

Polska Akademia Nauk

Komitet ds. Badań Kosmicznych i Satelitarnych

Biuro ds. Przestrzeni Kosmicznej

**STRATEGIA DZIAŁAŃ W POLSCE DOTYCZĄCYCH
PRZESTRZENI KOSMICZNEJ W WARUNKACH
CZŁONKOSTWA W UNII EUROPEJSKIEJ**

Ekspertyza przygotowana przez zespół autorów:

***M. Banaszkiewicz, S. Białousz, J. Błęcki, B. Buszke, A. Ciołkosz,
S. Grzędzielski, Z. Krawczyk, J. Modelski, A. Nałęcz-Kobierzycka,
S. Oszczak, B. Popielawska, J. Ryzenko, P. Struzik, E. Wnuk,
A.A. Zdziarski, J.B. Zieliński,***

z wykorzystaniem dyskusji na forum Komitetu i jego Komisji.

Redakcja końcowa: Janusz B. Zieliński

**WARSZAWA
Listopad 2003**

Spis rzeczy

I. Część przeglądowa

I. 1. Wprowadzenie	3
I. 2. Uwarunkowania polityczne	3
I. 3. Uwarunkowania finansowe	5
I. 4. Uwarunkowania naukowe i techniczne	6
I. 5. Program naukowy	7
I. 6. Program zastosowań	9
I. 7. Możliwości rozwoju techniki kosmicznej	11
I. 8. Program edukacyjny	12
I. 9. Wnioski	12

II. Część szczegółowa

II. 1. <i>Andrzej A. Zdziarski</i> - Badania astrofizyczne z wykorzystaniem techniki kosmicznej w Polsce do 2010 r.	15
II. 2. <i>Marek Banaszkiewicz</i> - Ekspertyza dotycząca badań układu słonecznego i rozwoju technologii	19
II. 3. <i>Stanisław Grzędzielski</i> – Ekspertyza dotycząca fizyki plazmy kosmicznej	31
II. 4. <i>Jan Błęcki, Jan Hanasz, Barbara Popielawska</i> – Uwagi w sprawie badań plazmy kosmicznej	34
II. 5. <i>Edwin Wnuk</i> - Naturalne i sztuczne obiekty w przestrzeni wokółziemskiej	38
II. 6. <i>Janusz B. Zieliński</i> - Kierunki rozwoju geodezji satelitarnej	44
II. 7. <i>Andrzej Ciołkosz, Stanisław Białousz, Piotr Struzik</i> - Teledetekcja satelitarna	50
II. 8. <i>Zygmunt Krawczyk</i> – Telekomunikacja satelitarna	58
II. 9. <i>Józef Modelski</i> – Perspektywy rozwoju systemów łączności satelitarnej	62
II.10. <i>Stanisław Oszczak</i> -Perspektywy rozwoju nawigacji satelitarnej w Polsce	77
II.11. <i>Bartosz Buszke</i> - Wstępna ocena potencjalnych możliwości polskich przedsiębiorstw w zakresie uzyskiwania kontraktów Europejskiej Agencji Kosmicznej	84
II.12. <i>Jan Błęcki</i> - Założenia dotyczące wprowadzenia do nowego programu nauczania w gimnazjach i liceach wiedzy związanej z badaniami kosmicznymi i ich wykorzystaniem	88
II.13. <i>Jakub Ryzenko</i> – Informacja o Europejskiej Agencji Kosmicznej	101
II.14. <i>Anna Nałęcz - Kobierzycka</i> – Polityka kosmiczna Unii Europejskiej	108

I. CZĘŚĆ PRZEGLĄDOWA

1. Wprowadzenie

Proces integracji Polski w ramach Unii Europejskiej wymaga nowego spojrzenia na większość obszarów życia i organizacji społecznej w Polsce, w tym życia naukowego, a tym bardziej obszaru badań kosmicznych i zastosowania techniki kosmicznej. Istnieją jednak powody aby zająć się tematem kosmosu także niezależnie od akcesji do UE. Od strony badań naukowych sygnalizowana jest potrzeba zapewnienia dostępu do przestrzeni kosmicznej i międzynarodowych programów, dzięki którym realizuje się front poznania naukowego. Od strony praktycznej - postępująca komercjalizacja i prywatyzacja przestrzeni kosmicznej wciąga w swój nurt gospodarki krajów o różnym stopniu rozwoju, w tym polską. Pojawiają się nowe możliwości i nowe zagrożenia, wobec których rządy nie mogą pozostawać obojętne.

Badania przestrzeni kosmicznej i wykorzystanie techniki kosmicznej są istotnymi elementami realizacji idei *gospodarki opartej na wiedzy*. W Polsce działalność ta ma wieloletnią tradycję, bazującą na wcześniejszych tradycjach naukowych astronomii i technicznych lotnictwa. Aktualny potencjał jest skromny w wymiarze liczbowym ale legitymujący się osiągnięciami i uznaniem międzynarodowym.

Proponowana strategia zmierza do osiągnięcia następujących celów:

- 1. Dostosowanie się do polityki Unii Europejskiej w dziedzinie kosmicznej;**
- 2. Zajęcie właściwego miejsca wśród krajów wspólnoty europejskiej w dziedzinie badania i wykorzystania przestrzeni kosmicznej.**
- 3. Wykorzystanie systemów satelitarnych dla dobra społeczeństwa i służb państwowych;**
- 4. Umożliwienie polskim firmom działania na międzynarodowym rynku techniki kosmicznej;**

Niniejszy dokument zawiera próbę oceny potrzeb i możliwości naszego kraju oraz przedstawia zbiór proponowanych działań, zmierzających do osiągnięcia strategicznych celów programu z horyzontem czasowym ok. roku 2010. Propozycje działań odnoszą się przede wszystkim do administracji państwowej różnych szczebli, zakłada się jednocześnie, że organizmy gospodarcze - włącznie z jednostkami badawczymi i badawczo-rozwojowymi - reagować będą konstruktywnie na stwarzane warunki i bodźce ekonomiczne. Przyjmuje się 2004 jako rok przystąpienia do Unii. Zakłada się również racjonalny scenariusz wzrostu dochodu narodowego jako podstawę do formułowania postulatów o nakłady finansowe. W świetle realistycznie ocenionych możliwości oraz wyartykułowanych potrzeb programu ocenione są nakłady z budżetu państwa. Oceniona jest również wartość pożądanых i możliwych inwestycji pochodzących z sektora prywatnego.

2. Uwarunkowania polityczne.

Istotnym czynnikiem jest istnienie Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA), organizacji dominującej w tym zakresie wśród krajów UE, należącej do grupy organizacji tworzących tzw. Wspólnotę Europejską. Członkami ESA jest większość państw starej 15-ki Unii Europejskiej z wyjątkiem Grecji i Luksemburga, a także Szwajcaria i Norwegia.

Historia rozwoju ESA pokazuje, iż dołączają do niej kraje, które początkowo były mniej zaangażowane w programy kosmiczne. Są one motywowane z jednej strony względami praktycznymi, tj. zastosowaniami systemów kosmicznych i uczestnictwem w rynku techniki kosmicznej, z drugiej strony istnieje również motywacja natury prestiżowo - politycznej, związana z tym, że kraj aktywny kosmicznie jest wyżej oceniany w gremiach politycznych i gospodarczych, łatwiej promuje swój dorobek i ma lepszy kontakt z bardziej rozwiniętą częścią świata. Owocuje to wzrostem konkurencyjności tych krajów, a w efekcie wzrostem gospodarczym i przyrostem miejsc pracy.

Badania przestrzeni kosmicznej realizowane przez Agencję uważane są za stojące na wyjątkowo wysokim poziomie, a w niektórych dziedzinach uzyskiwane wyniki uchodzą wręcz za najlepsze na świecie. Zajmuje się ona również rozwijaniem zastosowań techniki kosmicznej takich jak łączność, teledetekcja, nawigacja satelitarna, etc.. Ważnym zadaniem Agencji jest także rozwijanie rodziny europejskich rakiet nośnych, jako że posiadanie własnego systemu wynoszenia stanowi czynnik decydujący o możliwości realizacji samodzielnego i niezależnego programu kosmicznego.

Bardzo ważną zasadą, na której opiera się działalność ESA jest lokowanie kontraktów w przemyśle europejskim oraz takie rozdzielanie kontraktów, aby do przedsiębiorstw danego państwa trafiały kontrakty o wartości równej jego wkładowi do budżetu Agencji. Rzecz jasna nie jest możliwe zapewnienie idealnej równowagi, ale Agencji udaje się utrzymywać stopę zwrotu na poziomie 90%, tzn. każde państwo otrzymuje w postaci kontraktów równowartość co najmniej 90% swej składki (zasada *geographical return*).

Współpraca Polski z Agencją rozwinęła się w początku lat 90-tych. W 1994 podpisano pierwsze formalne porozumienie o współpracy. Umowa zawarta 24 stycznia 2002 w poszerza zakres tej współpracy i otwiera perspektywę ściślejszej integracji. Niestety z przyczyn leżących po stronie polskiej biurokracji umowa ta nie jest właściwie realizowana.

W roku 2001 ESA przedstawiła propozycje stopniowego przyjmowania do swego grona nowych państw, kandydujących obecnie do UE, pod nazwą *Programme for European Cooperating States (PECS)*. Propozycja ta przewiduje stopniowe dochodzenie do pełnego członkostwa i opłacania pełnej składki, w miarę wzrostu potencjału danego kraju, umożliwiającego wykonywanie kontraktów.

Przystąpienie Polski do ESA z wykorzystaniem mechanizmu PECS jest logicznym politycznie krokiem w drodze do integracji europejskiej. Jest to jednocześnie jedyne możliwe rozwiązanie zabezpieczające nasze interesy finansowe.

Również w łonie Komisji Europejskiej wzrasta poczucie politycznej i ekonomicznej wagi działalności kosmicznej, zwłaszcza w kontekście wyścigu technologicznego ze Stanami Zjednoczonymi i krajami dalekiego wschodu. Przeprowadzono szereg studiów i dyskusji, które doprowadziły do sformułowania oficjalnych dokumentów, a mianowicie: Europejskiej Strategii Kosmicznej (*European Strategy for Space*), Zielonej Księgi Europejskiej Polityki Kosmicznej (*Green Paper European Space Policy*) i wreszcie zapis w projekcie Traktatu Konstytucyjnego UE, Art. III 155, stwierdzający ... Unia ustanawia europejską politykę kosmiczną. Dokumenty te muszą być uwzględnione przy definiowaniu programu dla Polski.

Unia Europejska i ESA to w sensie prawnym dwie odrębne organizacje. Na obecnym etapie jesteśmy świadkami procesu zbliżenia między nimi, wyrażającego się podejmowaniem wspólnych projektów wielkiej skali jak Galileo i GMES. Skutkuje to zaangażowaniem pieniędzy unijnych w takie projekty, w tym pieniędzy wpłacanych w przyszłości przez Polskę. Jesteśmy więc zainteresowani wytworzeniem mechanizmów umożliwiających zwrotne korzystanie z tych pieniędzy, gdyż prawo unijne – odróżnieniu od ESA - nie przewiduje zasady *geographical return*.

Inną platformą międzynarodową, na której następują kontakty i interakcja w sprawach kosmicznych, jest Organizacja Narodów Zjednoczonych, a w szczególności jej Komitet ds. Pokojowego Wykorzystania Przestrzeni Kosmicznej COPUOS. Działa on oczywiście w skali

globalnej i dominują w nim akcenty polityczne, pojawiają się wszakże również interesujące inicjatywy techniczne. Pod egidą ONZ działają Międzynarodowa Unia Telekomunikacyjna ITU i Światowa Organizacja Meteorologii. Pierwsza z nich koordynuje, a praktycznie rozstrzyga o dostępie do orbity geostacjonarnej dla satelitów telekomunikacyjnych, druga koordynuje prace systemów meteorologicznych.

Z niektórymi krajami, w tym USA, Niemcy, Włochy, Francja, Rosja i Ukraina - istnieje współpraca dwustronna, która powinna być kontynuowana.

3. Uwarunkowania finansowe.

W Polsce finansowanie badań kosmicznych od lat dokonuje się z wielkimi oporami. Po przemianach ustrojowych na początku lat 90-tych sytuacja uległa jeszcze pogorszeniu. Kierunek ten został potraktowany jako służący głównie problemom badawczym, a jednocześnie kosztowny, nie wart więc szerszego wspierania. Spowodowało to uwiad niektórych niezłe zapowiadających się kierunków badawczych (mikrograwitacja, medycyna kosmiczna). Jednocześnie w kraju nastąpiła degradacja przemysłów lotniczego i elektronicznego, które gdzie indziej stanowią bazę dla rozwoju techniki kosmicznej. Zespoły które pozostały i utrzymały swoje zdolności badawcze funkcjonują obecnie dzięki wsparciu Komitetu Badań Naukowych. Sumaryczna wysokość nakładów przeznaczona na tę tematykę może być oceniona na ok. 10 mln zł rocznie.

Kierując się filozofią *gospodarki opartej na wiedzy* nie można zostawić sprawy w tym stanie. Posługując się przykładem Irlandii i Hiszpanii łatwo dojść do wniosku, że finansowanie badań kosmicznych należy do najbardziej obiecujących inwestycji naukowych, jakie może czynić budżet państwa. Hiszpania obecnie wpłaca ponad 90 mln. EURO do ESA i realizuje program krajowy w wysokości ok. 20 mln EURO, co daje łącznie 110 mln. EURO na działalność kosmiczną (dane za rok 2000). Nie uwzględnione są wydatki na cele obronne. Proporcja PKB Hiszpanii i Polski wynosi ok. 3.5 : 1.

Składka polska do Unii Europejskiej wynosi ok. 2.5% budżetu tej ostatniej. Rząd polski spodziewa się pozyskania sum większych, związanych z pomocą dla rolnictwa, infrastruktury i ochrony środowiska i nie przewiduje sytuacji, w której Polska miałaby być płatnikiem netto. Jednakże dochodzą już głosy o projektowanych zmianach struktury budżetu Unii po roku 2007, gdzie na czoło ma się wysunąć finansowanie programu lizbońskiego, czyli rozwój zaawansowanej technologii. W tym programie działalność kosmiczna będzie stanowiła znaczącą część. Polska nie uzyska finansowania z tego programu jeśli będzie pasywna w badaniach i rozwoju, a w tym i w badaniach kosmicznych. Zakładając, że inwestycje Unii na kosmos będą tego rzędu, ile wynosi obecnie budżet ESA, a więc ok. 3 mld EURO rocznie, **chcąc nie chcąc będziemy tę działalność finansować w wysokości ok. 75 mln EURO • 350 mln zł. rocznie.**

Powstaje istotne pytanie: co zrobić, aby te pieniądze szły nie na rozwój przemysłu kosmicznego Europy - czytaj Niemiec, Francji, Włoch i Wielkiej Brytanii - lecz Polski? Jedynym sposobem na częściowe choćby wykorzystanie tych pieniędzy jest włączenie Polski do klubu kosmicznego Europy, a to możliwe jest tylko przez przystąpienie do ESA.

W przypadku Polski rozważamy perspektywę roku 2010, a więc kilka lat po wejściu do Unii Europejskiej. Postuluje się, aby w tym czasie Polska uzyskała podobny poziom nakładów na tematykę kosmiczną co Hiszpania w r. 2000, uwzględniając proporcje w dochodzie narodowym. **Dawaloby to docelowo w r. 2010 ok. 31,5 mln EURO rocznie**, co wymagałoby wzrostu o czynnik 12 w stosunku do stanu obecnego.

Jednakże znaczna część tej sumy to koszty związane z inwestycjami i utrzymaniem systemów satelitarnych działających w dziedzinie nawigacji, ochrony środowiska,

meteorologii, rolnictwa i in. oraz wsparcie zamówieniami nowoczesnego przemysłu, a za tym nie powinna pochodzić z budżetu nauki, lecz innych źródeł. Dlatego byłoby zasadne wykorzystanie różnych kanałów finansowania, nie tylko tych wspieranych przez Ministerstwo Nauki.

Koszt członkostwa w ESA

Minimalna składka dla Polski, wyliczona na podstawie proporcji PKB będzie wynosić ok. 5 mln.EURO. Zapewnia ona udział tylko w programach obligatoryjnych, nie jest więc optymalna z punktu widzenia kraju. Dlatego należy przewidywać docelową składkę na poziomie 10 mln EURO, co pozwoli na udział w programach technologicznych. Jednakże, przystąpienie do programu PECS umożliwia znaczące obniżenie bariery finansowej na początku, do poziomu 1 mln. EURO. Wobec tego można założyć następujący scenariusz narastania kosztu udziału w ESA: rok 2005 - 1mln EURO, 2006 - 2 mln EURO, 2007 – 4 mln EURO, 2008 - 6 mln EURO, 2009 - 8 mln EURO, 2010 – 10 mln EURO.

Przypomnijmy raz jeszcze, że wpłaty te **wracają do kraju** zgodnie z zasadą *geographical return*.

Koszt udziału w 6-tym Programie Ramowym

Jednocześnie warto zauważyć, że składka Polski do 6-tego Programu Ramowego wynosi 160 mln EURO, co stanowi mniej więcej 1% całego budżetu tego programu. Ponieważ nakłady na temat "Space" wynoszą 250 mln EURO, to 1% tej sumy po odzyskaniu dałby 2.5 mln EURO = 11.5 mln zł.

Pewna część finansowania może być także uzyskana w ramach programów spójności i strukturalnych UE. Opłata składki nie powinna jednak obciążać normalnego budżetu Ministerstwa Nauki, lecz być włączona do funduszy celowych integracji europejskiej. Prognozując znaczący wzrost całości nakładów w Polsce na badania i rozwój postuluje się docelowo na rok 2010 następujące proporcje:

Z budżetu KBN / Min. Nauki	25 mln zł
Z budżetu integracji europejskiej (składka do ESA i Eumetsat)	50 mln zł
Odzysk z funduszy UE	40 mln zł
Inwestycje sektora prywatnego	10 mln zł

Optymalną formą zarządzania tymi środkami byłby specjalny Program Rządowy.

4. Uwarunkowania naukowe i techniczne.

Możliwości uprawiania działalności kosmicznej w Polsce limitowane są stanem kadry, jej kwalifikacji i zaplecza technicznego oraz struktur organizacyjnych.

W Polsce badania kosmiczne w zakresie poznawczym i zastosowań systemów satelitarnych realizowane są pełnym potencjałem kadrowym przez Centrum Badań Kosmicznych PAN (100 osób), zaś w części przez Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN (10 osób), Instytut Geodezji i Kartografii – Ministerstwo Infrastruktury (20 osób), Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Ministerstwo Środowiska (10 osób) oraz kilkusobowe grupy badawcze instytutów i laboratoriów Uniwersytetów: Wrocławskiego, Warszawskiego, Mazursko-Warmińskiego, Szczecińskiego, Śląskiego, Gdańskiego, UMCS, AGH, Akademia Rolnicza we Wrocławiu, a także Politechniki Warszawskiej i Wrocławskiej

oraz wybranych instytutów wojskowych. Łącznie w programy te zaangażowanych jest około 200 pracowników naukowych, inżynierów i techników.

Centrum Badań Kosmicznych PAN posiada laboratoria i zaplecze techniczne pozwalające na budowę aparatury naukowej umieszczanej na obiektach kosmicznych. To samo Centrum ma w swym składzie Obserwatorium Astrogeodynamiczne, gdzie prowadzone są precyzyjne obserwacje sztucznych satelitów dla celów geodezyjnych. Stacje obserwacji GPS posiadają ponadto 4 z w/w wyższych uczelni oraz IGiK.

W roku 2002 stacjami odbioru obrazów satelitarnych dysponowały:

- Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - satelity NOAA, Meteosat.
- Instytut Geodezji i Kartografii – satelity NOAA
- Instytut Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego – satelity NOAA i OrbView-2
- Instytut Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego – satelity NOAA i OrbView-2
- Instytut Badawczy Leśnictwa w Sękocinie – satelity NOAA
- Zakład Meteorologii i Klimatologii UMCS – satelity NOAA
- Katedra Klimatologii Uniwersytetu Śląskiego – satelity NOAA

Działalność komercyjną w zakresie systemów satelitarnych rozwija na polskim rynku szereg małych i średnich firm. Obejmuje to obrazowanie satelitarne, GIS oraz telekomunikację.

5. Program naukowy.

Badania kosmiczne często przedstawiane są jako triada zawierająca: badania obiektów i przestrzeni pozaziemskiej, badania Ziemi z kosmosu oraz badania prowadzone w orbitującym laboratorium kosmicznym. Program europejski, traktowany jako suma programów narodowych i ESA, zmierza do pokrycia całego tego obszaru badań. Oczywiście Polska nie musi tak dalece rozszerzać swych aspiracji. Powinny natomiast być uprawiane te kierunki, w których istnieje już dorobek, kadra i zaplecze techniczne.

Badania naukowe w Polsce, związane z przestrzenią kosmiczną, rozwinęły się w następujących obszarach:

1. Astrofizyka satelitarna, obejmująca badania obiektów poza Układem Słonecznym;

Udział w kosmicznych badaniach astrofizycznych jest bardzo ważny dla polskiej nauki, a w szczególności astrofizyki. Polska astrofizyka posiada bardzo znaczącą pozycję na świecie, jedną z najwyższych wśród dziedzin polskiej nauki. Wybór właśnie badań astrofizycznych spośród różnych możliwości udziału w projektach kosmicznych zapewnia zarówno odpowiednio wysoką pozycję Polski na etapie przygotowywania projektu, jak też wysoki stopień naukowego wykorzystania otrzymanych wyników.

Głównym dotychczasowym doświadczeniem w dziedzinie astrofizyki w Polsce jest udział w projekcie Europejskiej Agencji Kosmicznej INTEGRAL, polegającym na badaniach w promieniach rentgenowskich i gamma..

Proponuje się udział Polski w następujących projektach ESA: Herschel, Planck oraz XEUS (X-ray Evolving Universe Spectroscopy). Satelity Herschel oraz Planck są już w trakcie budowy i zostaną wspólnie wystrzelone przez ракетę Ariane 5 w 2007 r. Obecnie trwa projektowanie satelity XEUS. (Zob. rozdz. II.1. A.A.Zdziarski: Badania astrofizyczne z wykorzystaniem techniki kosmicznej w Polsce do roku 2010.)

