelity w momencie startu wynosi 8200 kg. Okres działania planowany jest na 5 lat, jednakże można spodziewać się znacznego przekroczenia tego limitu, podobnie jak w przypadku satelitów serii ERS.

Envisat porusza się na wysokości około 800 km po orbicie bliskobiegunowej zsynchronizowanej z położeniem Słońca. Cykl powtórnego przelotu nad tym samym obszarem kuli ziemskiej wynosi 35 dni, a więc tyle samo, co w przypadku satelitów ERS. Dla większości instrumentów, obejmujących szeroki pas obserwowania, można otrzymać pełne pokrycie globalne w ciągu 1-3 dni.

● Infrastruktura naziemna

Misja Envisat wymagała zbudowania specjalnej infrastruktury naziemnej niezbędnej do kontroli lotu satelity oraz do odbioru, przechowywania i przekazywania danych.

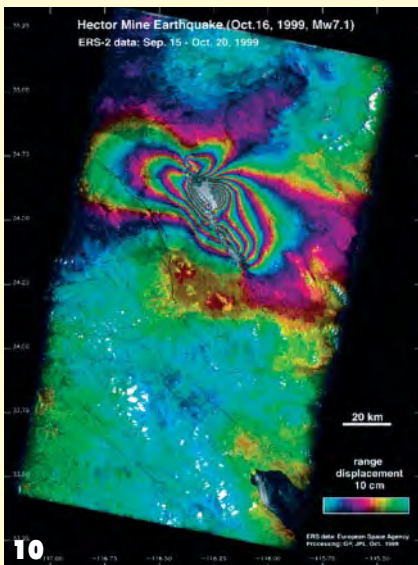
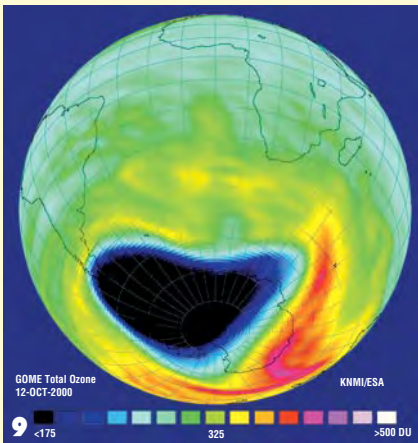
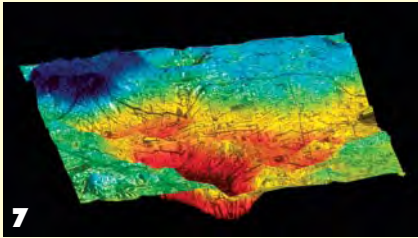
Liczba okrążeń Ziemi w ciągu doby	14 i 11/35
Długość cyklu	35 dni
Liczba okrążeń Ziemi w cyklu	501
Czas 1 okrążenia Ziemi	100,59 min
Godzina przelotu nad terenem	10 ⁰⁰ (czasu lokalnego)
Nachylenie orbity	98,55°
Promień orbity	7159,5 km
Szybkość przelotu na orbicie	7,45 km/s
Średnia wysokość orbity	799,8 km
Przedział zmian wysokości orbity	720-820 km
Przewiduje się, że odchylenia od nominalnej orbity nie przekroczą 1 kilometra. Satelita wyposażony jest w specjalne urządzenia umożliwiające korektę jego orbity	
Parametry orbity satelity Envisat	

Za kontrolę lotu satelity oraz działania poszczególnych urządzeń odpowiedzialne jest Centrum Operacji Kosmicznych ESA (ESOC) w Darmstadt w Niemczech. Pierwszym z tych zadań zajmuje się segment operacji lotu (FOS – Flight Operation Segment), który zarządza całą misją. Dane zbierane i przekazywane przez satelitę będą odbierane przez stacje naziemne w Kirunie (Szwecja) i w Fucino (Włochy) oraz przez satelitarny system przekazywania danych ARTEMIS. Satelita ARTEMIS Europejskiej

	ASAR	MERIS	AATSR	RA-2	MWR	GOMOS	MIPAS	SCIA	LR	DORIS
Lądy										
Temperatura powietrza			(x)		(x)					
Roślinność	x	x								
Rolnictwo i leśnictwo	x	(x)	(x)							
Hydrologia	x	x	x	(x)	(x)					
Powodzie	x									
Požary			x							
Rzeźba terenu	x		x	x					x	x
Oceany										
Kolor wody		x								
Temperatura powierzchni			x							
Topografia powierzchni				x					x	x
Mętność wody		x								
Charakterystyka fal	x			x						
Wiatry powierzchniowe	x			x						
Geoida				x						
Dynamika brzegów	x	x								
Zanieczyszczenia ropą	x									
Lody i śniegi										
Zasięg	x	x		x	(x)					
Ruch lodów	x	x		x						
Temperatura			x							
Topografia	x			x					x	x
Dynamika lodów	x	x		x	(x)					
Atmosfera										
Zachmurzenie		x	x				x	x		
Wilgotność		x	x		x	x	x			
Radiacja		x			x	(x)	(x)	(x)		
Temperatura		x				x	x	x		
Gazy śladowe						x	x	x		
Aerozole		x	x			x	x	x		

x – instrument zasadniczy, (x) – instrument pomocniczy

Instrumenty na pokładzie satelity Envisat i ich potencjalne zastosowania



Agencji Kosmicznej oraz urządzenia pokładowe umożliwiają rejestrowanie i przekazywanie wszystkich danych generowanych przez instrumenty satelity Envisat na obszarze całego globu ziemskiego. Pokładowe urządzenia rejestrujące umożliwiają przechowanie 160 GB, co wystarcza do rejestracji zobrażeń radarowych SAR obszaru o powierzchni 1,6 mln km² oraz danych z jednego okrążenia zarejestrowanych przez wszystkie urządzenia pokładowe.