2. Heliofizyka czyli badania Słońca;

Aktualnie polska aparatura pracuje na pokładzie rosyjskiego satelity CORONAS. Dostarcza ona wartościowe dane z zakresu promieniowania XUV. Prowadzone są również prace wykorzystujące dane z innych eksperymentów kosmicznych. Nie przewiduje się w najbliższym czasie polskiego udziału w nowych misjach kosmicznych badających Słońce.

3. Badania planet i małych ciał Układu Słonecznego;

W drodze do Saturna, na pokładzie sondy Cassini, wspólnej misji NASA i ESA, znajduje się próbnik Huygens, zawierający zbudowany w CBK PAN czujnik pomiaru temperatury i przewodnictwa cieplnego. Próbnik ten wyląduje w r. 2005 na powierzchni Tytana, największego księżyca Saturna i pozwoli zbadać parametry lokalnego środowiska.

W kierunku Marsa zmierza wysłana przez ESA sonda Mars Express, na pokładzie której znajduje się przyrząd PFS do badania atmosfery Marsa. Ważny element tego przyrządu – skaner – wykonany został w CBK PAN.

Na wyniesienie w przestrzeń w kierunku komety oczekuje sonda Rosetta, będąca także misją ESA. Sonda zawiera skonstruowany w CBK PAN penetrator powierzchni komety. Jego zadaniem jest pobranie i analiza próbek gruntu komety.

Projekty na przyszłość to udział w misjach programu ESA: misji do Merkurego BepiColombo (ok. 2009), misji do Wenus – Venus Express.

Ponadto prowadzone są badania planet i małych ciał Układu Słonecznego oparte na obserwacjach naziemnych lub danych z innych misji kosmicznych, a także badania populacji sztucznych obiektów kosmicznych stanowiących zanieczyszczenie przestrzeni kosmicznej. (Zob. rozdz. II.2. M. Banaszkiewicz „Ekspertyza cząstkowa dotycząca badań układu słonecznego i rozwoju technologii”, i rozdz. II.5. E. Wnuk „Naturalne i sztuczne obiekty w przestrzeni wokółziemskiej”)

4. Badania zjawisk zachodzących w plazmie kosmicznej w przestrzeni międzyplanetarnej i okołoziemskiej;

Badania plazmy w bliższej i dalszej przestrzeni kosmicznej stanowiły swego rodzaju polską specjalność w kosmosie. Rozpoczęte jeszcze w r. 1973 z pokładu satelity Interkosmos Kopernik-500, kontynuowane w ramach wielu innych eksperymentów, z których ostatnim najważniejszym był wystrzelony w r. 1998 rosyjski Interball, obecnie prowadzone są głównie w sposób teoretyczny przy wykorzystaniu danych innych misji. W przygotowaniu jest jeszcze aparatura do misji Demeter, organizowanej przez francuską agencję kosmiczną CNES. (Zob. rozdz. II.3. S. Grzędzielski „Ekspertyza dotycząca fizyki plazmy kosmicznej” i rozdz. II.4. B. Popielawska – „Uwagi w sprawie badań plazmy kosmicznej”).

5. Badania Ziemi metodami geodezji satelitarnej;

Badania naukowe w tej dziedzinie prowadzone są głównie w oparciu o pracę sieci obserwatoriów sztucznych satelitów, prowadzoną przez instytuty i wyższe uczelnie. Mają one za zadanie zbieranie danych do badań dynamiki globu ziemskiego i jej orientacji w przestrzeni, prowadzonych pod egidą Międzynarodowej Asocjacji Geodezyjnej. Sieć podstawowych stacji obserwacyjnych przedstawia się następująco:

- Centrum Badań Kosmicznych PAN – Obserwatorium w Borowcu^{1), 2)};
- Politechnika Warszawska - Obserwatorium w Józefosławiu^{1), 2)};
- Uniwersytet Warmii i Mazur - Obserwatorium w LamkóWKu^{1), 2)};

- Instytut Geodezji i Kartografii - Obserwatorium w Borowej Górze²⁾;
- Uniwersytet Wrocławski - stacja we Wrocławiu²⁾.

Obserwatoria te działają w sieci IGS¹⁾ oraz europejskiej sieci EUREF²⁾.

Działalności obserwacyjnej towarzyszy obszerna działalność teoretyczna i analityczna w zakresie geodynamiki i podstawowych układów współrzędnych. (Zob. rozdz. II.6. J.B.Zieliński „Kierunki rozwoju geodezji satelitarnej”).

6. Badania Ziemi metodami teledetekcji.

Prace badawcze w zakresie teledetekcji ogniskują się wokół metod wykorzystania i interpretacji danych uzyskanych z czujników umieszczonych na satelitach oraz tworzenia modeli zjawisk, których te dane dotyczą. Należy tu wymienić tworzenie map zanieczyszczeń środowiska, stanu lasów, wilgotności gleb, dokumentacji powodzi itp. oraz modeli synoptycznych dla prognoz pogody. Dane do tworzenia tych modeli pochodzą z satelitów europejskich (Meteosat, ERS-1, -2, -3, Envisat) i amerykańskich, jednak przy interpretacji danych trzeba polegać przede wszystkim na siłach własnych. Towarzyszy temu komplementarny program pozyskiwania danych technikami naziemnymi, głównie dla potrzeb kalibracji informacji satelitarnej oraz zdjęć lotniczych w rejonach szczególnego zainteresowania. Badania prowadzone są najintensywniej w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej (w zakresie meteorologii), Instytucie Geodezji i Kartografii, a także w wyższych uczelniach. (Zob. rozdz. II.7. A. Ciołkosz, S. Białousz, P. Struzik „Teledetekcja satelitarna”).

Dobrym punktem wyjściowym mógłby być również projekt budowy polskiego mini-satelity na niskiej orbicie do obserwacji Ziemi, w ramach współpracy z komercyjnymi firmami zachodnimi, i związany z tym transfer technologii kosmicznych.

Z ubolewaniem trzeba stwierdzić, że zaniknęły nieźle rozwijające się wcześniej kierunki badawcze związane z wykorzystaniem mikrograwitacji, a mianowicie biologia i medycyna kosmiczna oraz badania materiałowe w przestrzeni kosmicznej. Mikrograwitacja pozostała w niektórych projektach realizowanych przez studentów.

6. Program zastosowań.

Wśród zastosowań techniki kosmicznej na czoło wysuwa się niewątpliwie telekomunikacja, która jednocześnie jest obszarem największych inwestycji firm prywatnych w technikę kosmiczną. W Europie badania rozwojowe w tej dziedzinie są jednak nadal prowadzone w oparciu o fundusze publiczne, w tym w ramach programu ESA. W Polsce był przygotowywany swego czasu projekt narodowego satelity telekomunikacyjnego POLSTAR, nie doczekał się on jednak realizacji. Obecnie istnieje na rynku światowym nadmiar mocy transmisji próby wejścia na ten rynek przez nowego operatora są skazane na niepowodzenie. Należy też zauważyć, że Polska, poprzez swego operatora narodowego jakim była TPSA była współdziałowcem konsorcjum Eutelsat. Po prywatyzacji TPSA i przejęciu nad nią kontroli przez kapitał francuski, a także po komercjalizacji Eutelsat nie ma w Polsce organizacji dostatecznie silnej i zainteresowanej w programie narodowym.

Tym nie mniej, w zakresie społecznego wykorzystania telekomunikacji satelitarnej jest wiele do zrobienia. Z wielu poważnych oświadczeń władz Rzeczypospolitej Polskiej wynika tendencja wspierania rozwoju systemów telekomunikacyjnych prowadząca do realizacji wizji społeczeństwa informacyjnego. Szczególny nacisk ma być położony na rozwój

szerokopasmowych sieci transmisji informacji łączących szkoły i ośrodki edukacyjne zarówno w dużych miastach ale również na prowincji. O ile w dużych aglomeracjach miejskich budowa takich sieci w oparciu o infrastrukturę światłowodową oraz przewodów miedzianych jest w pełni uzasadniona ekonomicznie, natomiast jest to nierealne w odniesieniu do ośrodków mniejszych i obszarów wiejskich. W takiej sytuacji jedynym pewnym i niezawodnym rozwiązaniem mogą być systemy satelitarne, które zapewniają łatwy dostęp do sieci użytkownikom niezależnie od ich lokalizacji geograficznej. Satelitarny system szerokopasmowej transmisji danych, określany jako system multimedialny zapewni społeczeństwu dostęp do nowoczesnej szybkiej sieci telekomunikacyjnej (dostęp do internetu dla szkół, ośrodków edukacyjnych i naukowych). Planowany system satelitarny należałoby oprzeć na dzierżawie transponderów na istniejących satelitach, co wydaje się rozwiązaniem bardziej ekonomicznym niż budowa polskiego własnego satelity.

Nasz udział w międzynarodowych projektach badawczo rozwojowych związanych z systemami łączności satelitarnej powinien być oparty na współpracy z Europejską Agencją Kosmiczną. Polska może uczestniczyć w programie ARTES Europejskiej Agencji Kosmicznej, korzystając z już istniejącego porozumienia. (Zob. rozdz. II.8. Z. Krawczyk "Telekomunikacja Satelitarna" oraz rozdz. II.9. J. Modelski "Perspektywy rozwoju systemów łączności satelitarnej").

Drugim szeroko znanym przykładem zastosowania sztucznych satelitów jest meteorologia. Ludzie oglądają codziennie obrazy zachmurzenia nad kontynentem lub całym globem, przesyłane przez satelity meteorologiczne. Polska służba meteo ma dostęp do źródeł tych obrazów, zaś Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej jest członkiem europejskiej organizacji Eumetsat, dysponującej własnymi satelitami. Wprawdzie występują ustawiczne kłopoty z opłatami składki do Eumetsat, można jednak uważać, że pod względem koncepcji sprawa ta ustawiona jest właściwie.

Dane meteorologiczne to jeden z rodzajów teledetekcji, która pozwala obserwować powierzchnie Ziemi w wielu aspektach i pod kątem różnych parametrów. Prowadzonych było i jest szereg programów jak n.p:

1. Wykonanie na podstawie zdjęć Landsat MSS mapy pokrycia terenu w skali 1:500 000, a później na podstawie zdjęć Landsat TM takiej samej mapy w skali 1:100 000, ale stanowiącej już część europejskiej bazy danych o pokryciu terenu,
2. Ocena stanu zdrowotnego lasów. Wykonano inwentaryzację uszkodzeń drzewostanów dla najważniejszych zagrożonych kompleksów leśnych i oceniano postępy w regeneracji drzewostanów.
3. Zbadanie zmian środowiska na obszarach zurbanizowanych i przemysłowych. Analizy wieloczasowych zdjęć satelitarnych dostarczyły informacji o kierunkach i rozmiarach zmian, głównie w użytkowaniu ziemi i zmianach stosunków wodnych,
4. Mapy satelitarne jako warstwy tematyczne regionalnych Systemów Informacji Geograficznej i źródło danych dla tworzenia wielu warstw tematycznych tych systemów, głównie warstwy "pokrycie terenu",
5. Monitorowanie stanu i zmian środowiska obszarów chronionych. Tworzone dla większości parków narodowych i parków krajobrazowych systemy informacji geograficznej korzystają powszechnie ze zdjęć satelitarnych,

Te i inne praktyczne zastosowania teledetekcji satelitarnej dają przykład ogromnych możliwości wykorzystania tej techniki dla pożytku społecznego. Europejska Agencja Kosmiczna wspólnie z Komisją Europejską uruchomiły program "Global Monitoring for

Environment and Security (GMES), który niewątpliwie zintensyfikuje te działania. Polska ma możliwość być objęta programem GMES, którego punkt kontaktowy na Europę Środkową i Wschodnią ustalony został w Centrum Badań Kosmicznych PAN (Zob.rozd. II.7. A. Ciołkosz, S. Białousz, P. Struzik "Teledetekcja satelitarna").

Kierunkiem rozwijającym się intensywnie jest nawigacja satelitarna. Aktualnie oparta jest ona na wykorzystaniu amerykańskiego systemu GPS, jednakże jesteśmy w przededniu uruchomienia uzupełniającego europejskiego systemu EGNOS, zaś w perspektywie kilku lat oczekuje się wprowadzenia całkowicie nowego systemu europejskiego GALILEO. Oprócz konstelacji satelitów do pełnego wykorzystania systemu potrzebne są stacje naziemne. W Polsce utworzono dotychczas kilka niezależnych sieci lokalnych stacji referencyjnych DGPS przeznaczonych dla różnych celów, takich jak: nawigacja morska, nawigacja lądowa i monitoring pojazdów policji i służb ratownictwa miejskiego, potrzeby geodezji i inżynierii morskiej oraz Systemów Informacji o Terenie i Geograficznych Systemów Informacji oraz dla potrzeb monitoringu pojazdów komunikacji i służb miejskich w kilku miastach w Polsce. Rozpoczęto prace na obszarze Województwa Śląskiego nad realizacją Aktywnej Sieci Geodezyjnej. W roku 2004 planuje się uruchomienie stacji referencyjnej na lotnisku w Dęblinie dla nawigacji lotniczej i kontroli ruchu lotniczego.

W roku 2000 Komisja Geodezji Satelitarnej KBKiS PAN oraz Sekcja Sieci Geodezyjnych Komitetu Geodezji PAN, opierając się na dokonanej analizie systemów stacji referencyjnych w krajach europejskich i Stanach Zjednoczonych, przyjęły w szczególności następujące określenie celów utworzenia Polskiego Systemu Stacji Permanentnych GPS:

- 1) Generowanie na stacji i transmisja poprawek DGPS/RTK,
- 2) Gromadzenie oraz udostępnianie za pośrednictwem Internetu danych obserwacyjnych stacji permanentnych dla celów geodezyjnych.

Dla obszaru Polski projektuje się utworzenie około 50 nowych stacji referencyjnych i włączenie już istniejących stacji do systemu. Przyjęto, że odległość między stacjami powinna wynosić 80-100 km.

W Warszawie w budowie znajduje się stacja monitorująca systemu EGNOS. (Zob.rozd. II.9. S. Oszczak "Perspektywy rozwoju nawigacji satelitarnej w Polsce").

Geodezja satelitarna przyniosła już wiele istotnych zastosowań, jak np. ustanowienie nowego układu współrzędnych geodezyjnych zunifikowanego z układem europejskim. Prowadzone są prace nad realizacją sieci geodezyjnych niższych rzędów, osnowy wysokościowej i precyzyjnej geoidy dla terytorium Polski (Zob. rozdz. II.6. J.B.Zieliński „Kierunki rozwoju geodezji satelitarnej”).

Na pograniczu badań i praktycznego ich stosowania znajduje się program „Pogoda Kosmiczna” (*Space Weather*). Polega on na monitorowaniu i prognozowaniu zjawisk elektromagnetycznych zachodzących w przestrzeni okołoziemskiej i atmosferze, wywoływanych aktywnością Słońca. Znaczenie tej służby wzrasta wraz ze wzrostem obecności elektroniki i komputerów w naszym życiu. W Polsce funkcjonuje od dawna w Centrum Badań Kosmicznych PAN Ośrodek Prognoz Jonosferycznych, wchodzący w skład sieci międzynarodowej.

7. Możliwości rozwoju techniki kosmicznej.

Pojęcie techniki kosmicznej kojarzy się z najwyższymi wymaganiami i jakością. Obejmuje ono bardzo szeroką paletę wyrobów, ale produkcja ta nie ma charakteru masowego. Rynek w tej dziedzinie jest stosunkowo płytki i zamknięty. Tym nie mniej istnieją określone

nisze, które pozwalają dostać się na ten rynek również firmom z Polski. Można wyróżnić przynajmniej trzy obszary, w których takie szanse istnieją, a mianowicie:

- Pokładowa aparatura badawcza;
- Naziemne urządzenia wspomagające i kontrolne;
- Elementy naziemnych systemów śledzących i naprowadzających.

Aparatura badawcza przygotowywana jest zazwyczaj przez laboratoria naukowe, które proponują eksperymenty kosmosie. Poszukują one poddostawców rozmaitych unikalnych przyrządów lub ich części składowych, kierując się zaufaniem do takiego dostawcy opartym na wcześniejszym jego dorobku oraz certyfikatach zagranicznych agencji kosmicznych. Istnieje w Polsce grupa firm skupiona wokół Centrum Badań Kosmicznych PAN, która może się takim dorobkiem wykazać i ubiegać się o dalsze zamówienia.

Aparatura wspomagająca i kontrolna (*Ground Support Equipment*) nie jest przeznaczona do pracy na orbicie, lecz stanowi wyposażenie laboratoriów i naziemnych zespołów konstrukcyjnych i obsługujących. Nie podlega ona tak ostrej certyfikacji jak aparatura lotna. Tu również istnieją pozytywne doświadczenia dostępu do tego rynku.

Trzecia grupa – naziemne systemy śledzące – to telemetria, radioelektronika, radary i optyka. Są to specjalności techniczne istniejące w Polsce na dobrym poziomie i przy wsparciu mogą być wprowadzone na europejski rynek techniki kosmicznej.

Trzeba tu powiedzieć, że rynek ten jest w Europie kreowany przede wszystkim przez Europejską Agencję Kosmiczną. Jest to rynek regulowany i kontrolowany. Okolicznością bardzo dla nas pomocną jest obowiązująca w ESA zasada zwrotu geograficznego (*geographic return*) polegająca po prostu na tym, że do danego kraju trafia co najmniej tyle zamówień ile wynosi 90% wpłaconej składki. Niestety, Unia Europejska już tej zasady nie uznaje. Więcej szczegółów na temat przemysłu kosmicznego jest w rozdz. II.10. B. Buszke „Wstępna ocena potencjalnych możliwości polskich przedsiębiorstw w zakresie uzyskiwania kontraktów Europejskiej Agencji Kosmicznej”.

8. Program edukacyjny.

Starania o rozwój tematyki kosmicznej w Polsce napotykać na ogół sceptycyzm, co do celowości i możliwości takiego rozwoju. Niewiara taka ma swoje źródło przede wszystkim w niewiedzy o tym, co jest robione i musi być robione w przestrzeni kosmicznej przy obecnym stanie rozwoju cywilizacyjnego. Dlatego niezbędnym składnikiem realizacji przedstawionej tu strategii jest szeroko pojęta edukacja, rozumiana jako nauczanie szkolne, kształcenie akademickie i podyplomowe oraz popularyzacja. To pierwsze ogniwo jest najsłabsze i wymaga decyzji na szczeblu centralnym (zob. rozdz. II.11. J. Błęcki „Założenia dotyczące wprowadzenia do nowego programu nauczania w gimnazjach i liceach wiedzy związanej z badaniami kosmicznymi i ich wykorzystaniem”). Studia związane z różnymi specjalnościami znajdującymi zastosowanie w programach kosmicznych prowadzone są na różnych uczelniach, w tym na Politechnice Warszawskiej działa Międzywydziałowe Studium Technik i Technologii Kosmicznych. W miarę możliwości podejmowane są rozmaite przedsięwzięcia popularyzujące tematykę kosmiczną - w tym zakresie większe zainteresowanie Telewizji Polskiej miałyby ogromne znaczenie.

9. Wnioski.

Po przeanalizowaniu sytuacji wynikającej z akcesji Polski do Unii Europejskiej, rysujących się perspektyw, istniejących możliwości i występujących zagrożeń, oraz dla

osiągnięcia celów podanych na wstępie niniejszego opracowania, Komitet Badań Kosmicznych i Satelitarnych PAN przedstawia następujące wnioski:

- 1. Należy uzmysłwić kierownictwu państwa polskiego, że w ramach regularnej składki płaconej do Unii Europejskiej, Polska będzie finansować europejski program kosmiczny na poziomie 350 mln. zł rocznie.**
- 2. W celu aktywnego uczestnictwa w programie europejskim i przynajmniej częściowego odzyskiwania tych pieniędzy w sposób korzystny dla polskiej gospodarki i nauki konieczne jest przystąpienie Polski do Europejskiej Agencji Kosmicznej i skorzystanie z propozycji pod nazwą PECS stopniowego włączania się w program ESA.**
- 3. Wymiar finansowania polskiego programu kosmicznego w r. 2010 powinien być na poziomie 125 mln zł., z tego z budżetu państwa ok. 75 mln. zł., przy czym wzrost powinien następować stopniowo, poczynając od najbliższego roku budżetowego.**
- 4. Istotne jest uczestnictwo Polski w międzynarodowym wysiłku poznawania kosmosu przez pogłębienie programu naukowego badań kosmicznych, tak w ramach ESA jak i we współpracy z innymi agencjami.**
- 5. Konieczne jest ustanowienie sprawnej formy organizacyjnej, odpowiedniej do form istniejących w innych krajach.**
- 6. Niezbędne jest rozszerzenie działań edukacyjnych na poziomach: podyplomowym, uniwersyteckim i popularnym.**

II. CZĘŚĆ SZCZEGÓŁOWA

BADANIA ASTROFIZYCZNE Z WYKORZYSTANIEM TECHNIKI KOSMICZNEJ W POLSCE DO 2010 R.

W niniejszym opracowaniu przez badania astrofizyczne będą rozumiane badania obiektów poza układem słonecznym.

Polska nie planuje wystrzeliwania własnych satelitów, badania kosmiczne opierają się więc na współpracy z innymi krajami. W związku z planowanym wstąpieniem do Unii Europejskiej, naturalnym głównym partnerem jest Europejska Agencja Kosmiczna (ESA). Poniższe opracowanie koncentruje się więc na współpracy z ESA, choć oczywiście współpraca z krajami poza ESA, np. z Rosją, jest całkowicie możliwa.

Udział w kosmicznych badaniach astrofizycznych jest bardzo ważny dla polskiej nauki, a w szczególności astrofizyki. Fakt nieprzezroczystości atmosfery dla większości zakresu promieniowania elektromagnetycznego powoduje, że bardzo dużo obserwacji astronomicznych musi być wykonywanych przez satelity (np. większość obserwacji układów zawierających czarne dziury lub gwiazdy neutronowe). Bezpośredni udział w przygotowywaniu takich projektów umożliwia z kolei pierwszeństwo w dostępie do najnowszych obserwacji i możliwość dokonywania ważnych odkryć.

Z drugiej strony, polska astrofizyka posiada bardzo znaczącą pozycję na świecie, jedną z najwyższych pośród dziedzin polskiej nauki (zob. np. opracowanie B. Kastory w <http://www.wprost.pl/ar/?O=12689>). Wybór właśnie badań astrofizycznych spośród różnych możliwości udziału w projektach kosmicznych zapewnia więc zarówno odpowiednio wysoką pozycję Polski na etapie przygotowywania projektu, jak też wysoki stopień naukowego wykorzystania otrzymanych wyników.

Głównym dotychczasowym doświadczeniem w dziedzinie zastosowania badań kosmicznych do astrofizyki w Polsce jest udział w projekcie INTEGRAL. Analiza etapów udziału w tym projekcie jest, moim zdaniem, ważna dla proponowanej strategii przyszłych badań w tej dziedzinie.

INTEGRAL (International Gamma Ray Laboratory) jest satelitą ESA przeznaczonym do badania kosmicznego promieniowania gamma, zob. <http://sci.esa.int/home/integral>. Jego wystrzelenie nastąpiło 17.10.2002. Polski udział w tym projekcie polegał na wykonaniu znacznej części aparatury oraz oprogramowania. Centrum Badań Kosmicznych PAN (CBK) w Warszawie wykonało blok sterujący systemem redukcji szumów i część oprogramowania do teleskopu gamma IBIS oraz naziemną aparaturę testującą i część oprogramowania pokładowego do monitora rentgenowskiego JEM-X. Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika PAN (CAMK) brało udział w opracowywaniu oprogramowania naukowego w centrum analizy danych (ISDC, Integral Science Data Center) w Szwajcarii. Wykonanie

większości z powyższych zadań było koordynowane przez prof. A. Zdziarskiego z Centrum Astronomicznego.

Udział Polski był możliwy dzięki szeregowi grantów z Komitetu Badań Naukowych przyznanych na wykonanie powyższych zadań począwszy od 1996 r. Suma przyznanych funduszy zawiera się w 4 mln zł. Może to być porównane z całkowitym kosztem projektu wynoszącym ok. 600 mln euro, w którego skład wchodzi koszt samego satelity (330 mln euro), koszt wystrzelenia przy użyciu rosyjskiej rakiety Proton (ok. 100 mln euro) oraz koszt instrumentów naukowych (ok. 200 mln euro). Warto też podkreślić, że ESA pokryła całkowity koszt aktywnych elementów lotnych użytych w systemie redukcji szumów zbudowanym przez CBK, wynoszący ok. 300—400 tys. euro.

W zamian za wkład do budowy satelity, oficjalne pozycje członków zespołów (Co-Investigator, Co-I) otrzymało dwóch polskich naukowców: prof. A. Zdziarski, w zespołach IBIS, JEM-X i ISDC, oraz dr M. Denis, w zespole IBIS. Dzięki tym pozycjom oraz w wyniku negocjacji, polscy naukowcy uzyskali bardzo znaczący dostęp do części czasu obserwacyjnego gwarantowanego dla zespołów, które zbudowały INTEGRAL. Całość czasu gwarantowanego została podzielona na 124 szczegółowe tematy (w przybliżeniu odpowiadające indywidualnym źródłom), z których cztery w całości oraz dalsze cztery w części zostały przydzielone prof. A. Zdziarskiemu oraz dr M. Denisowi. Przyznany Polsce czas włącza, np., 50% obserwacji słynnego źródła zawierającego czarną dziurę Cyg X-1, wyłączność na interpretację teoretyczną równie słynnego mikrokwazara GRS 1915+105, 100% obserwacji układu podwójnego w centrum Galaktyki zawierającego czarną dziurę GRS 1758-258, i inne interesujące źródła promieniowania gamma. Ponadto, jesteśmy członkami zespołów obserwacji ponad 20 innych obiektów kierowanych przez zagranicznych naukowców. Ścisłe szacowanie liczbowe części programu obserwacji gwarantowanych nam przyznanych jest oczywiście trudne. Tym niemniej, powyższe liczby przekładają się na ok. 3 do 5%. Jest to znacznie więcej niż 1/600 względnego wkładu finansowego Polski oszacowanego powyżej.

Tak duża część przyznanego nam programu obserwacji jest wynikiem, z jednej strony, bardzo wysokiej konkurencyjności pracy polskich naukowców i inżynierów. Np. wykonanie bloku sterującego systemem antykoincydencji do teleskopu IBIS w komercyjnej firmie LABEN (która wykonała większość pozostałych elementów satelity INTEGRAL) kosztowałoby wielokrotnie więcej niż środki przyznane na ten cel przez KBN. Z drugiej strony, kluczowe było otrzymanie przez polskich naukowców pozycji oficjalnych członków zespołów (Co-I). Bez tych pozycji, zespoły instrumentalne też by chętnie przyjęły wkład Polski, ale nie pozwoliłoby to polskim naukowców na kierowanie analizą obserwacji w czasie gwarantowanym. Proponuję więc uzależnienia finansowania dowolnego przyszłego kosmicznego projektu astrofizycznego od uzyskania pozycji Co-I przez jednego lub więcej polskich naukowców.

Dalszym bardzo ważnym elementem jest istnienie w Polsce potencjału naukowego w danej dziedzinie badań. W przypadku projektu INTEGRAL, potencjał ten był bardzo duży już w momencie przystąpienia do projektu. Umożliwiło to zarówno bardzo dobre wykorzystanie przyznanego czasu gwarantowanego jak również sukcesy w ubieganiu się o obserwacje w czasie otwartym, gdzie został zaakceptowany szereg polskich wniosków obserwacyjnych. Przykładem może tu być zaakceptowana obserwacja bardzo ciekawej aktywnej galaktyki NGC 4151, dla której zapewniliśmy również równoczesne obserwacje przez satelity XMM-

Newton oraz RXTE. Polscy naukowcy uczestniczą też w dużej ilości projektów w czasie otwartym z zagranicznymi kierownikami.

Czas życia satelity INTEGRAL planuje się na 5 lat. Praktyka innych projektów tego typu pokazuje jednak, że czas ten jest często przekraczany (np. poprzedni satelita gamma, CGRO zbudowany przez NASA, działał prawie 10 lat). Bardzo ważna jest więc kontynuacja finansowania analizy danych, które będą napływać z satelity po zakończeniu w maju 2004 obecnego grantu KBN przyznanego na ten cel.

Reasumując doświadczenia zdobyte przy projekcie INTEGRAL, elementami niezbędnymi do sukcesu przy udziale w następnych kosmicznych projektach satelitarnych są:

- formalna pozycja Co-I jednego lub więcej polskich naukowców;
- odpowiedni potencjał naukowy w danej dziedzinie badań;
- możliwość wykonania ważnych elementów instrumentu w Polsce, np. przez CBK.

Biorąc pod uwagę powyższe kryteria, proponuję udział Polski w następujących projektach ESA: Herschel, Planck oraz XEUS (X-ray Evolving Universe Spectroscopy). Pełna lista kosmicznych projektów ESA jest na <http://sci.esa.int/home/ourmissions>. Satelity Herschel oraz Planck są już w trakcie budowy i zostaną wspólnie wystrzelone przez ракетę Ariane 5 w 2007 r. Obecnie trwa projektowanie satelity XEUS. Data wystrzelenia nie jest jeszcze ustalona, natomiast prace nad budową satelity zaczną się w najbliższych latach.

Herschel (<http://sci.esa.int/home/herschel>) będzie obserwatorium kosmicznym poświęconym badaniom fotometrycznym i spektroskopowym wszechświata w dalekiej podczerwieni. Głównym celem naukowym projektu jest badanie powstawania galaktyk, gwiazd i układów planetarnych. Koordynatorem polskiego udziału w projekcie jest doc. R. Szczerba z CAMK, który jest również oficjalnym członkiem zespołu (Co-I) instrumentu HIFI (spektrometr heterodynowy o bardzo wysokiej rozdzielczości spektralnej). Polscy astrofizycy mający doświadczenie w badaniach związanych z powyższą tematyką to m. in. doc. R. Szczerba, prof. B. Czerny, dr M. Schmidt (CAMK), prof. J. Krelowski, dr hab. M. Szymczak (UMK). Prace nad budową elementów instrumentu HIFI są już prowadzone przez CBK. Budowana jest tzw. jednostka sterująca pracą lokalnego oscylatora (Local Oscillator Control Unit, LOCUC). Dotychczasowy koszt prac to ok. 800 tys. zł przyznanych przez KBN na lata 2000—02. Koszt kontynuacji prac nad modelem lotnym LOCUC oraz udziału w przygotowaniu jego oprogramowania w latach 2003—07 szacowany jest na ok. 2—3 mln zł. Podobnie jak w przypadku projektu INTEGRAL, ESA zadeklarowała finansowanie lotnych (tzw. „space qualified”) elementów elektroniki. Całkowity koszt obserwatorium Herschel jest szacowany na 700 mln euro.

Poza astrofizyką, cele naukowe tego projektu włączają też obserwacje komet oraz zewnętrznych planet układu słonecznego i ich satelitów. Badania te będą one kierowane przez doc. M. Banaszkiewicza i dr M. Błęcką z CBK.

Celem naukowym obserwatorium Planck (<http://sci.esa.int/home/planck>) jest zbadanie anizotropii kosmicznego tła mikrofalowego z bezprecedensowo wysoką zdolnością rozdzielczą rzędu kilku minut łuku. Badania takie mają fundamentalne znaczenie dla zrozumienia powstania wszechświata, jego historii (w szczególności powstawania struktur, z których wywodzą się galaktyki i ich gromady), jego składu (gęstości zwykłej oraz ciemnej materii, gęstości energii próżni), obecnego wieku oraz jego przyszłości (ekspansja w nieskończoność lub etap kurczenia). Instrument ten będzie następcą satelity COBE,

zbudowanego przez NASA, ale przewyższa go parametrami o szereg rzędów wielkości. Członkami zespołu (Co-I) budującego kluczowy detector LFI (Low Frequency Instrument) są dr hab. K. Górski oraz prof. M. Demiański (Wydz. Fiz. UW). W/g dotychczasowych wstępnych ustaleń, CBK wykona urządzenia mechaniczne do naziemnego testowania aparatury (Ground Mechanical Support Equipment, GMSE).

Warto też podkreślić związek badań przy użyciu Plancka z wykorzystaniem potencjału polskiej radioastronomii. W szczególności, toruński 32-metrowy radioteleskop (UMK) wykona, we współpracy z obserwatorium radioastronomicznym w Jodrell Bank, radiowy przegląd północnego nieba na długości fali 1 cm, który będzie wykorzystywany w procesie redukcji danych z obserwatorium Planck. Polska też dysponuje bardzo dużym potencjałem naukowym w dziedzinie kosmologii. Poza wymienionymi powyżej doc. K. Górskim i prof. M. Demiańskim, polscy kosmologowie będący wykorzystywać rezultaty obserwatorium Planck to m. in. doc. R. Jusziewicz, dr E. Łukas, dr M. Chodorowski (CAMK).

XEUS (<http://sci.esa.int/home/xeus>) będzie kosmicznym teleskopem rentgenowskim planowanym jako następca rentgenowskiego teleskopu XMM-Newton. Celem naukowym projektu jest bardzo dokładne zbadanie rentgenowskiego nieba, w szczególności źródeł pochodzących z bardzo wczesnego wszechświata, np. pierwszych czarnych dziur we wszechświecie. Bezprecedensowa czułość teleskopu XEUS, przewyższająca setki razy dotychczasowe teleskopy rentgenowskie, pozwoli też na rozwiązanie wielu innych zagadek stojących przed współczesną astronomią rentgenowską, np. kwestię wpływu efektów ogólnej teorii względności w pobliżu czarnej dziury na profil rentgenowskich linii emisyjnych. XEUS jest jednym z priorytetowych projektów ESA, a jego działanie będzie związane z Międzynarodową Stacją Kosmiczną. W szczególności, będzie możliwe wielokrotne lądowanie na Stacji Kosmicznej. W czasie pierwszego planowanego lądowania, ok. 4 lata po wystrzeleniu, instrument zostanie znacznie rozbudowany w stosunku do pierwotnego rozmiaru ograniczonego przez możliwości rakiety Ariane 5. W szczególności, powierzchnia zwierciadeł zostanie powiększona pięciokrotnie. Konstrukcja teleskopu będzie też umożliwiać łatwą modernizację w czasie kolejnych lądowań, tak, że planowany czas działania instrumentu to aż 25 lat. Konstrukcja samego teleskopu jest też bardzo nowatorska. Ze względu na długość ogniskowej teleskopu wynoszącą aż 50 m, będzie on się składał z dwóch satelitów, których wzajemna odległość będzie stała z dokładnością do 1 mm.

Ponieważ zakres zagadnień naukowych astronomii rentgenowskiej jest bliski zakresowi zagadnień astronomii gamma, należy się spodziewać, że grupa badawcza obecnie związana z satelitą INTEGRAL, włączająca m.in. prof. B. Czerny, prof. M. Sikorę, doc. T. Bulik, dr P. Życkiego, prof. A. Zdziarskiego (CAMK), będzie również brała udział w wykorzystywaniu wyników kosmicznego teleskopu XEUS. Wstępne prace nad zdefiniowaniem udziału Polski w projekcie zostały już podjęte przez prof. A. Zdziarskiego, który został zaproszony do udziału w pracach nad ustaleniem zakresu celów naukowych oraz specyfikacji instrumentu XEUS.

Reasumując, rekomendacje niniejszego raportu to:

- kontynuacja finansowania badań naukowych wykorzystujących obserwacje wykonywane przez kosmiczny teleskop INTEGRAL;
- kontynuacja finansowania udziału w projekcie Herschel;
- finansowanie udziału w projekcie Planck;
- włączenie się w przygotowywanie teleskopu XEUS i finansowanie przyszłego udziału w tym projekcie.

BADANIA UKŁADU SŁONECZNEGO I ROZWÓJ TECHNOLOGII

1. Wstęp

Niniejsze studium stanowi analizę możliwych strategii Polski dotyczących uczestnictwa w międzynarodowym programie badań planet i w rozwoju technologii kosmicznych do roku 2010. Obecny stan rozwoju naukowo-technicznego kompleksu kosmicznego, ekonomiczny i techniczny potencjał naszego kraju oraz wysoce międzynarodowy charakter badań kosmicznych wykluczają praktycznie rozważania traktujące Polskę w oderwaniu od tego, co w omawianej dziedzinie dzieje się na świecie i w Europie. Dlatego też rozważania rozpoczniemy od przedstawienia ogólnej sytuacji w światowych badaniach kosmicznych. Następnie omówimy program badawczy Europejskiej Agencji Kosmicznej. W kolejnej sekcji zastanowimy się nad obecną pozycją Polski w badaniach kosmicznych, jej związkach z partnerami europejskimi i pozaeuropejskimi, uprawianych polach badawczych, opanowanych technikach i technologiach. Następny rozdział dotyczyć będzie założeń rozwoju ekonomicznego Polski w następnych latach, w szczególności sektora naukowo-technicznego, z wynikającymi stąd konsekwencjami dla badań kosmicznych. Zasadnicza część opracowania poświęcona będzie przedstawieniu optymalnych strategii rozwoju badań kosmicznych w Polsce, które podlegać będą wymienionym wcześniej uwarunkowaniom. Następny rozdział traktować będzie o środkach niezbędnych do zrealizowania omówionych strategii, a więc nakładach finansowych, rozwoju infrastruktury, promowaniu polskiego przemysłu kosmicznego, edukacji i współpracy międzynarodowej. Opracowanie zakończone zostanie krótkim podsumowaniem i przedstawieniem najważniejszych tez.

Ponieważ studium to stanowi część większego opracowania przygotowywanego przez Komitet Badań Kosmicznych i Satelitarnych PAN, dotyczącego całego obszaru badań kosmicznych, zatem we wszystkich rozważaniach szczegółowych odnosić się będziemy do dwu specyficznych dziedzin: badań planetarnych i technologii kosmicznych. Ten ostatni przedmiot jest integralnie związany z naukowym aspektem misji planetarnych: każda z nich wymaga opracowania i zastosowania nowych rozwiązań technicznych.

2. Obecna sytuacja badań kosmicznych na świecie

W ostatniej dekadzie ubiegłego wieku badania kosmiczne weszły w wiek dojrzały. Zakończyła się, i pewnie nie wróci już, epoka prestiżowego wyścigu o dominację w podboju kosmosu pomiędzy supermocarstwami. Rosja pozostała krajem liczącym się w wielu dziedzinach techniki kosmicznej (rakiety, systemy satelitarne, zastosowania militarne) wyposażonym w wymagającą modyfikacji, ale wciąż sprawną infrastrukturą, jednak zdecydowanie zwolniła tempo badań naukowych, konstrukcji instrumentów kosmicznych i

rozwoju nowych technologii. Opróżnione przez Rosję miejsce zajęła Europejska Agencja Kosmiczna, której dystans do Stanów Zjednoczonych, mimo szybkiego nadrobienia opóźnienia, jest wciąż znaczny. Kolejne miejsce zajmują Japonia i Chiny, a do klubu państw mogących wytwarzać satelity i wysyłać je na orbitę wokółziemską należą jeszcze Ukraina, Indie i Brazylia.

Załamanie się poprzednio obowiązującego imperatywu o konieczności pokonania rywala w badaniach i technikach kosmicznych spowodowało, że Stany Zjednoczone zaczęły zwracać większą uwagę na efektywność swoich cywilnych programów kosmicznych i na ich użyteczność. Znalazło to wyraz w sformułowanej przez poprzedniego administratora NASA, Goldina, zasadzie: „szybciej, lepiej, taniej”, która w praktyce oznaczała skrócenie cyklu przygotowania misji, wykorzystywanie sprawdzonych rozwiązań i używanie, tam gdzie można, niekosmicznych, więc tańszych, elementów i podzespołów. Ryzyko związane z większą zawodnością misji zostało wliczone w koszty. Dla równowagi, powstał specjalny program Deep Space, w którym zachęcano do stosowania nowych technologii w niewielu wybranych misjach. Strategia ta została przejęta przez Europę, w momencie gdy Amerykanie zaczęli, po kilku niepowodzeniach w misjach marsjańskich, powoli od niej odchodzić. Po ataku z 11 września nastąpiło dalsze zwolnienie tempa w amerykańskich cywilnych planach kosmicznych: budżet NASA został okrojony, priorytetem stały się badania Ziemi z kosmosu, zaś w badaniach planetarnych postawiono na poszukiwania życia i procesów do niego prowadzących zarówno na planetach układu słonecznego jak i poza nim. Przesunięciu uległy plany przywiezienia na Ziemię próbek materii marsjańskiej (do 2015), a o załogowych misjach marsjańskich niewiele się obecnie mówi.

Mimo tych sygnałów, trudno mówić o stagnacji w badaniach kosmicznych. Jest to raczej stabilny i kontrolowany rozwój, w którym zwraca się większą uwagę na racjonalne gospodarowanie środkami oraz na staranny i świadomy wybór priorytetów. O zawieszeniu czy ograniczeniu eksploracji kosmosu i wykorzystania przestrzeni kosmicznej nie może być mowy, zarówno ze względów poznawczych (misje kosmiczne pozwalają na uzyskanie jakościowo lepszych obserwacji niż przy pomocy instrumentów naziemnych), ekonomicznych (ponad połowa nakładów na badania i technologie kosmiczne pochodzi z sektora prywatnego), jak i społecznych (w rozwiniętym świecie istnieje duże zrozumienie społeczeństw dla badań kosmicznych i świadomość związanych z nimi korzyści).

Główne czynniki polityczne określające rolę badań kosmicznych we współczesnym świecie i stopień zaangażowania państw aktywnie w nich uczestniczących to: postępująca globalizacja, walka z terroryzmem oraz dwie sprzeczne tendencje - dążenie do zachowania wpływów i pozycji świata zachodniego oraz powszechnie już uświadomione dążenie do zmniejszenia różnic cywilizacyjnych pomiędzy bogatymi i biednymi państwami globu, które złągodzić ma napięcia na osi Północ-Południe. Poza tym ostatnim czynnikiem, który wymaga przeznaczenia dużych środków na rozwój regionów zacofanych i może ograniczyć czasowo nakłady na badania i techniki kosmiczne, pozostałe czynniki sprzyjają dalszej aktywności kosmicznej, szczególnie jej aspektów związanych z bezpieczeństwem narodowym i ogólnoświatowym.

Prawdziwe wyzwanie, które stoi przed sektorem kosmicznym to konieczność zmniejszenia kosztów działania, a co zatem idzie dokonania przełomu technologicznego w trzech dziedzinach: (i) techniki wynoszenia na orbitę (np. rakiety), (ii) automatyzacji operacji misji w przestrzeni kosmicznej (np. sztuczna inteligencja), (iii) miniaturyzacji satelitów i instrumentów pracujących w kosmosie. Szczególnie pierwsze dwie kwestie wołają o szybkie rozwiązania.

3. Nasz partner strategiczny: Europejska Agencja Kosmiczna

Europejska Agencja Kosmiczna powstała 25 lat temu jako próba dołączenia do amerykańsko-radzieckiego wyścigu w podboju kosmosu. Jest w chwili obecnej drugim co do wielkości i potęgi, po NASA, graczem w badaniach kosmicznych. Organizacja zrzesza 15 państw, a jej roczny budżet wynosił ponad 2500 mln Euro w 1998 r. Nakłady na naukową część programu ESA, związaną z misjami pozaziemskimi, stanowiły 13% tej sumy, a wydzielone nakłady na rozwój technologii, 2,6%.

W badaniach planetarnych program ESA jest dosyć klarowny:

- (i) na najbliższe lata planowana jest wielka misja do Merkurego (z udziałem Japonii), Bepi-Colombo, składająca się ze stacji orbitalnej, satelity magnetosferycznego i lądownika. Start misji nastąpi około 2009 r,
- (ii) z zapasowych części misji Mars-Express stworzona zostanie misja Venus-Express, pierwsza europejska wyprawa do sąsiedniej planety,
- (iii) planowane są co najmniej dwie misje do Marsa: Mars-Express (2003 r) i Netlander (2006 r); misje te skoordynowane są z programem NASA,
- (iv) w ramach małych misji technologicznych, w 2002 r wysłana zostanie misja do Księżyca, Smart 1.