Drugą część składową infrastruktury naziemnej stanowi segment danych (PDS – Payload Data Segment), który obejmuje całość problemów związanych z odbiorem danych, ich przetwarzaniem, archiwizacją oraz dystrybucją. Centra istniejące tworzące PDS są koordynowane przez Centrum Kontroli Danych (PDCC – Payload Data Control Centre) zlokalizowane w ESRIN – Frascati we Włoszech. Zarówno stacja odbiorcza w Kirunie, jak i w Fucino może otrzymać dane zarejestrowane przez urządzenia pokładowe satelity z siedmiu kolejnych okrążeń.

● Droga do Kourou

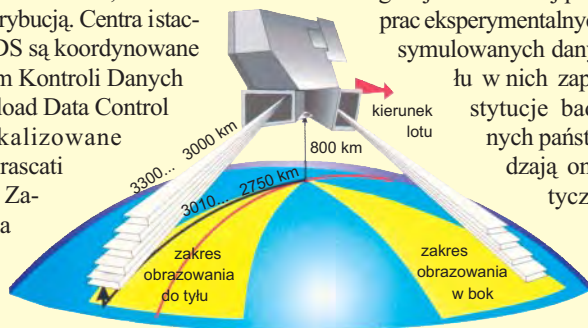
W maju 2001 roku zakończono wszystkie prace związane z ostateczną konfiguracją i testowaniem urządzeń systemu Envisat. Satelita został podzielony na dwie części i przetransportowany w potężnych kontenerach zawierających moduł zasadniczy i serwisowy. Kontenery te zostały załadowane na pokład samolotu Antonov 124, który okazał się jedynym mogącym przetransportować tak olbrzymi ładunek. Samolot wystartował z Schiphol w Amsterdamzie i szczęśliwie wylądował w porcie lotniczym ESA w Kourou w Gujanie Francuskiej. Tam dokonano ponownego połączenia części składowych. Pozostały sprzęt i aparatura naziemna ważące około 400 ton zostały przetransportowane statkiem oraz dwoma samolotami Boeing 747.

Wybrane zastosowania wyników misji Envisat: 7. ASAR umożliwia pomiar zmian powierzchni Ziemi zachodzących z prędkością 1 mm/rok. Na ilustracji milimetrowe przemieszczenia w Kalifornii; 8. Model 3D terenu w zachodnich Chinach zbudowany z danych SRTM przez DLR; 9. Zawartość ozonu w atmosferze zmierzy GOMOS; 10. Skutki trzęsienia ziemi w Los Angeles w 1999 r. Widoczne przesunięcia zarejestrowane przez satelitę ERS

Początkowe plany przewidywały umieszczenie satelity Envisat na orbicie w lipcu 2001 roku. Jednak z uwagi na niekorzystne wiatry panujące w tym okresie, zdecydowano przesunąć start na 1 marca 2002 roku. W grudniu 2001 roku przeprowadzono kontrolne badanie wszystkich urządzeń systemu i przystąpiono do ostatecznej fazy przygotowań do umieszczenia satelity na orbicie.

● Symulacje programów teledetekcyjnych

Realizację każdego programu Europejskiej Agencji Kosmicznej poprzedza szereg prac eksperymentalnych dotyczących symulowanych danych. Do udziału w nich zapraszane są instytucje badawcze z różnych państw. Przeprowadzają one badania dotyczące wykorzystania danych rejestrowanych przez satelitę teledetekcyjną



6. Geometria obrazowania instrumentu MIFAS

ESA dla różnych potrzeb badawczych i aplikacyjnych. Na przykład na specjalnym sympozjum zorganizowanym w październiku 2000 roku w Göteborgu w Szwecji przedstawiono 460 referatów podsumowujących pierwsze wyniki badań nad wykorzystaniem danych, które uzyskane zostaną z tego satelity. Po umieszczeniu satelity na orbicie pierwsze materiały do prac badawczych otrzymują instytucje, które zadeklarowały udział w programach badawczych ogłoszonych przez ESA.

Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie, który od wielu lat współpracuje z ESA, uczestniczył w kilku projektach pilotowych związanych z programem ERS. W przypadku programu Envisat realizuje projekt AO-ID: 122, który dotyczy wykorzystania danych zarejestrowanych przez 3 systemy działające na satelicie Envisat: ASAR, MERIS i AATSR. Posłużą one do badania unikalnych ekosystemów na terenach bagien i torfowisk w Polsce i we Francji. W Polsce obszarem badawczym jest Biebrzański Park Narodowy, a we Francji tereny zalewowe w Alzacji. Celem tych badań jest określenie zmian ekosystemu na tych obszarach na skutek degradacji środowiska, m.in. poprzez osuszenie terenów podmokłych.

Prof. **Adam Linsenbarth** jest dyrektorem IGiK. Wszystkie ilustracje pochodzą z materiałów ESA