Dziesięć wyzwań dla europejskiego programu kosmicznego, sformułowanych na głównej internetowej stronie ESA (www.esa.int/export/esaCP), to:

- (i) cywilna sieć satelitów nawigacyjnych,
- (ii) łatwiejsze i tańsze wynoszenie ładunków na orbitę, np. przy pomocy promów wielokrotnego użytku,
- (iii) nanosatelity o wadze do 10 kg przeznaczone do małych misji lub do celów obserwacyjnych,
- (iv) rozwój komercyjnej części europejskiego sektora kosmicznego i walka o rynki z pozostałymi państwami,
- (v) kontrola klimatu przy pomocy satelitów wokółziemskich,
- (vi) wykrywanie potencjalnie groźnych asteroidów i komet na orbitach zderzeniowych z Ziemią,
- (vii) specyficzne technologie dostosowane do szczególnych celów, np. automatyczna korekcja orbit satelitów zmierzająca do wyeliminowania efektów niegrawitacyjnych,
- (viii) pozyskiwanie surowców i energii z kosmosu: Księżyc, asteroidy,
- (ix) roboty czy astronauty; wyważenie pomiędzy dwiema strategiami dalszej eksploracji kosmosu
- (x) utrzymanie zdobytej pozycji w dziedzinie środków wynoszenia (Arianne), obserwatoriach pozawidzialnych (ISO, Herschel, Planck)

4. Pozycja Polski w badaniach kosmicznych

Pozycja Polski w badaniach kosmicznych, w tym w badaniach planetarnych i w technologiach kosmicznych, jest znacznie lepsza niż wynikałoby to z poziomu nakładów na te badania w latach po transformacji ustrojowej. Centrum Badań Kosmicznych dokonało bardzo skutecznego zwrotu i z aktywnego uczestnika programu Interkosmos, skupiającego państwa byłego RWPG, przekształciło się w solidnego partnera Europejskiej Agencji Kosmicznej. Nie była to łatwa i szybka przemiana, ze względu na trzy czynniki: (i) udział w programach,

misjach i eksperymentach ESA wymaga od każdego członka zespołu techniczno-badawczego profesjonalizmu, samodzielności i umiejętności współpracy w międzynarodowym zespole; system Interkosmosu był bardziej scentralizowany i hierarchiczny, (ii) w ESA obowiązuje bardzo formalny system przygotowywania misji, pociągający za sobą konieczność poznania i przestrzegania szczegółowych norm oraz przygotowywania, na każdym etapie projektu, pokaźnej liczby dokumentów odbiegających w formie od dokumentów wymaganych przez Interkosmos, (iii) o udział w projektach trzeba walczyć w silnej międzynarodowej konkurencji przy braku gwarancji, że raz opanowany warsztat i uzyskana pozycja pozwoli na uzyskiwanie kolejnych projektów; regułą jest, że co kilka lat trzeba zmieniać pole badań i stale przyswajać sobie nowe umiejętności. Przedstawiona wyżej opinia nie powinna przesłaniać faktu, że udział w programie Interkosmos był świetnym poligonem do nauki rzemiosła kosmicznego i bardzo ułatwił, przez zdobyte doświadczenia, szybkie dopasowanie się do wymogów obowiązujących w ESA. Po prostu, Interkosmos wyczerpał swoje możliwości rozwoju tak, jak przydarzyło się to całemu sowieckiemu systemowi politycznemu.

Pierwszą misją ESA, w której oficjalnie uczestniczyło Centrum Badań Kosmicznych był Cassini. Zaangażowaliśmy się w tę misję w 1990 roku, uczestnicząc w eksperymencie SSP (Surface Science Package) na próbniku Huygens, który wylądować ma na powierzchni Tytana, satelity Saturna. Eksperyment prowadzi John Zarnecki z Wlk. Brytanii (obecnie profesor w Open University). Po wizycie w CBK wysokiej rangi specjalistów z Rutherford-Appleton Laboratory (RAL) i dokonaniu przez nich dokładnej analizy możliwości technicznych Centrum, strona angielska zaproponowała nam wykonanie jednego z sześciu czujników SSP oraz zaprojektowanie i wykonanie bloku elektroniki obsługującego pięć czujników. W latach 1991-1995 CBK zaprojektowało i wykonało czujnik THP, którego zadaniem jest pomiar temperatury i przewodnictwa cieplnego w atmosferze i na powierzchni Tytana. Równolegle, inżynier-elektronik z Centrum został na dwa lata oddelegowany do RALu, by wykonać tam projekt i model funkcjonalny bloku elektronicznego. Rozwijana była też wspomagająca analiza naukowa warunków spodziewanych na Tytanie i opracowanie metod interpretacji wyników. W sumie, z polskiej strony w eksperymencie uczestniczyły 4 osoby oraz warsztaty CBK. Wszystkie prace zostały wykonane terminowo i bez zastrzeżeń angielskich partnerów i ESA. Cassini wystartował w 1997 roku i ma dolecieć do Tytana na początku roku 2005. Wszystkie dotychczasowe testy instrumentu SSP (przeprowadzane rutynowo co pół roku) potwierdzają prawidłowe działanie całego SSP.

Kolejnym projektem planetarnym realizowanym w Centrum był udział w przygotowaniu spektrometru fourierowskiego PFS do badań atmosfery marsjańskiej, początkowo na rosyjską misję Mars-96, zaś po jej katastrofie, na misję Mars-Express Europejskiej Agencji Kosmicznej. Eksperyment prowadzony jest przez profesora Vittorio Formisano z Włoch, a uczestniczą w nim, oprócz Polaków, Niemcy, Hiszpanie i Rosjanie. Centrum Badań Kosmicznych wykonuje ważny element spektrometru, skaner, umożliwiający płynną zmianę kierunku patrzenia przyrządu. W CBK wykonywana jest także część elektroniki pokładowej, a w szczególności bloki zasilania. Łącznie wykonano i przetestowano pięć kolejnych modeli przyrządu, począwszy od modelu funkcjonalnego, a na zapasowym lotnym skończywszy. Prace trwały od 1997 do 2002 roku. Start misji planowany jest w 2003 roku, a pierwsze wyniki spodziewane są w 2004. Również w tej misji, aparatura wykonana w CBK uzyskała bardzo wysokie oceny zarówno kolegów z Włoch, odpowiedzialnych za cały przyrząd, jak i Europejskiej Agencji Kosmicznej. W przygotowaniu PFS brał udział siedmioosobowy zespół inżynierów i techników, a prace naukowe prowadzą dwie osoby. Większa część prac mechanicznych i elektronicznych montażowych i testowych wykonana została w warsztatach CBK i w zakupionym w związku z tą misją tzw. czystym pomieszczeniu (cleanroom).

Niektóre prace wykonali podwykonawcy zewnętrzni, np. kapsuły z wzorcową mieszaniną gazów do kalibracji wykonał Instytut Chemii Fizycznej.

Największy z dotychczas realizowanych projektów sprzętowych to eksperyment MUPUS na misję Rosetta. Jest to pierwszy przypadek uczestnictwa polskiego zespołu w misji ESA od początku, tj. od przedstawienia projektu w konkursie na eksperyment, w roku 1995. W tym wypadku chodzi o zestaw sensorów do pomiaru własności fizycznych jądra komety. Misja Rosetta ma dolecieć do komety Wirtanena i, po przeprowadzeniu systematycznych badań z orbitera, opuścić lądownik na powierzchnię kilometrowej wielkości jądra. Ponieważ aktywność jądra determinowana jest przez procesy termiczne (ogrzewanie przez Słońce, sublimacja molekuł z powierzchni, transport ciepła do/z wnętrza jądra), więc pomiary profilu temperatury, przewodnictwa cieplnego, struktury i własności mechanicznych jądra mogą mieć istotne znaczenie dla poznania zjawisk fizycznych zachodzących tuż pod powierzchnią. Eksperyment MUPUS prowadzony jest przez Tilmana Spohna z Instytutu Planetologii w Muenster (Niemcy), a w zespole są instytuty z Niemiec, Polski, Austrii, Wlk. Brytanii i USA. Głównym zadaniem eksperymentu jest określenie profilu temperatury do głębokości około 40 cm pod powierzchnią jądra i pomiar przewodnictwa cieplnego przy pomocy penetratora. Penetrator powinien być wprowadzony (wbity) w jądro w odległości około 1 m od lądownika. Wszystkie podsystemy eksperymentu: penetrator, urządzenie wbijające i urządzenie wysuwające powinny być wykonane przez zespół MUPUSa. Centrum Badań Kosmicznych podjęło się, w ramach projektów badawczych KBN, wykonania urządzenia wbijającego i naziemnej aparatury kontrolno-pomiarowej (EGSE). W trakcie przygotowania eksperymentu, okazało się, że znakomita część zadań, której wykonanie spoczywało na stronie niemieckiej, musi być przejęta przez zespół z CBK: żadna z firm zachodnich nie chciała podjąć się nowych i ryzykownych wyzwań. W ramach kontraktu z DLR (Niemiecka Agencja Kosmiczna), Centrum Badań Kosmicznych wykonało: (i) penetrator, (ii) sensory termiczne, (iii) urządzenie wysuwające, (iv) elektroniczny układ sterowania sensorami umieszczony w penetratorze, (v) elektronikę do całego eksperymentu MUPUS umieszczoną w lądowniku, (vi) oprogramowanie, (vii) okablowanie, (viii) mechaniczny układ wspomagania eksperymentu i symulacji warunków nieważkości. Wiele rozwiązań jest unikalnych w skali światowej, opanowano też kilka nowych technologii. Eksperyment uważany jest za jeden z ciekawszych na lądowniku. W przygotowaniu eksperymentu brało udział 7 osób z CBK i około 15 instytutów, jednostek-badawczo rozwojowych i firm z całej Polski. Wszystkie wykonane model przeszły pomyślnie surowe testy. Misja wystartuje w styczniu 2003, doleci do komety w 2011, wyląduje na niej w 2012.

Oprócz wymienionych dużych eksperymentów z wkładem sprzętowym, naukowcy z Centrum biorą udział w eksperymentach, do których wnoszą przede wszystkim swoją wiedzę. Tak jest z eksperymentem VIRTIS, spektrometrze pracującym w świetle widzialnym i w podczerwieni i umieszczonym na orbiterze Rosetty i z eksperymentem jonosferycznym na misji Mars-Express. Planowany jest udział CBK w misjach Bepi-Colombo do Merkurego i w misji Venus-Express.

Udział w powyższych eksperymentach oraz w dwu dużych misjach astrofizycznych ESA, Integral i Herschel, sprawił, że prawie wszyscy inżynierowie z CBK opanowali w praktyce zachodnioeuropejskie procedury i standardy badań kosmicznych i mogliby bez trudności przystąpić do realizowania kolejnych projektów ESA. Siedem-osiem osób z CBK, w większości inżynierów, mogłoby poprowadzić małe i średnie zespoły techniczne wykonujące części instrumentów i systemów kosmicznych. Centrum dysponuje pełną ekspertyzą techniczną w następujących dziedzinach:

(a) Mechanika

- (b) Elektronika analogowa i cyfrowa oraz systemy zasilania
- (c) Oprogramowanie
- (d) Naziemne systemy wspomagania eksperymentu, elektroniczne i mechaniczne
- (e) Proste układy optyczne

Częściowe kompetencje lokują się w:

- (a) Sensory do badania własności fizycznych powierzchni i atmosfer planet
- (b) Instrumenty rentgenowskie
- (c) Instrumenty plazmowe do pomiaru fal elektromagnetycznych

Wiedza i umiejętności pracowników CBK pozwoliłyby obecnie na zaprojektowanie i wykonanie dość złożonych systemów kosmicznych o wadze do 10 kg, np. nanosatelity, mikroladownika, planetarnego próbnika atmosferycznego, większego penetratora, czy minipojazdu planetarnego. W każdym z tych projektów CBK dysponuje około 60-70 % fachowej ekspertyzy, resztę można i trzeba by uzyskać u specjalistów w kraju i zagranicą.

Aczkolwiek przemysł kosmiczny jako taki w Polsce nie istnieje, jest wiele firm, instytutów, zakładów, działających w obszarze wysokich technologii, które potrafią dorównać poziomem firmom zachodnim. Teraz i, zapewne, przez wiele lat jeszcze nie będą mogły przestawić się na działalność w sektorze kosmicznym ze względu na płytki rynek w Polsce i brak dostępu do zamówień zachodnioeuropejskich. Jeśli jednak uda się połączyć kosmiczne know-how inżynierów z Centrum Badań Kosmicznych z potencjałem wytwórczym owych firm, to realizacja dość złożonych i ambitnych projektów kosmicznych będzie, z technicznego punktu widzenia, możliwa.

Istotny deficyt w polskim kompleksie kosmicznym to brak części infrastruktury, w którą nie inwestowano w zgodzie z potrzebami przez ostatnie 12 lat. Chodzi tu przede wszystkim o stanowiska do testów i aparaturę kontrolno-pomiarową. Przydałaby się komora próżniowo-termiczna, nowocześnie wyposażone laboratorium do testów EMC, skomputeryzowane przyrządy diagnostyczne do badania układów elektronicznych. Brak tych urządzeń nie wyklucza nas z udziału w eksperymentach (testy można wykonać odpłatnie zagranicą), ale poważnie ogranicza nasze możliwości.

Zaplecze naukowe badań planetarnych jest nieduże. W CBK działalnością naukową w tym obszarze zajmuje się około 10 osób, wliczając w to grupę mechaniki nieba prof. Sitarskiego, która bada dynamikę orbit komet i asteroidów. Bezpośredni udział w eksperymentach bierze 5 osób. Istnieje kilka rozproszonych grup lub pojedynczy naukowcy, którzy uprawiają teoretyczną tematykę planetologiczną w Instytutach Geofizyki PAN i UW, w CAMK, na wyższych uczelniach. Łącznie można oszacować na 25-30 liczbę osób, które zawodowo mają do czynienia z zagadnieniami planetarnymi. W obecnym stanie zaangażowania Polski w misje i badania kosmiczne jest to liczba wystarczająca, a zważywszy na wielki rezonans społeczny i zainteresowanie problematyką planetarną wśród młodych miłośników astronomii i astronautyki, szybko może wzrosnąć nawet o rząd wielkości (vide wyniki rekrutacji na studia doktoranckie w CBK).

Zasadniczą przeszkodą w realizacji jakiegokolwiek planowej strategii rozwoju eksperymentalnych badań planetologicznych stanowi system finansowania projektów badawczych przez KBN. Cykl przygotowania eksperymentu kosmicznego trwa 5-6 lat i powinien mieć zagwarantowane finansowanie na ten okres, biorąc pod uwagę, że projekty zostają wyłonione w drodze konkursów międzynarodowych i to określa od początku ich wysoki poziom. W systemie trzyletnich grantów obowiązującym w Polsce, projekt musi

przejsć przez dwa konkursy KBN i często się zdarza, że w drugim konkursie środki albo nie zostają przyznane albo są poważnie okrojone, mimo że merytorycznie nic takiego posunięcia nie usprawiedliwia (projekt jest wykonywany zgodnie z planem, a suma postulowanych nakładów nie przekracza kwoty preliminowanej na początku całego projektu). Ta niedorzeczna praktyka opóźnia wykonanie projektu w terminie, zagraża jego jakości, podważa zaufanie partnerów zagranicznych i, wreszcie, zmusza do finansowej ekwilibrystyki Centrum Badań Kosmicznych, które musi ratować zagrożone projekty kosztem działalności statutowej.

5. Założenia dotyczące sytuacji makroekonomicznej do roku 2010

Trudno przewidzieć jest tempo rozwoju ekonomicznego Polski w przyszłej dekadzie, tym bardziej, że zależy ono od wielu niewiadomych czynników zewnętrznych. Biorąc pod uwagę, że potransformacyjny entuzjazm społeczny wygasł, a proste rezerwy wzrostu produktu narodowego brutto wyczerpują się, że Polskę czeka trudny i rozłożony na generacje okres wytężonej pracy, w którym tempo wzrostu będzie początkowo o 2 punkty większe niż średnia w Unii Europejskiej. Takie przyrosty doprowadzą Polskę do obecnego poziomu Hiszpanii w UE, to jest do poziomu o 20% niższego niż średnia, w ciągu 25-30 lat.

Nakłady budżetowe na naukę w Polsce są mizerne, 0.32% PKB w 2002, a nie przeprowadzona restrukturyzacja wielu gałęzi przemysłu, problemy z rolnictwem, niepewność co do funkcjonowania polskiej gospodarki po przystąpieniu do Unii, nie spowodują zapewne istotnego zwiększenia środków przed rokiem 2006, a i wówczas przyrost nie musi być duży. Przy niewielkich nakładach na naukę ważny będzie sposób ich dystrybucji pomiędzy różne dziedziny. Dotychczasowe finansowanie badań kosmicznych nie napawa optymizmem na przyszłość. Być może większe zaangażowanie polskich grup badawczych w zastosowaniach technik kosmicznych pomogłoby uzyskać istotniejsze wsparcie ze środków budżetowych.

Sama Unia Europejska stoi przed dwoma wielkimi wyzwaniami. Pierwsze z nich to możliwie bezproblemowe wchłonięcie nowych członków oraz zmiana sposobów funkcjonowania rozszerzonej Unii. Druga to odpowiedź na nową doktrynę amerykańską prezydenta Busha o hegemonii Stanów Zjednoczonych w świecie. Poszerzenie Unii w 2004 będzie procesem trudnym dla samej Unii, która musi balansować między pewnym zwolnieniem średniego tempa rozwoju związanym z koniecznością doinwestowania nowo przyjętych państw, a niezadowoleniem tychże, gdy inwestycje nie będą znaczące. Nowi członkowie, patrząc realistycznie, nie mogą spodziewać się radykalnej poprawy stanu gospodarki i poziomu życia w krótkiej skali czasu. Unia będzie, zapewne, selektywnie wykorzystywać potencjał państw środkowoeuropejskich, wybierając to, co służyć będzie jej strategicznym interesom, więc technologicznemu wyścigowi ze Stanami Zjednoczonymi i krajami dalekowschodnimi oraz zdobywaniu nowych rynków zbytu. Z tego punktu widzenia, szansę na szybkie wchłonięcie do ogólnoeuropejskiego systemu gospodarczego mają przede wszystkim te dziedziny wysokich technologii, których produkty trafią w zapotrzebowanie rynku (telekomunikacja w połączeniu z zastosowaniami sieciowymi, nowe systemy informatyczne, biotechnologie, diagnostyka medyczna, itp.), zaś dopiero w drugim rzucie badania i technologie bardziej podstawowe lub stosowane na ograniczonym rynku; do tej kategorii należą też badania kosmiczne. Wyzwanie rzucone Europie przez USA, zgodnie z nową doktryną strategiczną prezydenta Busha, oznaczać będzie przyspieszenie rozwoju amerykańskich systemów zapewniających krajowi bezpieczeństwo i kontrolę nad resztą świata, a więc w szczególności systemów satelitarnych i technologii kosmicznych. Równocześnie, Stany Zjednoczone będą starały się ograniczyć innym krajom dostęp do tych systemów i technologii wytworzonych w USA. Europejska odpowiedź będzie

prawdopodobnie polegała na wymuszonym rozwoju technologii, które będą objęte całkowitym lub częściowym embargo amerykańskim. Tak już się dzieje z systemem nawigacji satelitarnej: GPS stworzony dla celów wojskowych i kontrolowany przez armię USA znajdzie wkrótce swój cywilny europejski odpowiednik w postaci systemu Galileo. Inne kosmiczne programy europejskie, które mogą wkrótce nabrać, z podobnych przyczyn, rozmachu to monitorowanie Ziemi, nowe systemy wynoszenia satelitów, miniaturyzacja (nanosatelity), by wymienić najważniejsze.

6. Dopasowana strategia rozwoju badań kosmicznych w Polsce

Przystąpienie Polski do Unii będzie szansą dla tych branż, które łatwo będą mogły włączyć się do europejskiego obiegu gospodarczego. Niewątpliwie sektor wysokich technologii, a więc i badania kosmiczne, do nich należy. Niestety, z przyczyn formalnych, bez przystąpienia Polski do ESA fundusze europejskie na badania i technologie kosmiczne będą niedostępne lub dostępne w bardzo ograniczonym zakresie. Trzeba więc szukać szans w programach Unii Europejskiej (np. 6 i 7 program ramowy), które nastawione są na aplikacje technik kosmicznych w badaniach Ziemi, a więc nie mają wprost wiele wspólnego z badaniami planetarnymi w głębokim kosmosie, stanowić mogą jednak dobre pole do rozwoju uniwersalnych technik, możliwych do zastosowania poza Ziemią. Na przykład przyrządy i metody teledetekcyjne stosowane są zarówno do obserwacji Ziemi, jak i na misjach kosmicznych. Podobnie przyrządy do badań in-situ powierzchni planet mają swoje odpowiedniki geofizyczne: czujniki temperatury i wilgotności gleb, radary sondujące warstwy podpowierzchniowe Ziemi, czy penetratory typu kret.

Wysiłek Centrum Badań Kosmicznych w ostatniej dekadzie zmierzał do przystosowania tej instytucji do wymogów ESA, co w pełni się udało (patrz rozdział 3 o polskich badaniach planetarnych). W toku tej konwergencji Centrum idealnie dopasowało się strukturalnie do współpracy w kosmicznych programach europejskich: małe grupy inżynierów i naukowców uczestniczą w międzynarodowych konsorcjach i pokrywają cały obszar badań, więc planety, obserwacje Ziemi i jej otoczenia, geodezję satelitarną. Dzięki temu rozproszeniu wysiłku, Centrum może przetrwać wszystkie wahania koniunktury w badaniach kosmicznych, zwolnienie postępu w europejskich badaniach planetarnych jest kompensowane intensywniejszymi pracami w badaniach Ziemi; zawsze część zespołów CBK jest aktywnym uczestnikiem misji. Naturalnym krokiem jest więc włączenie się Polski do ESA, do której trzeba by wówczas wpłacać składkę roczną będącą niewielką częścią dochodu narodowego. Pieniądze te mogłyby wracać do polskiego przemysłu w postaci zleceń z ESA. Ryzyko utraty (nieodzyskania) tych funduszy jest nieduże; wszystkie projekty techniczne, które ostatnio realizowaliśmy (Cassini, Rosetta, Mars-Express) mogłyby być finansowane z tego programu, ponieważ charakteryzują się dużym stopniem inowacyjności, a takie projekty są w ESA wysoko cenione. Niestety nie ma obecnie woli politycznej, również wśród osób decydujących o priorytetach polskiej nauki, aby takiej akcesji do ESA dokonać. Zwlekanie z decyzją o przystąpieniu może doprowadzić w skali 10 lat do uwiądnięcia polskich badań kosmicznych, bowiem średnia wieku doświadczonej kadry naukowo-technicznej CBK przewyższa 50 lat, a młodzi adepci badań nie uczestnicząc w programach kosmicznych nie mają takich możliwości taniego zdobywania doświadczeń, jaką dla generacji starszej stanowił program Interkosmos. Pewną szansę stanowi program PECS, utworzony przez ESA specjalnie dla państw naszego regionu, w którym składka roczna stanowi 1 mln. Euro, nie przekracza więc 50% rocznego budżetu CBK.

Unia Europejska zaczęła ostatnio doceniać rolę badań kosmicznych w nawigacji, badaniach Ziemi, w rozwoju wysokich technologii, a także w zapewnieniu wspólnocie europejskiej większego bezpieczeństwa poprzez monitorowanie powierzchni Ziemi z kosmosu, co dotychczas było domeną Stanów Zjednoczonych. Konsekwencją tej konstatacji było nawiązanie ściślejszej współpracy z Europejską Agencją Kosmiczną i zdefiniowanie kilku wspólnych programów. Należą do nich przede wszystkim Galileo i Gmes, które znalazły swoje miejsce w Szóstym Programie Ramowym. Polskie instytuty badawcze zajmujące się badaniami kosmicznymi i ich aplikacjami mogą i powinny uczestniczyć w tych programach. Nie są to programy związane wprost z badaniami planet, jednak metody sprawdzone w badaniach Ziemi prędzej czy później stosowane są w misjach planetarnych.

Kluczowym elementem programu kosmicznego jest uczestnictwo w misjach kosmicznych, co wymaga spełnienia dwu warunków: posiadania fachowego grupy naukowej oraz włączenia się w konstrukcję przyrządów i/lub systemów kosmicznych. Ten drugi warunek stanowi obecnie przepustkę do eksperymentowania w kosmosie. Centrum Badań Kosmicznych dysponuje grupą około 20 inżynierów, którzy mają pełne przygotowanie i doświadczenie do brania udziału w najbardziej ambitnych przedsięwzięciach kosmicznych. Reprezentują też prawie wszystkie istotne dyscypliny inżynierii kosmicznej: mechanikę, elektronikę analogową i cyfrową, informatykę i programowanie, optykę. Około jedna trzecia z tej grupy, to potencjalni kierownicy zespołów inżynierskich wykonujących złożone przyrządy najwyższej klasy światowej. Istotnym elementem polskiej strategii kosmicznej musi być utrzymanie i sukcesywne odmładzanie tego zespołu inżynierskiego, który stanowi rdzeń polskiego programu kosmicznego. Najważniejszym środkiem, poza oczywistym dbaniem o właściwy poziom wynagrodzenia tej grupy, jest zagwarantowanie udziału wszystkim zespołom inżynierskim w eksperymentach kosmicznych. Tylko w ten sposób można będzie utrzymać wysoki poziom – postęp techniczny w badaniach kosmicznych dokonuje się niezwykle szybko. W praktyce oznacza to otwieranie co roku nowego projektu – uczestnictwa w technologicznie zaawansowanej misji kosmicznej.

Istotnego poszerzenia wymaga kadra naukowa CBK. Obecnie w misjach kosmicznych uczestniczy wąska grupa około 5 osób, głównie z grup teledetekcji i planetologicznej. Powoduje to uczestnictwo jednej osoby w wielu projektach, ze szkodą dla jakości badań. Rozwiązaniem, poza oczywistym lecz wymagającym czasu kształceniem nowych specjalistów (doktoranci) jest przegrupowanie sił wewnątrz CBK; naukowcy z dziedzin, których rola w badaniach kosmicznych powoli się zmniejsza (np. jonosfera) mogliby przestawić się na badania planet wewnętrznych układu słonecznego czy też komet, przenosząc umiejętności zdobyte w toku poprzednich badań. Jest to tym ważniejsze, że właściwe wykorzystanie zespołów inżynierskich wymaga uczestnictwa w każdej misji ESA, co z konieczności pociąga za sobą znalezienie najlepiej 2 naukowców na eksperyment w takich dziedzinach jak badania Marsa, Wenus czy Merkurego, a w przyszłości planet zewnętrznych i ich satelitów.

Komplementarnie, zespoły z CBK powinny w większym stopniu uczestniczyć w misjach związanych z badaniami Ziemi wszelkiego typu: atmosfery, oceanów, pola grawitacyjnego, powierzchni. Misji tego typu jest znacznie więcej niż misji pozaziemskich, zatem łatwiej jest uzyskać udział w projekcie sprzętowym, tak istotnym dla podtrzymania aktywności grup inżynierskich. Co więcej, metody zdalnych badań stosowanych na misjach ziemskich, po pewnym czasie przechodzą do badań planetarnych, nie ma więc mowy o technologicznym dublowaniu wysiłku. Również od strony badawczej i interpretacyjnej atmosfery, powierzchnie i wnętrza planet bada się metodami przeniesionymi z geofizyki i geodezji satelitarnej. Ponieważ badania Ziemi uzyskały najwyższy priorytet w programach

zarówno Amerykańskiej, jak i Europejskiej Agencji Kosmicznej, zatem logiczną odpowiedzią instytutów zajmujących się badaniami kosmicznymi powinna być rozsądna reorientacja ich planów badawczych. Jest to tym ważniejsze w Polsce, gdzie tematyka badań Ziemi z kosmosu jest rozproszona pomiędzy wiele instytutów. Szczególna rola może tu przypaść Centrum Badań Kosmicznych, które dysponuje ekspertyzą w większości działów badania Ziemi, potrafi konstruować stosowne instrumenty pomiarowe i analizować dane. Może więc pełnić rolę współkoordynatora razem z Instytutem Geodezji i Kartografii, wyspecjalizowanym w analizie zdjęć i obrazów satelitarnych.

Kolejnym ważnym elementem polskiej strategii kosmicznej powinno być przygotowanie się do uczestnictwa w następnej generacji misji kosmicznych i rozwój tych technologii, które mogą być kluczowe w tych misjach. Oznacza to, połączony z pewnym ryzykiem, wybór kilku perspektywicznych kierunków badań i technologii, nad którymi prowadzone będą własne prace rozwojowe, nie związane początkowo z konkretną aplikacją. Oprzeć się trzeba o te nurty działalności Centrum, w których nie ustępujemy światu, bądź włączyć w te badania, które poczęły się niedawno i w których dystans do czołówki jest nieduży. Kandydatami do takich „lokomotyw postępu” mogą być urządzenia i instrumenty do badania powierzchni planet: penetratory stacjonarne i ruchome (kret), mikroroboty i mikropojazdy planetarne, teledetekcyjne instrumenty hiperspektralne, czy wreszcie najbardziej ambitne: nanosatellity. Innym kierunkiem rozwojowym mogą być autonomiczne systemy sterowania instrumentami oparte o metody sztucznej inteligencji, czy też pokładowe systemy interpretacji wyników pomiarów oparte o zawansowane metody odwrotne. Metoda postępowania przy otwieraniu nowych kierunków badań i rozwoju technologii powinna opierać się o rozwiązania od dawna sprawdzone w przygotowaniu eksperymentów kosmicznych a polegające na stopniowym zawężaniu i pogłębianiu pola badań w miarę postępu prac. Pierwsze dwie fazy, A i B, polegają na rozwinięciu koncepcji nowego rozwiązania podbudowanej szerokimi studiami literaturowymi oraz na stworzeniu modelu funkcjonalnego rozważanego przyrządu. Są to najmniej kosztowne, w sensie inwestycji sprzętowych, fazy przygotowania do eksperymentu i pozwalają na równoległe rozwijanie kilku projektów przez ten sam zespół w fazie A.

7. Ocena wymaganych nakładów

Nakłady na badania planetarne i rozwój technologii kosmicznych podzielić można na trzy grupy:

- (i) bezpośrednie nakłady na udział polskich grup badawczych w eksperymentach kosmicznych,
- (ii) środki na rozwój infrastruktury, tj. stanowisk do testów, wyspecjalizowanych przyrządów kontrolno-pomiarowych, wydajnych komputerów i oprogramowania, książek i czasopism naukowych i technicznych,
- (iii) nakłady na prace rozwojowe i poszukiwanie nowych rozwiązań, które mogłyby być zastosowane w przyszłych misjach.

Dotychczasowe doświadczenia pokazały, że udział w jednym eksperymencie kosmicznym, przygotowanie którego zabiera około 5 lat, pochłania około 1 mln Euro, czyli około 4 mln zł. Kwotę tę trzeba będzie w przyszłości zwiększyć o 50%, ze względu na nieuchronne zwiększenie kosztów osobowych po akcesji oraz o dalsze 50% na pokrycie kosztów elementów i podzespołów dotychczas finansowanych przez ESA lub partnerów zagranicznych. Liczba misji planetarnych jest ograniczona; do roku 2010 są w planach ESA misje Venus-Express, Bepi-Colombo dwie misje marsjańskie. W drugiej połowie dekady

pojawiają się jedna-dwie nowe propozycje. Łącznie udział w pięciu misjach kosztować powinien około 40 mln zł, a więc średnio około 5 mln zł rocznie.

Rozwój infrastruktury powinien być systematyczny, poza pierwszym okresem, gdy nadrobić trzeba będzie opóźnienia inwestycyjne. Niezbędny będzie zakup średniej komory próżniowo termicznej, odnowienie i wyposażenie laboratorium do testów EMC, doposażenie pomieszczenia do czystego montażu. Łączne koszty powinny zamknąć się kwotą 6-7 mln. Zakup centralnego komputera dla Centrum, opartego o tanie rozwiązanie klastrów, to wraz z licencjonowanym oprogramowaniem i serwisem koszt rzędu 1-2 mln zł. Łącznie daje to około 8 mln zł. Nakłady na mniejszy sprzęt, stałe dalsze odnawianie i podtrzymywanie infrastruktury to koszty rzędu 1 mln zł rocznie. Podsumowując, na cele infrastrukturalne należałoby przeznaczać średnio około 2 mln zł rocznie.

Prace rozwojowe mają zapewnić instytutowi możliwość ulokowania się w przyszłości w ważnych i perspektywicznych obszarach badawczych i technologiach, poprzez wcześniejsze przygotowanie i sprawdzenie nowych rozwiązań. Do takich obszarów i technologii, w których bądź to mamy już doświadczenie, bądź to dysponujemy wykształconą kadrą techniczną należą: penetratory i elementy lądowników, małe próbniki i mikrolądowniki, czy też, najbardziej ambitne, nanosatellity. Duży potencjał techniczny i kadrowy ulokowany jest w elektronicznych systemach pokładowych i naziemnych oraz w projektowaniu oprogramowania lotnego. Rozwojową dziedziną, zarówno od strony technicznej, jak i naukowej i interpretacji danych jest teledetekcja, w szczególności przyrządy hiperspektralne. Finansowanie prac rozwojowych na średnim poziomie 1 mln zł rocznie powinno pozwolić na prowadzenie prac studyjnych i konstrukcje modeli pretechnologicznych przyrządów w kilku wybranych dziedzinach.

Podsumowując, przy średnich nakładach rocznych rzędu 8 mln zł rocznie, badania planetarne i rozwój technologii kosmicznych może rozwijać się w CBK na skromnym ale wysokim poziomie. Ambitniejsze plany wymagałyby będą większych nakładów, jednak ze względu na ograniczony potencjał ludzki w CBK, powinny być początkowo przeznaczone na szybkie kształcenie i zatrudnienie nowej kadry, a dopiero później na bezpośrednie inwestycje w badania. W takim optymistycznym wariantcie, możliwe do skonsumowania środki na badania planetarne i technologie byłyby pod koniec dekad o 50%, a średnio o 25% wyższe od wymienionych poprzednio 8 mln, zatem mogłyby osiągnąć 12 mln zł w roku 2010. Przedstawione oszacowania nie obejmują środków sektora prywatnego oraz inwestycji na projekty związane z badaniami kosmicznymi dokonywanymi w placówkach badawczych, dla których rozwój technologii kosmicznych nie stanowi priorytetu.

8. Podsumowanie

Najważniejsze zadania stojące przed polskimi badaniami kosmicznymi to:

- (i) uzyskanie stabilności finansowej i możliwości inwestowania w wybrane projekty rozwojowe,**
- (ii) podtrzymywanie i rozwijanie wyselekcjonowanych z dotychczasowych kierunków badawczych w warunkach ostrej konkurencji międzynarodowej,**

- (iii) zapewnienie grupom inżynierskim udziału w misjach i eksperymentach kosmicznych,**
- (iv) większe zaangażowanie w badania Ziemi, które stanowią obecnie jeden z priorytetów badawczych największych agencji kosmicznych,**
- (v) wybranie kilku dziedzin rozwojowych, w których prowadzone będą studyjne prace badawcze z perspektywą zastosowań za około 5 lat.**

FIZYKA PLAZMY KOSMICZNEJ

Najprawdopodobniej złotą epokę w dziejach fizyki plazmy kosmicznej mamy za sobą. Dziedzina ta wybiła się w latach 50-ych i 60-ych minionego wieku odkrywając wpierw nie tylko nieznaną – ale również nieoczekiwany - świat zjawisk elektromagnetycznych wokół Ziemi, a później wokół innych planet i w Układzie Słonecznym jako całości. Opinia publiczna była chyba najbardziej poruszona odkryciami z lat 70-ych i 80-ych dokonanymi przez sondy Pionier 1 i 2, oraz Voyager 1 i 2 w czasie ich oblotu wielkich planet Układu Słonecznego.

Obok chęci poznania nowej klasy zjawisk, również inne okoliczności sprzyjały szybkiemu początkowo rozwojowi fizyki plazmy kosmicznej :

- silne sprzężenie z badaniami geofizycznymi wysokiej atmosfery prowadzonymi z powierzchni globu,
- synergia rozwoju metod eksperymentalnych i koncepcji teoretycznych ze sferą usiłowań zmierzających do opanowania kontrolowanej reakcji termojądrowej,
- wykorzystanie metod teoretycznych wypracowanych w fizyce plazmy kosmicznej do burzliwie rozwijającej się heliofizyki i ogólnie astrofizyki,
- potrzeby technologii i inżynierii kosmicznej mających zapewnić właściwe funkcjonowanie aparatów kosmicznych w przestrzeni.

Dzisiaj umiejętności inżynierskie są dostatecznie rozwinięte by – przy budowie typowych satelitów nie musieć odwoływać się do najnowszych koncepcji fizycznych wypracowywanych w pracach poznawczych; astrofizyka w dużym stopniu przyswoiła już sobie dorobek konceptualny fizyki plazmy kosmicznej; program kontrolowanej reakcji jądrowej przeżywa regres.

Pozostaje punkt pierwszy z powyższej listy, ale w zupełnie nowym wydaniu. Z jednej strony szansa na odkrycie zasadniczo nowych zjawisk w plazmie Układu Słonecznego wydaje się niezbyt wielka; z drugiej strony niepomniernie wzrosło zainteresowanie kompleksem zjawisk obejmujących całość atmosfery Ziemi wraz z jej otoczeniem plazmowym, wpływ promieniowania elektromagnetycznego Słońca i jego wiatru plazmowego na stan tego układu, badania związanych z tym krótko- i długookresowych zmian klimatu, analizę sytuacji przeszłych i prognozowanie przyszłych z punktu widzenia możliwych reperkusji w biosferze itd. Powoduje to, że głównym motorem działań staje się nie tyle pragnienie poznania nowych zjawisk co względy praktyczne. Cały powyżej wspomniany kompleks spraw uzyskuje zwolna status jakim do tej pory obdarzano szeroko rozumianą ekologię, badania „naturalnego środowiska człowieka” itp.

Co to oznacza dla fizyki plazmy kosmicznej? Twierdzę, że prowadzi to do zasadniczej zmiany w usytuowaniu tej dyscypliny na mapie naukowej. Fizyka plazmy kosmicznej traci swój quasi-monopol na opisywanie procesów fizycznych w przestrzeni okołoplanetarnej (okołoplanetarnej), i międzyplanetarnej. Zjawiska plazmowe pozostają oczywiście istotne, ale z punktu widzenia odbiorcy – naukowca czy praktyka - inne aspekty, do tej pory pomijane,

mogą się stawać bardziej ważne. Fizyka plazmy kosmicznej zaczyna się rozplýwać w ogólnym morzu fizyki. Ewolucję taką w ubiegłym wieku przeszła astrofizyka, która startując od zagadnień emisji elektromagnetycznej gorącego gazu doszła do punktu, w którym musi zajmować się wszystkim : od teorii strun do ogólnej teorii względności, nie omijając po drodze fizyki ciała stałego i innych działów początkowo pozornie nieważnych...

Taka ewolucja tematyki skupionej dotychczasowo w „fizyce plazmy kosmicznej” powinna owocować nowymi i silnymi sprzężeniami z obszarami nauk, które są ważne zarówno dla oświeconej opinii publicznej jak i dla kół gospodarczych i politycznych. Można oczekiwać z różnych stron nowych impulsów do działania. Nasuwają tu się, przykładowo, takie możliwości:

Po pierwsze - globalny monitoring i badanie środowiska, w którym żyje człowiek, nie może nie obejmować zjawisk plazmowych w naszym otoczeniu, jako że szybko narastają dowody wpływu tych zjawisk na stan i ewolucję geo-bio-sfery. Oznacza to, że gama specjalności fizykalnych używanych w badaniach plazmy kosmicznej stanie się znacznie szersza: na przykład, można się spodziewać, że cała fizyka procesów charakteryzujących się energiami zarówno <1 eV, ~ 1 eV, jak i keV-MeV powinna być istotna; powinny pojawić się silne sprzężenia z chemią, a też z niektórymi dyscyplinami Nauk o Życiu (gdymby istotnie odkryto życie poza Ziemią, ta tematyka mogłaby zdominować wszystkie inne). W konsekwencji, odpowiednio rozszerzona fizyka plazmy kosmicznej może skorzystać ze zwiększającego się w Europie zainteresowania publiczności szeroko rozumianą ekologią. Można też oczekiwać, że zwiększy to atrakcyjność intelektualną i przyciągnie utalentowaną młodzież.

Po drugie – historia powstania Układu Słonecznego, ewolucji Ziemi, klimatu, biosfery, możliwych przeszłych i przyszłych kosmicznych zagrożeń radiacyjnych, jest w wielu aspektach silnie powiązana z procesami plazmowymi. Stwarza to bardzo szeroki styk fizyki plazmy kosmicznej z wieloma dyscyplinami zajmującymi się procesami fizycznymi ważnymi dla rozwoju nauk o Ziemi i jej ewolucji. Innym naturalnym obszarem styku jest i będzie astrofizyka.

Po trzecie - umiejętności eksperymentowania i dokonywania pomiarów w warunkach przestrzeni kosmicznej, wykształcone w dużym stopniu w badaniach plazmy, są wykorzystywane od dawna w innych obszarach, np. astrofizyce. Co więcej, nagromadzone umiejętności stwarzają praktyczną możliwość stawiania doświadczeń podstawowych dla całości fizyki, a nawet –mówiąc wprost – podstawowych dla naszego rozumienia świata : na przykład, czy istotnie istnieją dodatkowe wymiary, być może „skompaktowane” ? Jest szansa, że rozstrzygnięcie tej kwestii przy pomocy pomiarów dokonanych z aparatów kosmicznych nie musi być bardzo odległe – jedno, dwa dziesięciolecia. Waga takich pytań dociera do świadomości gremiów kierowniczych ESA i NASA, bowiem ewentualna odpowiedź byłaby w krajach cywilizacyjnie zaawansowanych dobrze „sprzedającym się” społecznie produktem.

Po czwarte – niektóre z działów rozwiniętych w ramach fizyki plazmy kosmicznej, na przykład kompleks t.zw. oddziaływań Słońce-Ziemia, obecnie często nazywany „pogodą kosmiczną, dobił się w pewnej mierze statusu działalności gospodarczej. Naukowe rozeznanie w tej dziedzinie i operacyjne prognozy są ważne dla łączności, telewizji satelitarnej, energetyki w niektórych krajach, i generują pieniądze na prowadzenie prac.

Jak się do tego ma sytuacja w Polsce ?

1. Istniejące grupy naukowe zajmujące się badaniami z zakresu fizyki plazmy kosmicznej (Warszawa, Wrocław, Toruń plus kilka mniejszych grup) liczące łącznie około 50 osób udowodniły w minionych 1 – 2 dziesięcioleciach, iż potrafią naukowo dobrze sobie radzić w konkurencji międzynarodowej, zarówno w badaniach teoretycznych jak i niektórych kierunkach eksperymentowania. Jednakże, wobec spodziewanej ewolucji zarysowanej powyżej, nie wydaje mi się by w Polsce odrębność dyscypliny „fizyka plazmy kosmicznej” warta była utrzymania - i by dało się to zrobić – dłużej niż przez kilka najbliższych lat. Powinno się przede wszystkim rozbudowywać sprzężenia z innymi dyscyplinami – bo to będzie płodne poznawczo i tam będzie można znaleźć pieniądze umożliwiające start programach międzynarodowych (po części to się już dzieje na styku z planetologią, astrofizyką). Należy wspierać organizowanie seminariów, warsztatów i szkół letnich/zimowych funkcjonujących na styku dyscyplin, oczywiście z udziałem uczestników zagranicznych. Kwestie interdyscyplinarności powinny mieć silne odbicie w doborze i kształceniu młodej kadry.

2. W skali międzynarodowej, a w szczególności w Europie, planowane misje badawcze nie stawiają sobie za główny cel badania procesów plazmowych, z istotnym wyjątkiem dla Słońca (przy czym głównie metodami optycznymi). Szansy na poważne partnerstwo w dłuższej skali czasowej trzeba szukać w misjach związanych z innymi dziedzinami wspomnianymi poprzednio. Co prawda kraje nordyckie mogą z lokalnych powodów być w dalszym ciągu zorientowane na fizykę plazmy kosmicznej, ale jest to płytka nisza.

3. Jako główny cel do osiągnięcia do r. 2010 stawiałbym uruchomienie procesu przekształcania grup fizyki plazmy kosmicznej w grupy fizyków reprezentujących szerszą gamę specjalności, tak by pole badań mogło być zasadniczo poszerzone, zgodnie z ogólnymi trendami. Aby to osiągnąć należy – oprócz odpowiedniego kształcenia młodych adeptów nauki – przyciągnąć na stałe do badań kosmicznych dojrzałych naukowców z innych działów fizyki. Powinno to się dać zrobić, bowiem znaczna liczba nowych dr habil. z fizyki nie ma szans na uzyskanie profesury na uczelniach.

Oczywiście, w tych obszarach gdzie istnieje zapotrzebowanie „gospodarcze” na badania z fizyki plazmy kosmicznej (np. pogoda kosmiczna), należy wspierać dalszy rozwój odpowiednich grup.

4. Należałoby zabiegać o doprowadzenie do świadomości fizyków w Polsce, iż CBK sprawdziło się jako skuteczny koordynator polskiego udziału w misjach kosmicznych i że może być użyteczne do rozkręcenia w Polsce badań o podstawowym znaczeniu. Jako jedną z możliwości widzę podjęcie w Polsce inicjatywy utworzenia grupy t.zw. fizyki fundamentalnej. Z doświadczenia wiem, że tematyka ta bardzo żywo porusza środowisko fizyków w skali światowej (a również astrofizyków). Stworzyłoby to okazję do zaprezentowania CBK jako platformy do rozwoju tematyki o pierwszorzędym znaczeniu, nawet gdyby udział CBK sprowadził się w pierwszym etapie tylko do strony organizacyjnej.

Prawdopodobnie analogiczne posunięcia byłyby to pomysły i w innych kierunkach działania np. na styku z zagadnieniami powstawania życia.

Nakłady na zapoczątkowanie nowych kierunków badań fizykalnych nie muszą być duże. Powiedzmy, w ciągu kilku pierwszych lat uruchamia się 3 nowe grupy, t.zn. zatrudnia łącznie ok. 10 osób. Stanowi to tylko $\sim 1/5$ istniejących stanowisk pracy w obszarze fizyki w badaniach kosmicznych, a w dodatku kierownicy tych grup (dr hab.) mogliby być zatrudniani na miejsce profesorów odchodzących na emeryturę.

Dr. Jan Błęcki
Doc. dr. hab. Jan Hanasz
Doc. dr hab. Barbara Popielawska
Centrum Badań Kosmicznych PAN

II UWAGI W SPRAWIE BADAŃ PLAZMY KOSMICZNEJ

Badania kosmiczne rozpoczęły się od badania plazmy w bliższej i dalszej przestrzeni kosmicznej. Bardzo szybko osiągnęły wysoki poziom i zmieniły obraz otaczającej nas przestrzeni. Polscy badacze włączyli się w ten nurt badań eksperymentem badającym emisje radiowe w otoczeniu Ziemi z pokładu satelity Interkosmos KOPERNIK-500 w r. 1973 . Następne lata zaowocowały serią polskich eksperymentów na satelitach Interkosmos , z których należy wymienić Prognoz 8, CORONAS, Vega i Interball. Wyniki otrzymane z tych eksperymentów były podstawą wielu ważnych publikacji w najbardziej znaczących czasopismach światowych. Obecnie na orbicie znajduje się układ 4 satelitów- CLUSTER przygotowanych i wyniesionych przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA). Satelity te badają procesy plazmowe w magnetosferze ziemskiej pod kątem określenia charakterystyk przepływu energii i masy z wiatru słonecznego do najbliższego otoczenia Ziemi. Mimo iż na tych obiektach nie ma polskiej aparatury, to polscy badacze zostali zaproszeni do współpracy w opracowywaniu i interpretacji wyników z tych satelitów. Wiadomo, że misja ta będzie pracowała do końca 2007 roku. W najbliższym czasie wyniesiony zostanie układ 2 satelitów chińskich –Double Star, zawierających aparaturę przygotowaną zarówno przez ESA jak i przez naukowców chińskich. Planuje się wspólne kampanie pomiarowe Clustera i Double Star, co znacznie zwiększy potencjał badawczy obu misji.

Polska aparatura przeznaczona do badania plazmy kosmicznej zostanie w najbliższym czasie wyniesiona w przestrzeń kosmiczną na pokładzie francuskiego satelity DEMETER, skonstruowanego przez francuską agencję kosmiczną CNES. Ten satelita będzie także uzupełniał pomiary satelitów CLUSTER, a przeznaczony jest głównie do badania związków między procesami w przestrzeni okołoziemskiej z procesami wewnątrz Ziemi. W przygotowaniu jest także seria misji amerykańskich poświęconych badaniom plazmy magnetosferycznej, w których udział ESA nie jest wykluczony.

Mimo, że okres najbardziej burzliwego rozwoju związanego z pionierskimi badaniami ta dziedzina ma poza sobą, to nowe technologie i nowe misje otwierają etap jakościowo bogatszy i należy w najbliższych latach spodziewać się wyników, które dadzą odpowiedź na kluczowe, nierozwiązane jeszcze problemy związane z oddziaływaniem Słońce- Ziemia. Należy także podkreślić istotny związek tych badań z burzliwie rozwijającym się kierunkiem ich zastosowań związanych z problematyką tzw. „pogody kosmicznej”.

Z ekspertyzy prof. Grzędzielskiego przebija przekonanie, że fizyka kosmiczna przeżyła swój złoty wiek i w tej sytuacji nie warto utrzymywać jej odrębności. Grube tomy najważniejszego w tej dziedzinie czasopisma na świecie, Journal of Geophysical Research – Space Physics (stałe jeszcze grubiejące) zdają się przeczyć temu pogładowi i potwierdzać, że fizyka kosmiczna wciąż ma się całkiem dobrze.

Fizyka kosmiczna zachowuje swoją odrębność i wyjątkowość, ponieważ jej obiektem badawczym jest plazma kosmiczna rozprzestrzeniona wokół Ziemi, gdzie jednocześnie są dostępne zarówno pomiary plazmy „in situ”, a więc we wnętrzu obszaru, w którym mają miejsce oddziaływania fal plazmowych i cząstek naładowanych, jak też i obserwacje „z oddali” – produktów tych oddziaływań w postaci widm fal elektromagnetycznych w zakresach radiowym, optycznym i rentgenowskim. Astrofizyka jest ograniczona tylko do modelowania procesów prowadzących do emisji określonego widma fal elektromagnetycznych. Tylko fizyka kosmiczna umożliwia konfrontację pomiarów „in situ” z obserwowanymi widmami fal elektromagnetycznych. Ten fakt ma podstawowe znaczenie zarówno dla badań podstawowych w dziedzinie fizyki plazmy, jak też i dla poznania procesów zachodzących w przestrzeni wokółziemskiej.

Myślę, że jesteśmy dopiero na początku drogi do poznania i zrozumienia złożonych i zmieszanych procesów plazmowych zachodzących w przestrzeni otaczającej Ziemię zarówno w mikro- jak i makro-skali. Teraz dopiero pojawiły się zupełnie nowe możliwości eksperymentowania w kosmosie dzięki niezwykle szybkim nowym technikom zapisu, przekazywania i analizy danych eksperymentalnych, jak również dzięki nowym możliwościom szybko rozwijających się technik symulacji ogromnych ansambli cząstek naładowanych.

Prof. Grzędzielski wyraził tezę o „rozplywaniu” się fizyki kosmicznej w ogólnym morzu fizyki. Te tezę zmodyfikowałbym na tezę o wykorzystaniu metod fizyki kosmicznej w innych dziedzinach. Wydaje się, że w chwili obecnej rysują się dwa ważne zastosowania:

- 1) **Pogoda kosmiczna.** Jesteśmy dopiero na bardzo wstępnym etapie poznawania oddziaływań Słońce-Ziemia, w których pośrednią rolę odgrywają zjawiska w wietrze słonecznym i w magnetosferze ziemskiej. Słabo jak dotąd są poznane sprzężenia wiatru słonecznego, magnetosfery, jonosfery i dolnej atmosfery. Postęp w rozumieniu tych procesów będzie zależał głównie od postępu w poznawaniu podstawowych procesów w otaczającej plazmie kosmicznej.
- 2) **Oddziaływania magnetosfery z litosferą.** Badania te mogą mieć zastosowania w prognozowaniu trzęsień ziemi. Chodzi o pobudzanie fal elektromagnetycznych w magnetosferze przez procesy w skorupie ziemskiej poprzedzające trzęsienia Ziemi. „Demeter” – francuski projekt, którego zadaniem jest badanie generacji i rozprzestrzeniania się fal elektromagnetycznych stymulowanych przez zjawiska w litosferze, w którego przygotowaniu i definicji aktywnie uczestniczy grupa fizyków i inżynierów z CBK, jest dobrym przykładem ukierunkowania badań w dziedzinie fizyki plazmy kosmicznej na zastosowania, których ważność nie podlega dyskusji.

Wprawdzie w poznaniu plazmy kosmicznej otaczającej Ziemi został dokonany ogromny postęp (‘złoty wiek’) to jednak wciąż jeszcze potrzeba bardzo wielu pomiarów i obserwacji dla zadowalającego zrozumienia zjawisk w niej zachodzących, by móc wykorzystać tę wiedzę do praktycznego prognozowania. Nie wiemy nawet, w jakim stopniu będzie to możliwe.

To prawda, że obecnie skończył się już definitywnie „wyścig” eksperymentów w dziedzinie fizyki kosmicznej na rzecz wolniej przygotowywanych i kompleksowych misji kosmicznych. Może się więc wydawać, że fizyka kosmiczna przeżywa swój schyłek. Przykładem jest CLUSTER, badający magnetosferę ziemską z czterech identycznych satelitów orbitujących w niewielkich odległościach od siebie po to by rozróżnić zmiany

czasowe od przestrzennych. Tego rodzaju projekty z konieczności są realizowane rzadziej, bo angażują duże zespoły naukowców i techników, są przygotowywane za bardzo duże pieniądze przez szereg lat, i dostarczają zupełnie nowych odkryć. Wyniki są publikowane przez szereg lat w licznych artykułach w najlepszych czasopismach na świecie. Ogromne strumienie danych, jakie dają takie misje (można wymienić tu jeszcze inne jak np. Interball, FAST, IMAGE) mogą i są wykorzystywane przez innych naukowców nie związanych z eksperymentatorami bezpośrednio, na podstawie zobowiązań podjętych w ramach ISTP (International Solar Terrestrial Physics Program) o otwartym dostępie do danych uzyskanych z eksperymentów w dziedzinie plazmy kosmicznej.

Polscy fizycy „kosmiczni” uczestniczą aktywnie w tych projektach jak też i w wykorzystaniu uzyskanych danych. Stanowią oni mocną, samodzielną i bardzo aktywną, uznaną na świecie grupę naukową, prezentującą się pozytywnie na tle innych grup zajmujących się badaniami kosmicznymi w Polsce.

Opinia prof. Grzędzielskiego nie jest opinią całego środowiska naukowców zajmujących się fizyką kosmiczną w Polsce. Jego stwierdzenie, że fizyka kosmiczna przeżyła już swój złoty wiek i że się rozpływa w morzu fizyki może być sygnałem, że nie warto w tę dziedzinę inwestować. Nie dobrze by się stało gdyby fizyka kosmiczna rozwijała się na świecie bez udziału polskich uczonych.

Konkluzja z niniejszego opracowania jest więc taka że nadal warto i trzeba rozwijać w Polsce fizykę kosmiczną jako odrębną dziedzinę, nie tylko ze względu na jej szczególne możliwości poznawcze, ale także dlatego że jej postępy mogą skutkować w przyszłości w ważnych zastosowaniach (np. prognozowanie pogody kosmicznej i trzęsień Ziemi).

1. Na świecie osiągnięty został pewien standard eksperymentalny, jeśli chodzi o pomiary pola magnetycznego, elektrycznego i fal, umożliwiające przejście do badań plazmy bezzderzeniowej w mikroskali elektronowej, detektory cząstek natomiast nadal jednak są na to zbyt mało precyzyjne do skali przestrzennej i czasowej. W wielu krajach prowadzi się intensywne prace (Francja, USA, Japonia, Rosja) nad detektorami cząstek nowej generacji. Przy ich użyciu może objawić się nam całkiem nowa klasa zjawisk i procesów plazmowych. Przykładem może być rewolucja w dziedzinie badania fal plazmowych z wykorzystaniem pomiaru form falowych o olbrzymiej częstości próbkowania przekazywanych na Ziemię w bezpośrednich sesjach telemetrycznych (okazało się, np., że przestrzeń kosmiczna jest "dziurawa").

2. Silne sprzężenie skal przestrzennych, na których odbywa się oddziaływanie wiatru słonecznego z magnetosferami (w tym, Ziemi) wymaga zarówno perfekcji eksperymentalnej w mikroskali, jak i wielopunktów obserwacyjnych w dużej skali. Stąd w wielu krajach powstały plany misji typu "rój satelitarny".

Polska mogłaby w tym uczestniczyć.

2a. Ciągłe monitorowanie stanu przestrzeni okołozemskiej jest koniecznością. Misje "zwiadowcze" zawsze więc będą na orbitach. Jeśli nie damy swojego wkładu eksperymentalnego, za dane niezbędne do naszego bezpieczeństwa będziemy musieli płacić, lub też dostęp do nich będzie ograniczony. Polska powinna brać udział w programie "International Living with a Star" (<http://sec.gsfc.nasa.gov/ilws/ilws.htm>), którego uczestnikiem jest ESA.

3. Konkretnie projekty nowej fali eksperymentów fizycznych w przestrzeni okołozemskiej nadejdą w ciągu kilku lat po "skonsumowaniu" wyników bieżących eksperymentów (Polar, Cluster, Double Star, Image, Time, etc.), pod warunkiem, że nowe techniki pomiarowe zapewnią postęp w rozumieniu obszarów nadal nieznaney fizyki.

4. W badaniach Słońca, planet i małych ciał układu słonecznego, w badaniach Ziemi z pokładu satelitów zawsze będą potrzebne zaawansowane technologicznie detektory otoczenia plazmowego, warto więc zainwestować w polską specjalność w tej dziedzinie.

5. Olbrzymie praktyczne znaczenie doskonałego rozumienia procesów plazmowych wokół pojazdów kosmicznych i na drodze satelita-Ziemia (w tym, zjawisk tzw. pogody kosmicznej) wymaga nowego, bardziej precyzyjnego planu kształcenia specjalistów w dziedzinie fizyki kosmicznej, z ukierunkowaniem na modelowanie i zaawansowane prace teoretyczne potrzebne do projektowania nowych przyrządów satelitarnych. W Polsce musi być wprowadzony światowy standard kształcenia w inżynierii kosmicznej obejmujący fizykę plazmy, jeśli chcemy tu mieć przemysł kosmiczny. Nie znajdziemy chętnych do takich studiów na poziomie doktoratów, jeśli z góry zapowiemy w "Strategii.....", iż eksperymenty w dziedzinie fizyki plazmy kosmicznej w Polsce nie będą kontynuowane.

6. Fizyka plazmy to skomplikowana materia, podobnie jak przy uprawianiu fizyki relatywistycznej dochodzenie do stanu swobodnego poruszania się intelektualnego w tej materii to proces długotrwały. Za 10 lat nie powinniśmy w Polsce zaczynać w tej dziedzinie od zera.

NATURALNE I SZTUCZNE OBIEKTY W PRZESTRZENI WOKÓŁZIEMSKIEJ

W najbliższym otoczeniu Ziemi, głównie w przestrzeni otoczonej sferą o promieniu około 50 tys. km, w której porusza się większość sztucznych satelitów Ziemi, oprócz satelitów operacyjnych, będących pod kontrolą agencji kosmicznych, znajduje się duża liczba obiektów będących pozostałościami po misjach satelitarnych, zaliczanych do tzw. śmieci kosmicznych (ang. space debris). Krążą one po różnych orbitach wokół naszej planety. Pewna część z nich w bliższej lub dalszej przyszłości wejdzie w gęste warstwy atmosfery i tam spłonie, a szczątki niektórych obiektów spadną na Ziemię. Jednak duża liczba tych obiektów, szybko rosnąca z czasem, pozostanie przez tysiące, a nawet miliony lat na orbicie wokółziemskiej, stanowiąc poważne zagrożenie dla nowych misji satelitarnych.

Przez ten obszar przestrzeni wokółziemskiej przebiegają też naturalne obiekty o różnej wielkości. Są to głównie drobne cząstki materii meteoroidowej o rozmiarach milimetrycznych, jednak do rzadkości nie należą obiekty o znacznie większych rozmiarach rzędu metrów czy dziesiątek metrów. Zdarzają się też, choć bardzo rzadko, obiekty o jeszcze większych rozmiarach. Jeżeli tory tych ciał przecinają się z Ziemią, to dochodzi do różnych zjawisk w atmosferze lub na powierzchni Ziemi. Meteoroidy o najmniejszych rozmiarach po wejściu w atmosferę powodują powstanie zjawiska meteoru, większe – zjawiska bolidu, a obiekty o rozmiarach metrowych i większych po częściowym spaleniu i rozdrobnieniu w ziemskiej atmosferze spadają na powierzchnię Ziemi w postaci meteorów powodując często powstanie kraterów.

W ostatnich latach, z różnych względów, przedmiotem zainteresowania stał się znacznie większy obszar przestrzeni wokół Ziemi, do odległości 0.02 – 0.03 jednostki astronomicznej (3 – 5 mln km). Z jednej strony, w tym obszarze odbywa się coraz więcej misji kosmicznych poruszających się po orbitach halo wokół punktów libracji układu Słońce – Ziemia. Z drugiej strony, znacznie zintensyfikowano obserwacje planetoid przechodzących w pobliżu Ziemi (tzw. NEO – Near Earth Asteroids). Celem tych obserwacji jest zidentyfikowanie planetoid potencjalnie zagrażających zderzeniem z Ziemią (PHA – Potentially Hazardous Asteroids). W tym obszarze zaobserwowano już wiele planetoid o znacznych rozmiarach, przekraczających nawet kilka kilometrów. Niektóre z nich mogą w przyszłości zbliżyć się do Ziemi na niebezpiecznie bliską odległość. Uderzenie w Ziemię takiego obiektu może spowodować katastrofę na skalę globalną.

Aktualny stan wiedzy w omawianym zakresie

Obiekty sztuczne

Wszystkie obiekty o rozmiarach większych niż 10 – 30 cm poruszające się na orbitach niskich (do 2000 km nad Ziemią) i o rozmiarach większych od 1 metra poruszające się na orbicie geostacjonarnej (ok. 36 000 km nad Ziemią) są śledzone i katalogowane przez amerykański system NORAD. System ten składa się z sieci radarów oraz teleskopów optycznych wykonujących 60 000 – 80 000 pomiarów położenia śledzonych obiektów na dobę oraz z dwóch centrów obliczeniowych należących do sił powietrznych USA (US Air Force Space Command) i do marynarki wojennej USA (US Naval Space Command), które tworzą i każdego dnia uaktualniają katalog satelitów (NORAD Satellite Catalog) zawierający podstawowe dane orbitalne. Towarzyszące katalogowi tygodniowe i miesięczne raporty zawierają informacje o nowych obiektach katalogowanych (nowych satelitach i nowych obiektach zaliczanych do śmieci kosmicznych), o obiektach, które weszły do atmosfery ziemskiej i opuściły orbitę (i tym samym przestały być katalogowane) oraz o obiektach, które w najbliższym czasie opuszczają orbitę.

W dniu 31 października 2002 roku katalog NORAD zawierał 8982 obiekty, z czego 6107 było klasyfikowanych jako space debris, resztę stanowiły aktywne, będące pod kontrolą satelity i elementy ich wyposażenia. Łącznie, dotychczas umieszczono w katalogu 27 552 obiekty, z których 18 570 opuściło już orbitę wokółziemską. Liczby te systematycznie rosną w tempie 5 – 10% rocznie, z pewnymi jedynie przerwami na okresy maximum aktywności słonecznej, podczas których zwiększa się liczba obiektów wchodzących w gęste warstwy atmosfery ziemskiej gdzie na ogół ulegają spaleni. Oprócz rejonu bliskiego Ziemi, szczególnie zatłoczony jest już pas orbity geostacjonarnej. Katalog zawiera obecnie ponad 800 obiektów poruszających się w tym pasie. Ponieważ, w tym rejonie przestrzeni nie ma już wpływu atmosfery ziemskiej ani żadnego innego naturalnego oddziaływania mogącego spowodować nieczynne satelity na Ziemię, niezbędnym jest przeniesienie satelitów po zakończeniu ich misji na orbity znajdujące się w bezpiecznej odległości poza pasem geostacjonarnym. Dla satelitów poruszających się po orbitach geostacjonarnych zagrożenie stanowi też część obiektów poruszających się po orbitach silnie mimośrodowych ($e \sim 0.7 - 0.8$), w tym wiele członów rakiet wyprowadzających satelity na orbity geostacjonarne. Liczba katalogowanych obiektów o dużych mimośrodkach wynosi obecnie około 700.

Oprócz obiektów katalogowanych, pozostających pod kontrolą systemu NORAD, Ziemię obiega duża liczba obiektów niekatalogowanych, o rozmiarach na tyle dużych, że mogą poważnie zagrozić operacyjnym satelitom. Kolizja z obiektem o rozmiarach rzędu 1 cm może doprowadzić do przerwania eksperymentu kosmicznego lub całkowitego zniszczenia satelity. Ocenia się że liczba obiektów o rozmiarach 1 – 10 cm wynosi 120 000 – 180 000. Biorąc ponadto pod uwagę to, iż nie wszystkie obiekty o rozmiarach 10 – 30 cm są katalogowane, liczba obiektów stanowiących zagrożenie dla innych satelitów jest już bardzo duża i stale rośnie. Według różnych ocen za około 40 – 60 lat, wskutek fragmentacji satelitów i członów rakiet umieszczających satelity na orbicie, w postaci eksplozji i zderzeń, liczba obiektów o rozmiarach większych od 1 cm może wzrosnąć 5 – 10 krotnie. Wzrośnie zatem znacznie prawdopodobieństwo uszkodzenia lub zniszczenia operacyjnych satelitów, a średni czas ich działania znacznie zmaleje.

Oprócz systemu NORAD obserwacje śmieci kosmicznych wykonują także sporadycznie inne radary, w tym europejskie. W ostatnich latach w USA, Japonii oraz w Europie zostało uruchomionych kilka teleskopów optycznych o średnicach 60 – 100 cm przeznaczonych głównie do obserwacji śmieci kosmicznych. Należy do nich metrowy teleskop Europejskiej Agencji Kosmicznej pracujący na Wyspach Kanaryjskich.

Od strony teoretycznej problematyką śmieci kosmicznych zajmuje się szereg ośrodków naukowych, oprócz amerykańskich (głównie NASA Johnson Space Center), kilka europejskich, z których najważniejszym jest ESA/ESOC w Darmstadt. Prof. W. Flury z ESA jest obecnie koordynatorem w skali światowej problematyki space debris. Zaawansowane prace w tej dziedzinie prowadzi się także w Niemczech, Francji, Szwajcarii i Wielkiej Brytanii. W Polsce zagadnieniami głównie z zakresu dynamiki śmieci kosmicznych zajmuje się kilkusobowy zespół w Obserwatorium Astronomicznym UAM w Poznaniu.

Główne zagadnienia w zakresie Space Debris wymagające pilnego rozwiązania to między innymi:

- 1) Śledzenie ruchu wszystkich obiektów o rozmiarach 10 – 30 cm na niskich orbitach (obecnie tylko część tych obiektów jest katalogowana),
- 2) Monitorowanie ruchu obiektów o rozmiarach większych od 1 cm w określonych rejonach przestrzeni wokółziemskiej, w których poruszają się duże, ważne misje satelitarne (np. Międzynarodowa Stacja Kosmiczna, Teleskop Kosmiczny Hubble'a). Dla ochrony Stacji Kosmicznej przed uszkodzeniem lub zniszczeniem niezbędne jest śledzenie ok. 25 000 obiektów o rozmiarach większych od 1 cm.
- 3) Opracowanie, dokładniejszych od obecnie używanych, algorytmów predykcji przyszłych położenia dużej liczby obiektów poruszających się po orbitach w różnych, określonych rejonach przestrzeni wokółziemskiej.
- 4) Analiza długookresowej ewolucji orbitalnej obiektów poruszających się na i w rejonie orbity geostacjonarnej – obszarze już obecnie mocno wypełnionym.
- 5) Analiza dynamiki orbit geosynchronicznych jako alternatywy dla orbity geostacjonarnej.

Obiekty naturalne

Pierwszy obiekt zaliczany do NEO – planetoid i komet, których orbity zbliżają się lub przecinają orbitę Ziemi, został zaobserwowany pod koniec XIX wieku. Do roku 1990 zaobserwowano 169 takich obiektów, a na początku roku 2000 znanych było ich już 916. Dzięki wprowadzeniu systematycznych obserwacji, w dużej części zautomatyzowanych, w ostatnim czasie nastąpił dalszy gwałtowny przyrost liczby obserwowanych planetoid i komet w pobliżu Ziemi. W dniu 10 listopada liczba ta wynosiła 2147, z czego 48 stanowiły komety. Liczba zaobserwowanych obiektów zaliczanych do PHA - potencjalnie zagrażających Ziemi, czyli takich, które zbliżą się do Ziemi na odległość mniejszą niż 0.05 jednostki astronomicznej (7.5 mln km) i których rozmiary przekraczają 150m, wynosi obecnie 476. Należy tu jednak zaznaczyć, że oceny rozmiarów planetoid są bardzo niepewne. Dla nowoodkrytych planetoid wyznacza się je na podstawie jasności absolutnej przyjmując wartość albedo 13%. Błąd takiego oszacowania może przekroczyć 100%.

Ocenia się, że liczba planetoid zbliżających się do Ziemi których rozmiary przekraczają 1 km wynosi ponad 1000. Przewiduje się, iż większość z tych obiektów zostanie odkryta w najbliższych 10 latach.

Na podstawie dotychczasowych obserwacji obiektów zbliżających się do Ziemi oraz na podstawie analizy kraterów meteorytowych na powierzchni Ziemi ocenia się, że statystycznie raz na 100 lat na Ziemię może spaść planetoida o średnicy około 50 m powodując katastrofę o wymiarze lokalnym. Natomiast raz na kilkaset tysięcy lat w Ziemię może uderzyć planetoida o rozmiarach przekraczających 1 km, a skutki tego zdarzenia będą miały charakter globalny.

Jednocześnie ocenia się, iż każdego dnia na Ziemię opada około 100 ton materii pochodzenia kosmicznego w postaci drobnego pyłu.

Badania naukowe w omawianym tu zakresie mają dwojaki charakter: obserwacyjny – rachunkowy i teoretyczny. Obserwacje obejmują z jednej strony odkrywanie nowych obiektów oraz wyznaczanie pozycji i ruchu znanych i nowoodkrytych obiektów, a z drugiej strony badania natury fizycznej tych ciał. Odkrywanie nowych obiektów odbywa się obecnie głównie za pomocą mocno zautomatyzowanych kamer. Obserwacje pozycji i ruchu wykonuje się w wielu obserwatoriach na świecie i następnie gromadzi się je w kilku bankach danych koordynowanych, między innymi, przez Międzynarodową Unię Astronomiczną. Obserwacje fizyczne planetoid i komet prowadzi znacznie mniejsza liczba obserwatoriów, stąd też dotychczas zebrane informacje w tym zakresie są dużo skromniejsze od informacji o orbitach. Wśród kilku ośrodków, między innymi, we Francji, Ukrainie i Szwecji, w obserwacjach parametrów fizycznych planetoid aktywnie od szeregu lat uczestniczy Obserwatorium Astronomiczne UAM w Poznaniu.

Prace teoretyczne dotyczą głównie dynamiki planetoid i komet, w szczególności wyznaczania przeszłych i przyszłych orbit poszczególnych obiektów, jak i całych ich klas, ewolucji orbitalnej, badania takich zjawisk jak rezonans i chaos w ruchu planetoid, a także problemu pochodzenia planetoid zbliżających się do Ziemi i ich przyszłości. Szczególnie ważne są przewidywania przyszłych położenia ciał zbliżających się do Ziemi na niewielkie odległości. Nieuwzględnienie nawet drobnych efektów wpływających na ich ruch może skutkować istotną różnicą w ocenie prawdopodobieństwa przyszłego ewentualnego zderzenia takiego obiektu z Ziemią. Zagadnieniami teoretycznymi w omawianych tu zakresach zajmuje się wiele ośrodków na świecie. W Europie prace takie są prowadzone głównie we Włoszech, Francji, Belgii i Niemczech. Duży udział mają w tym też dwa polskie ośrodki w Poznaniu - UAM oraz w Warszawie – Centrum Badań Kosmicznych PAN.

Podstawowe problemy w zakresie badań obiektów naturalnych zbliżających się do Ziemi, wymagające pilnych prac są następujące:

- 1) Wykonywanie obserwacji w celu wykrycia i określenia parametrów orbitalnych możliwie dużej liczby obiektów należących do NEO.
- 2) Obserwacje własności fizycznych, w szczególności wyznaczanie rozmiarów, kształtu, budowy i składu chemicznego planetoid.
- 3) Przygotowanie misji kosmicznej specjalnie dedykowanej NEO.
- 4) Możliwie precyzyjne wyznaczanie orbit przyszłych obiektów potencjalnie zagrażających zderzeniem z Ziemią (PHA).
- 5) Analiza subtelnych efektów w ruchu NEO.
- 6) Krótka- i długo-okresowa ewolucja orbitalna ciał zbliżających się do Ziemi.

Istniejąca sytuacja w Polsce w omawianej dziedzinie

W Polsce omawianym zakresem badań zajmują się głównie dwa ośrodki: Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie i Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu.

W CBK PAN zespół kierowany przez prof. G. Sitarskiego od wielu lat zajmuje się dynamiką komet i planetoid, w szczególności wyznaczaniem orbit, długookresową ewolucją orbitalną komet, wpływem efektów niegrawitacyjnych na tę ewolucję, dynamiką wybranych planetoid, a także fizycznymi własnościami komet. Prace te są prowadzone w ramach grantów KBN, a także we współpracy z ośrodkami zagranicznymi. W uznaniu zasług prof. Sitarskiego w badaniu małych ciał Układu Słonecznego jego nazwiskiem Międzynarodowa Unia Astronomiczna nazwała jedną z planetoid.

Obserwatorium Astronomiczne UAM od szeregu lat prowadzi badania zarówno w zakresie naturalnych ciał jak i sztucznych satelitów i śmieci kosmicznych. Jeden z zespołów prowadzi badania dotyczące między innymi pochodzenia komet, ich długookresowej ewolucji, dynamiki meteoroidów, dynamicznych związków rojów meteorowych z kometami, a także dynamiki planetoid zbliżających się do Ziemi. Obecnie, pod kierunkiem prof. E. Wnuka została ukończona praca doktorska dotycząca analizy oddziaływań Księżyca i masywnych planetoid z pasa głównego na ruch planetoid zbliżających się do Ziemi. Inny zespół od szeregu lat prowadzi obserwacje fotometryczne planetoid i na ich podstawie wyznacza kształt i parametry rotacji tych ciał. Prace te są prowadzone w szerokiej współpracy międzynarodowej, między innymi, z ośrodkami w USA, Francji, Szwecji i Ukrainie. Zespół ten uczestniczył w pracach przygotowawczych do wszystkich dotychczasowych misji kosmicznych do planetoid. Międzynarodowa Unia Astronomiczna uhonorowała wyniki członków tego zespołu, prof. T. Michałowskiego i dr T. Kwiatkowskiego nazywając dwie planetoidy ich nazwiskami.

Jeszcze inny zespół z Obserwatorium Astronomicznego UAM prowadzi od wielu lat badania w zakresie dynamiki sztucznych satelitów i śmieci kosmicznych. Prace te zostały zapoczątkowane w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego stulecia obserwacjami sztucznych satelitów, które następnie zostały przeniesione do Obserwatorium w Borowcu. Współpraca w tej dziedzinie z Obserwatorium Astrogeodynamicznym CBK PAN w Borowcu jest kontynuowana i owocuje wieloma wspólnymi publikacjami. W Poznaniu, zespół pod kierownictwem prof. E. Wnuka zajmuje się głównie takimi zagadnieniami jak: opracowaniem nowych teorii ruchu sztucznych satelitów i obiektów należących do tzw. śmieci kosmicznych, krótko- i długo-okresową ewolucją orbitalną śmieci kosmicznych, dynamiką satelitów na orbitach geostacjonarnych i geosynchronicznych, modelowaniem wpływu różnych czynników perturbujących ruch satelitów. Na przykład, w ostatnim czasie została zakończona praca habilitacyjna dra S. Breitera na temat rezonansów luni-solarnych w ruchu sztucznych satelitów oraz praca doktorska wykonana pod kierunkiem prof. E. Wnuka dotycząca dynamiki satelitów na wysokich orbitach, w szczególności geosynchronicznych. Prowadzone są także prace przygotowawcze do amerykańskiej misji astrometrycznej FAME, których celem jest ochrona tej misji przez zderzeniami z obiektami z pasa geostacjonarnego. Wszystkie te prace prowadzone są w ścisłej współpracy międzynarodowej, między innymi, z ośrodkami w USA, Hiszpanii, Francji i Brazylii. We wszystkich wymienionych tu zakresach badań prowadzonych w UAM uzyskano szereg grantów KBN i grantów współpracy międzynarodowej.

Cele i plany badań na najbliższe lata

Omawiane tu zakresy badań dotyczące zarówno naturalnych jak i sztucznych obiektów poruszających się w przestrzeni wokółziemskiej z całą pewnością w najbliższym dziesięcioleciu będą należały do ważnych problemów naukowych pozostających w sferze zainteresowań

różnych ośrodków naukowych na świecie. Dotyczą one bowiem problemów bezpieczeństwa wszystkich misji satelitarnych i kosmicznych oraz problemów zagrożenia całej społeczności na kuli ziemskiej ewentualnymi upadkami mniejszych czy większych meteoroidów i planetoid na powierzchnię Ziemi. Chociaż Polska, nie posiadając własnych satelitów, tylko w niewielkim stopniu uczestniczy w umieszczaniu aparatury w kosmosie, to wysoce zasadne jest kontynuowanie i rozwijanie w naszym kraju badań w omawianym zakresie.

Wobec silnie rozwiniętych automatycznych systemów obserwacji pozycji planetoid, komet i śmieci kosmicznych, nie ma uzasadnienia na prowadzenie tego typu obserwacji w Polsce. Wysoce uzasadnione jest natomiast rozwijanie obserwacji prowadzących do wyznaczania parametrów fizycznych planetoid. Dotychczasowe doświadczenia obserwacyjne w Borowcu pokazały, że nawet w polskich warunkach pogodowych można uzyskiwać bardzo wartościowe wyniki. Niezbędne jest jednak zbudowanie lub zakup nowego teleskopu z odpowiednim wyposażeniem. Koszt takiego urządzenia wynosi 1.5 – 2 mln złotych. Niezwykle zasadne byłoby też aktywne włączenie się Polski do planowanej przez ESA misji, której celem będzie badanie obiektów NEO.

Prowadzone dotychczas prace teoretyczne i obliczeniowe będą kontynuowane i rozwijane w znacznie ściślejszej współpracy międzynarodowej, w szczególności z ośrodkami europejskimi, w tym z ESA. Dotychczasowe doświadczenia oraz posiadany potencjał naukowy umożliwiają włączenie się polskich zespołów do rozwiązywania wyżej wymienionych problemów.

KIERUNKI ROZWOJU GEODEZJI SATELITARNEJ W RAMACH KRAJOWEJ STRATEGII WYKORZYSTANIA PRZESTRZENI KOSMICZNEJ

Wprowadzenie.

Po upowszechnieniu się techniki GPS metody geodezji satelitarnej przeniknęły do wszelkich prac geodezyjnych wykorzystywanych dla potrzeb dnia codziennego. Wdrażanie techniki satelitarnej stało się bardziej przedmiotem działań ekonomicznych i rynkowych niż prac badawczo-rozwojowych. Ponadto można mówić o wyodrębnieniu się nawigacji satelitarnej jako silnego kierunku rozwojowego i gospodarczego, któremu poświęcone jest odrębne opracowanie.

W związku z powyższym, niniejsze opracowanie zajmuje się badaniami naukowymi prowadzonymi w ramach geodezji satelitarnej oraz z użyciem jej metod. Ponadto uwaga zwrócona jest na wprowadzenie nowych rozwiązań technicznych i organizacyjnych umożliwiających rozszerzenie kręgu zastosowań praktycznych.

Geodezja satelitarna w organizacjach międzynarodowych i krajach Unii Europejskiej.

Uznaje się, że geodezja podstawowa, będąca częścią nauk o Ziemi (w terminologii angielskiej Solid Earth Science), ma za zadanie rozwiązanie następujących problemów:

1. Wyznaczanie parametrów geometrycznych - współrzędnych i ich zmian, deformacji powierzchni Ziemi, zmian poziomu morza oraz kształtu jego powierzchni, przesunięć tektonicznych i sejsmicznych, etc.;
2. Wyznaczanie parametrów orientacji Ziemi w przestrzeni - zjawiska ruchu obrotowego Ziemi, ruchu biegunów, nutacji, precesji, pływów etc.;
3. Wyznaczanie pola grawitacyjnego, geoidy, zmian czasowych pola, zmian środka mas etc.

Te trzy zasadnicze kierunki badawcze składają się na problem główny jakim jest tworzenie coraz doskonalszego modelu Ziemi i ziemskiego układu odniesienia. Opierają się one na wspólnym i jednolitym systemie obserwacyjnym, który aby spełnić oczekiwania musi łączyć najwyższą precyzję, rzędu 10^{-9} , z niezawodnością i jednorodnością w przestrzeni i czasie oraz stabilnością na przestrzeni dziesiątków lat. Bardziej poglądowo wyrazić to można, iż wymagana jest dokładność 0.1mm/100km/rok. Techniki satelitarne dostarczają to najbardziej sprawnego i uniwersalnego narzędzia.

Jednolite i wspólne rozwiązywanie problemów geometrycznych - jak deformacje, kinematycznych i dynamicznych - jak ruch obrotowy Ziemi, jej pole grawitacyjne i geoida, jest uzasadnione kompleksowością zjawisk geofizycznych i wydobywaniem informacji fizycznej przez zestawienie różnego rodzaju danych. I tak na przykład:

- Porównywanie czasowych zmian geometrii powierzchni Ziemi oraz geoidy pozwala wnioskować o nierównowadze rozkładu mas na obszarach lądowych, oceanicznych i pokrytych wiecznym lodem oraz pozwala uchwycić ilościowo proporcje wymiany masy między tymi trzema domenami;
- Porównanie stacjonarnej powierzchni oceanów i geoidy pozwala wyznaczyć topografię oceanu i daje materiał do studiów cyrkulacji oceanicznej i fizycznych charakterystyk oceanu;
- Wyznaczenie przemieszczeń mas oraz zmian pola grawitacyjnego a następnie porównanie ich z parametrami rotacji Ziemi pozwoli wyjaśnić źródła pobudzania zmian w ruchu obrotowym;
- Wyznaczenie topografii oceanu i jej czasowych zmian pozwoli prawidłowo zamodelować proces zmian i podnoszenia się poziomu morza;
- Porównanie wyników sondowania atmosfery za pomocą obserwacji GPS z jej istniejącymi modelami pozwala na znaczne ulepszenie tych ostatnich.

Podobnych przykładów można by przytaczać znacznie więcej.

Techniki satelitarne stały się zasadniczymi w rozwiązywaniu tych podstawowych problemów. Można zaryzykować twierdzenie, że współczesna geodezja podstawowa to geodezja satelitarna plus pewne techniki naziemne jak grawimetria, niwelacja i stacje meteo-lub mareo-graficzne. Szczególnym przypadkiem jest technika VLBI, która choć nie korzysta z satelitów, zaliczana jest do technik kosmicznych.

Wśród technik satelitarnych możemy rozróżnić następujące:

1. Naziemne obserwacje satelitów pasywnych - pozostały tu obserwacje laserowe, gdyż fotograficzne praktycznie wyszły z użycia;
2. Obserwacje radiowe satelitów nadających sygnały. W pierwszym rzędzie chodzi tu o satelity systemu GPS i podobnych (GLONASS, a w przyszłości GALILEO). Drugim znaczącym jest system DORIS, a w pewnych sprawach np. transferu czasu posługujemy się również satelitami telekomunikacyjnymi.
3. Satelity niosące specjalne czujniki do badań geodezyjnych, np. do altimetrii lub pomiarów grawitacyjnych.

Organizacją międzynarodową najpełniej obejmującą tematykę geodezji satelitarnej jest Międzynarodowa Asocjacja Geodezyjna (IAG), wchodząca w skład Międzynarodowej Unii Geodezji i Geofizyki. Struktura organizacyjna IAG odpowiada wyżej wymienionym kierunkom badawczym, a ponadto obejmuje tzw. służby, tj. organizacje prowadzące permanentne obserwacje i obliczające zmienne w czasie parametry modelu Ziemi. Takimi służbami są:

- International Earth Rotation Service (IERS)- służba ruchu obrotowego Ziemi;
- International GPS Service (IGS)- służba obserwacji GPS dla geodynamiki;
- International Laser Ranging Service (ILRS) - służba obserwacji laserowych;

- International VLBI Service (IVS) - służba VLBI dla geodezji i astrometrii.

Nazwa "służba" jest w terminologii polskiej nieco myląca. Nie chodzi tu bowiem o rutynowe działanie, oparte jedynie na zbieraniu i przetwarzaniu danych w utarty sposób. W istocie mamy tu do czynienia z potężnymi międzynarodowymi organizacjami, rozwijającymi bezustannie technikę pomiaru, produkującymi coraz to nowe bardziej skomplikowane modele fizyczne, ustalającymi nowe definicje oraz programującymi dalsze badania. Każdą z tych organizacji można przyrównać do wielkiego globalnego narzędzia badawczego, w sposób ciągły rozwijanego. Organizują one własne sympozja i workshopy oraz wydają własne publikacje.

Aktualnie IAG przechodzi ewolucję, prowadzącą do jeszcze silniejszego związania tej organizacji ze strukturą służb. Proponuje się zogniskowanie działalności IAG wokół projektu o nazwie Integrated Global Geodetic Observing System (IGGOS). W skład tego "systemu" wchodzić mają zarówno służby, oparte na obserwatoriach, misje kosmiczne dostarczające danych, jak i grupy prowadzące analizę i prace teoretyczne. Prowadzi to do przekształcenia IAG w jedną wielką SŁUŻBĘ.

Zagadnieniom geodezyjnym wiele uwagi poświęcają największe agencje kosmiczne NASA i ESA. NASA jest w trakcie przygotowania nowego wieloletniego programu Solid Earth Science, w którym techniki geodezji satelitarnej grają pierwszorzędna rolę, w tym zwłaszcza misje kosmiczne związane z badaniem pola grawitacyjnego Ziemi. Aktualnie na orbicie znajduje się misja GRACE, polegająca na pomiarze względnej prędkości między dwoma obiektami. Jet Propulsion Laboratory (JPL) podlegające NASA) odgrywa kierowniczą rolę w służbie IGS. NASA Goddard Space Flight Center koordynuje i rozwija technikę naziemnych obserwacji laserowych. Natomiast ESA przygotowuje jeszcze bardziej wyrafinowaną aparaturę do badania pola grawitacyjnego, mianowicie Gradiometr Satelitarny, który w r. 2005 będzie wyniesiony na orbitę w misji GOCE. Ośrodek ESA - ESOC w Darmstadt pełni aktywną rolę centrum obliczeniowego IGS oraz ILRS.

Geodezja Satelitarna w Polsce.

W Polsce działa kilka ośrodków naukowych prowadzących prace w dziedzinie geodezji satelitarnej. W ramach Centrum Badań Kosmicznych PAN działa Obserwatorium Astrogeodynamiczne w Borowcu, w którym prowadzone są permanentne obserwacje laserowe oraz GPS (w ramach sieci IGS i EUREF), a także badania w zakresie pomiarów i transferu czasu. Stacja laserowa Borowiec osiąga obecnie precyzję pomiaru ok. ± 0.5 cm., co lokuje ją w światowym rankingu dokładności w pierwszej dwudziestce. Dzięki długiemu szeregowi obserwacyjnemu, połączeniu różnych służb oraz uczestnictwu w specjalistycznych projektach, dane Borowca wykorzystywane są w wielu programach. Waznym osiągnięciem jest opracowanie i wdrożenie w skali międzynarodowej - w tym w US Naval Observatory - techniki synchronizacji zegarów atomowych na odległościach międzykontynentalnych z dokładnością nano-sekundową oraz realizacja ogólnopolskiej skali czasu zegarów atomowych

Cztery inne obserwatoria prowadzą permanentne pomiary GPS. Są to:

- Politechnika Warszawska - Obserwatorium w Józefosławiu^{1), 2)};
- Uniwersytet Warmii i Mazur - Obserwatorium w LamkóWKu^{1), 2)};

- Instytut Geodezji i Kartografii - Obserwatorium w Borowej Górze²⁾;
- Uniwersytet Wrocławski - stacja we Wrocławiu²⁾.

Obserwatoria te działają w sieci IGS¹⁾ oraz europejskiej sieci EUREF²⁾.

W Centrum Badań Kosmicznych PAN prowadzone są ponadto prace analityczne i teoretyczne dotyczące ruchu obrotowego Ziemi, pola grawitacyjnego i geodynamiki. Instytut Geodezji i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej prowadzi projekty międzynarodowe z zakresu geodynamiki w ramach Inicjatywy Środkowo-Europejskiej oraz jest jednym z centrów analitycznych sieci EUREF. W zakresie zastosowań techniki GPS odnotować należy utworzenie w Polsce sieci podstawowej POLREF, będącej częścią jednolitego europejskiego systemu EUREF. Sieć POLREF stanowi obecnie oficjalną podstawę pomiarów geodezyjnych i kartograficznych w Polsce. Podobnej miary osiągnięciem o znaczeniu praktycznym jest wyznaczenie geoidy, stosowanej przy wyznaczaniu wysokości terenu za pomocą GPS. W trakcie rozwiązywania jest problem układu wysokościowego, zunifikowanego na obszarze Europy. W Instytucie Geodezji Uniwersytetu Warmii i Mazur uzyskano rezultaty ważne z punktu widzenia badawczego i praktycznego dotyczące modelowania wpływu jonosfery na obserwacje GPS. Wiele zasadniczych wyników odnotowano w zakresie badań geodynamicznych.

Generalnie biorąc polska geodezja satelitarna jest aktywnym współuczestnikiem światowego wysiłku naukowego w tej dziedzinie.

Cele do osiągnięcia do roku 2010.

Zgodnie ze sformułowanymi w części ogólnej celami generalnymi, w zakresie geodezji satelitarnej należy osiągnąć:

1. Zdolność zaspakajania zapotrzebowania społecznego i gospodarczego na technikę satelitarną w zakresie geodezji. Dla osiągnięcia tego celu konieczne jest rozwiązanie następujących zadań:
 - Utworzenie jednolitej z siecią POLREF osnowy wysokościowej;
 - Wyznaczenie z wyższą dokładnością ($\pm 1\text{cm}$) powierzchni geoidy dla Polski;
 - Utworzenie sieci aktywnych stacji referencyjnych pokrywających równomiernie obszar Polski;
2. Rozwój metod geodezyjnych opartych o pomiary GPS w kierunku wykorzystania systemu GALILEO.
3. Aktywne uczestnictwo w międzynarodowym globalnym projekcie IGGOS w celu partycypacji w wyznaczaniu fundamentalnych parametrów geodezyjnego modelu Ziemi i układu odniesienia.
4. Aktywne uczestnictwo w regionalnych projektach geodezyjnych i geodynamicznych takich jak EUREF, CERGOP, zmian poziomu morza, sieci geodynamicznej Polski;
5. Aktywne uczestnictwo w geodezyjnym programie ESA.

Proponowane posunięcia organizacyjne oraz ocena kosztów.

Prace wymienione w punkcie 1. Znajdują się w zakresie odpowiedzialności Głównego Urzędu Geodezji, który dba o ich właściwe zabezpieczenie finansowe. Zajmijmy się zatem badaniami i współpracą międzynarodową.

Podstawą wszelkich prac badawczych w geodezji są dane pomiarowe. Zgodnie z filozofią projektu IGGOS obserwacje takie muszą być prowadzone przez stale ulepszaną sieć stacji rozmieszczoną w miarę równomiernie na całym globie. W Polsce sieć ta nie wymaga zasadniczej rozbudowy, aczkolwiek pożądane jest jej uzupełnienie w częściach północnej i południowej. Wymaga natomiast stałego inwestowania w celu utrzymania standardów narzucanych przez międzynarodowe ośrodki koordynacyjne. W przypadku stacji laserowej, która funkcjonuje już ok. 15 lat należy myśleć o wprowadzeniu nowej generacji dalmierza. Wymiana taka będzie niewątpliwie konieczna przed zakończeniem bieżącej dekady. Zakładając korzystne warunki współpracy międzynarodowej, która pozwoliłaby uzyskać nowy dalmierz na korzystnych warunkach finansowych, trzeba się liczyć z potrzebą inwestycji uzupełniających infrastrukturę obserwatorium. Koszt takiej inwestycji szacuje się na ok. 10 mln. zł. Stacje permanentne GPS obecnie istniejące będą także wymagały przebudowy z chwilą uruchomienia GALILEO i pełnego wprowadzenia GLONASS. Koszt modernizacji jednej stacji szacować można na ok. 100 tys. zł. Uruchomienie dwóch nowych stacji na południu i północy również pociągnie koszty ok. 400 tys. zł. W sumie koszt modernizacji sieci stacji permanentnych ocenić można na 1 mln. zł. Koszt funkcjonowania i bieżącej operacji wszystkich wyżej wymienionych stacji pokrywany jest obecnie z dotacji statutowych KBN dla prowadzących je instytucji. Precyzyjne wyliczenia tego kosztu są trudne, jednakże wszystkie stacje odczuwają dotkliwy brak środków i zwiększenie finansowania o czynnik ok. 50% będzie nieodzowne. Jest to w skali 8 lat kolejne 1.5 mln zł.

Poza funkcjonowaniem obserwatoriów i stacji permanentnych mamy również doraźne kampanie pomiarowe związane z ekspedycjami terenowym. Ekstrapolując doświadczenia z lat ubiegłych można przewidzieć zapotrzebowanie na środki w wys. ok. 1 mln zł.

Osobnemu rozważeniu podlegać musi sprawa modernizacji i rozwoju służby czasu. Dotyka ona marginalnie działalności kosmicznej, gdyż problemem tym zajmują się odpowiednie instytucje publiczne. Jednakże, nie można pominąć faktu, że GPS, a w ślad za nim wkrótce GALILEO będą głównym środkiem dystrybucji precyzyjnego czasu. Konieczne staje się wzmocnienie Obserwatorium w Borowcu, które obok Głównego Urzędu Jakości i Miar jest podstawowym ogniwem krajowej sieci, o wysokiej klasy wzorzec częstotliwości i czasu. Jest to inwestycja rzędu 500 tys. zł.

W ramach współpracy z ESA przewiduje się w pierwszym rzędzie przystąpienie do projektu GOCE, ale na warunkach uczestnika opracowania danych. Nie pociąga do za sobą kosztów porównywalnych do udziału w misji kosmicznej, ale związane jest z licznymi podróżami i zakupami wspomagającej aparatury naziemnej. Jednocześnie konieczne jest wchodzenie do następnych projektów o charakterze geodezyjnym, odnoszącymi się do innych planet jak też fundamentalnych problemów grawitacji. Koszty partycypacji w programie ESA mogą być szacowane na 1 mln. zł.

Oczywiście z kosztami związana jest też praca grup teoretycznych i analitycznych. Nie przewiduje się tu jednak skokowego wzrostu liczby zatrudnionych, natomiast konieczna jest poprawa w zakresie uzbrojenia w sprzęt obliczeniowy i dostęp do literatury.

Reasumując, zapotrzebowanie na środki finansowe w zakresie geodezji satelitarnej, zabezpieczające osiągnięcie celów założonych na wstępie, szacować można na 15 mln. zł w okresie 2003 - 2010.

Inne uwagi i zalecenia.

Geodezja satelitarna od początku swojego istnienia opierała się na współpracy międzynarodowej i działała w skali globalnej. Wypracowała struktury sprawnie działające w skali światowej, ale niezbyt zakorzenione w formalno-prawnej tkance jednoczącej się Europy. Stąd brak jest też wyraźnych priorytetów w Europejskich Programach Ramowych skierowanych na problemy geodezyjne. Problemy geodynamiczne z trudem odnajdują swoje miejsce w rozdziale poświęconym środowisku naturalnemu i zrównoważonemu rozwojowi. Stąd potrzeba poszukiwania wsparcia finansowego głównie w budżecie KBN.

Należy też brać pod uwagę fakt, że pojawiają się jeszcze nowsze techniki, które nie są dotychczas w Polsce uprawiane, takie jak satelitarna altimetria laserowa lub interferometria radarowa. Nie jest również u nas uprawiana interferometria długich baz (VLBI) dla celów geodynamicznych, choć radioteleskop w Toruniu jest tu właściwym i prawie gotowym narzędziem. Jednakże na obecnym etapie nie wydaje się celowym rozszerzanie frontu badań na te pola.

Prof. zw. dr hab. Andrzej Ciolkosz
Prof. dr hab. inż. Stanisław Białousz
Dr inż. Piotr Struzik
Komisja Teledetekcji
KBKiS PAN

TELEDETEKCJA SATELITARNA

Wraz z wprowadzeniem na orbitę pierwszego satelity przeznaczonego do badania zasobów ziemskich, a więc od 1972 r. kiedy to rozpoczął swą misję pierwszy satelita serii Landsat, obserwuje się w Polsce zainteresowanie tą nową metodą pozyskiwania informacji o obiektach, zjawiskach i procesach zachodzących na powierzchni Ziemi. Szczególne zainteresowanie wykazali wówczas geolodzy z Państwowego Instytutu Geologicznego, Instytutu Naftowego, a także kartografowie z Instytutu Geodezji i Kartografii. Sprowadzono wówczas pierwsze zdjęcia satelitarne Polski wykonane przez wspomnianego satelitę. Zdjęcia te posłużyły do analizy nieciągłości budowy geologicznej kraju. Efektem tej analizy było opracowanie i opublikowanie mapy obrazującej występowanie na obszarze Polski tak zwanych fotolineamentów, czyli linii obrazujących nieciągłości tektoniki. Wyniki prac geologów z Państwowego Instytutu Geologicznego zostały wykorzystane także w praktyce, między innymi do zmiany planów lokalizacji wielkich inwestycji przemysłowych, które pierwotnie zostały zaplanowane na obszarach o nierozpoznanych dotychczas uskokach. Zdjęcia wykonane w ciągu pierwszych lat misji satelity Landsat zostały wykorzystane także do wielu innych celów. W Instytucie Geodezji i Kartografii opracowano na ich podstawie mapę użytkowania ziemi w skali przeglądowej, a także mapy obrazujące zanieczyszczenie powietrza na obszarze aglomeracji górnośląskiej i krakowskiej.

Efekty pierwszych prac z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych zostały docenione przez czynniki rządowe w ówczesnej Polsce. Docenienie roli i znaczenia zdjęć satelitarnych w pozyskiwaniu informacji o powierzchni ziemi przez naczelne władze kraju znalazło swój najpełniejszy wyraz w Decyzji Prezydium Rządu nr 145 z grudnia 1975 r., na mocy której w Instytucie Geodezji i Kartografii został utworzony Ośrodek Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych – OPOLIS. Jego zadaniem była wszechstronna analiza zakresu informacji pozyskiwanych za pomocą zdjęć satelitarnych oraz ich wykorzystanie w pracach badawczych i aplikacyjnych, a także wstępne przetwarzanie zdjęć satelitarnych i przekazywanie ich do dalszej analizy do różnych zainteresowanych ośrodków badawczych. W celu umożliwienia realizacji tego zadania OPOLIS został wyposażony w unikalny sprzęt komputerowy, pierwszy i jedyny wówczas w tej części Europy.

Zdjęcia wykonywane przez kolejne satelity serii Landsat, o zwiększonej przestrzennej i spektralnej rozdzielczości, jak również zdjęcia pozyskiwane przez coraz to nowsze satelity, zarówno amerykańskie, zachodnioeuropejskie jak i radzieckie, wykorzystano do wielu prac badawczych i praktycznych w Polsce. Można tu wymienić między innymi analizę stanu zdrowotnego lasów na obszarach klęski ekologicznej w Sudetach, badanie zanieczyszczenia

Wielkich Jezior Mazurskich i przybrzeżnej strefy Bałtyku, opracowanie szczegółowej mapy pokrycia terenu obejmującej swym zasięgiem obszar całego kraju, określenie zasięgu wpływu wielkich zakładów przemysłowych na środowisko, jak też wykorzystanie tych zdjęć do opracowania i aktualizacji map topograficznych.

Szczególną rolę w rozwoju polskiej teledetekcji odegrał Ośrodek Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych – OPOLIS Instytutu Geodezji i Kartografii. Jego pracownicy odbyli przeszkolenia w wielu czołowych ośrodkach teledetekcji w Europie Zachodniej, Stanach Zjednoczonych i w Kanadzie, nawiązując jednocześnie kontakty z tamtejszymi naukowcami. Pozwoliło to na podjęcie wielu wspólnych tematów badawczych i aplikacyjnych, a także na zainicjowanie własnych prac naukowych i praktycznych. Wiele z nich znalazło uznanie wśród specjalistów zagranicznych.

Ośrodki analizy zdjęć satelitarnych, obok Ośrodka Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych Instytutu Geodezji i Kartografii, Zakładu Interpretacji Zdjęć Satelitarnych Państwowego Instytutu Geologicznego oraz Zakładu Badań Satelitarnych IMGW zaczęły pojawiać się na wielu uniwersytetach, a także na Politechnice Warszawskiej i Akademii Górniczo-Hutniczej. Warto dodać, że z chwilą pojawienia się pierwszych zdjęć satelitarnych wykonywanych przez satelity meteorologiczne duże zainteresowanie nimi wykazał Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, powołując Zakład Badań Satelitarnych w swym krakowskim Oddziale. Zdjęcia znalazły tam praktyczne zastosowanie przede wszystkim w synoptyce i prognozach pogody. IMGW nawiązał współpracę z EUMETSAT – European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, by po kilkunastu latach zostać członkiem tej organizacji.

Pracownicy OPOLIS nabrali wiele doświadczeń, realizując wiele wspólnych tematów z NOAA – National Environmental Satellite, Data and Information Service, Hydrological Laboratory of USDA, Canada Remote Sensing Centre, Space Application Institute of Joint Research Centre w Isprze (Włochy), który jest ośrodkiem Unii Europejskiej specjalizującym się w zastosowaniach teledetekcji w badaniu środowiska oraz zastosowaniu osiągnięć technologii pozyskiwania danych z pułapu satelitarnego w gospodarce. Wspólne tematy były również podejmowane z naukowcami z Belgii, Francji, Węgier i Włoch.

Wśród wielu osiągnięć pierwszego okresu rozwoju teledetekcji w Polsce należy wymienić opracowanie we współpracy z naukowcami amerykańskimi technologii rozpoznawania uszkodzeń lasów iglastych na podstawie zdjęć satelitarnych i jej zastosowanie w ocenie lasów w Sudetach, opracowanie metody prognozowania plonów i określenia wielkości produkcji pasz z trwałych użytków zielonych, oraz wdrożenie i udoskonalenie kanadyjskiej metody oceny stanu rozwoju roślin uprawnych.

Kolejne zastosowania teledetekcji dotyczyły zastosowania zdjęć satelitarnych w badaniach morskich. Badania te początkowo prowadził IMGW, a od kilku lat są one wykonywane w Instytucie Oceanologii PAN oraz w Instytucie Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego. Badania te dotyczą określania rozkładu temperatury powierzchniowej Bałtyku, zjawiska upwellingu w polskiej strefie brzegowej, detekcji zlodzenia Bałtyku przy

wykorzystaniu danych AVHRR/NOAA oraz zastosowanie danych satelitarnych do oceny substancji zawieszonych w powierzchniowej warstwie Morza Bałtyckiego.

Zdjęcia satelitarne znalazły również zastosowanie w badaniach z zakresu meteorologii. Spośród prac badawczych w tej dyscyplinie należy wymienić: badanie składników bilansu promieniowania – opracowanie metodyki określania promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi przy wykorzystaniu informacji z satelity geostacjonarnego METEOSAT, wykorzystanie informacji satelitarnych jako danych wejściowych do modeli agrometeorologicznych, opracowanie metod detekcji pokrywy śnieżnej i lodowej na obszarze Polski.

Warto podkreślić, że teledetekcja satelitarna znalazła już praktyczne zastosowanie w służbie hydrologiczno-meteorologicznej IMGW. Wykorzystuje się ją m. in. do:

- Określania całkowitej zawartości ozonu z danych satelitarnych TOVS/NOAA – codzienny monitoring stanu warstwy ozonowej od 1993 r. do chwili obecnej.
- Określania i prognozowania natężenia promieniowania UV-B docierającego do powierzchni ziemi – codzienne prognozy dla sezonów wiosenno-letnich od 2000 r.
- Wyznaczania parametrów zachmurzenia z danych METEOSAT i AVHRR, klasyfikacji rodzaju zachmurzenia oraz określania stopnia zachmurzenia.
- Wyznaczania intensywności opadu przy wykorzystaniu czujników mikrofalowych AMSU/NOAA.
- Przedstawiania rozkładów różnych parametrów fizycznych atmosfery na 3 poziomach w troposferze.
- Detekcji i monitorowania zjawisk burzowych stanowiących zagrożenia lokalne. Łączne wykorzystanie informacji satelitarnej (sondaż atmosfery mający na cel określenie wskaźników jej stabilności) i systemu detekcji wyładowań atmosferycznych pozwala na wczesne wykrywanie i monitorowanie burz, a także na ich prognozowanie.

Prezentacja wielu osiągnięć naukowców polskich na międzynarodowych imprezach naukowych oraz publikacje w czasopiśmie o uznanej renomie międzynarodowej spowodowały, że Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) powierzyła realizację wielu projektów pilotowych naukowcom z polskich instytutów badawczych. Projekty te dotyczyły wykorzystania mikrofalowych zdjęć wykonywanych przez pierwszego europejskiego satelitę teledetekcyjnego ERS w badaniach różnych komponentów środowiska geograficznego. Spośród tych projektów należy wymienić:

- Application of the ERS-1 images for assessment of damage to coniferous forest in Poland PP-PL3, 1991-1993.
- Soil moisture and evapotranspiration investigations for crop yield assessment based on ERS-1 data, No. PP-PL4, 1991-1993.
- Soil moisture investigation for the different agricultural crops for biomass assessment using ERS-1 and ERS-2 data, No. AO2.PL.102, 1994-1996.
- Use of ERS, JERS and RADARSAT SAR data for soil moisture assessment, No. AO3-138, 1996-1998.
- Synergy of ERS and JERS data for soil moisture estimates, No. AOJ.1, 1999.

- Assessment of the synergy of ASAR, MERIS and AATSR data for the monitoring and the management of temperate European sensitive ecosystems. The case of the grassland of Biebrza area (Poland) and of the wetlands of the Alsacian floodplain (France), No. AO-ID 122 - 1999-2002.

Dostęp do zdjęć satelitarnych, udostępnienie sprzętu i programów przetwarzania mikrofalowych zdjęć satelitarnych, kursy i szkolenia organizowane przez ośrodki współpracujące z Europejską Agencją Kosmiczną wydatnie zwiększyły potencjał aparaturowy i intelektualny polskich specjalistów, co zaowocowało podejmowaniem wielu nowych tematów badawczych, niestety z czasem systematycznie ograniczanych zarówno co do liczby jak i rozmiarów przedsięwzięć, malejącymi wciąż nakładami na naukę.

Teledetekcja polska może poszczycić się wieloma osiągnięciami, wśród których w ostatnim okresie należy wymienić:

- Opracowanie metodyki i algorytmów do wyznaczania intensywności opadu przy wykorzystaniu czujników mikrofalowych AMSU zainstalowanych na satelitach serii NOAA.
- Wykorzystanie najnowszych czujników satelitów NOAA- K,L,M (kanału 1,6 mm) do detekcji mgły, niskich chmur rodzaju stratus, śniegu i lodu, a kanałów mikrofalowych AMSU do wyznaczania intensywności opadu.
- Opracowanie metodyki określania promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi przy wykorzystaniu danych dostarczanych przez satelitę Meteosat. Metodę wstępnie przetestowano na podstawie rocznych pomiarów naziemnych pyranometrem (co 1 min) i danych satelitarnych (co 30 min). Uzyskano dobre rezultaty dla dobowej wartości energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi.
- Opracowanie metodyki określania i prognozowania promieniowania UV-B docierającego do powierzchni Ziemi.
- Opracowanie modelu pozwalającego na obliczanie parametrów glebowo-roślinnych z wartości współczynników wstecznego rozpraszania w mikrofalowym paśmie C i L rejestrowanych przez satelity ERS i JERS.
- Opracowanie metodyki korekcji mikrofalowych zdjęć satelitarnych ze względu na zniekształcenia wywołane rzeźbą terenu.
- Opracowanie metodyki szacowania wilgotności gleb pokrytych roślinnością z wykorzystaniem informacji zawartych na mikrofalowych zdjęciach satelitarnych.
- Opracowanie metodyki pozyskiwania informacji o środowisku przyrodniczym na podstawie łączenia informacji uzyskanych w optycznym i mikrofalowym zakresie widma.
- Opracowanie hybrydowej metody klasyfikacji zdjęć satelitarnych do celów charakteryzowania drzewostanów sosnowych.
- Opracowanie metody łączenia informacji pozyskiwanych w optycznym i mikrofalowym zakresie spektrum do badania wilgotności gruntów.
- Opracowanie metody oszacowania zawartości ozonu na podstawie danych NOAA/TOVS i jej zastosowanie w krótkoterminowym modelu prognostycznym.

Podsumowując dzień dzisiejszy w zakresie zastosowań praktycznych teledetekcji można wyrazić następującą opinię:

1. Praktyczne wykorzystywanie zdjęć satelitarnych jest ograniczone z powodu częstego zachmurzenia kraju i stosunkowo wysokich cen zdjęć.
2. Administracja rządowa i samorządy nie wykazują zainteresowania na opracowania teledetekcyjne.
3. Ośrodki naukowe i akademickie są dobrze przygotowane do wdrażania aplikacji. Dysponują dobrym sprzętem, oprogramowaniem i kadrą.
4. Współpraca międzynarodowa i udział w programach międzynarodowych plasują polską teledetekcję w grupie krajów rozwiniętych.
5. Nie zanotowano sukcesów w stosowaniu zdjęć satelitarnych do aktualizacji map topograficznych i do produkcji map tematycznych na tle ortofotomapy satelitarnej.
6. Instytucją finansującą większość prac metodycznych i wdrożeń był Komitet Badań Naukowych.

Przewidywane najważniejsze zastosowania teledetekcji w Polsce

Zdjęcia satelitarne zgromadzone dotychczas w archiwach oraz zdjęcia, które będą wykonane w ramach rutynowych misji satelitów Ziemi, a także zdjęcia możliwe do wykonania jako zdjęcia zaprogramowane dają potencjał, który wielokrotnie przewyższa zapotrzebowanie na nie jako możliwości ich interpretacji. Dlatego przy omawianiu nowych zastosowań praktycznych najwięcej uwagi poświęca się wykorzystaniu możliwości jakie przyniosą zdjęcia o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej (piksel o wielkości 1 m i mniejszej) i o wysokiej rozdzielczości spektralnej oraz takim projektom, które mogą mieć zapewnione finansowanie w dłuższych okresach i obejmują duże obszary. W Polsce w najbliższych latach takimi projektami mogą być:

1. Baza danych topograficznych o dokładności odpowiadającej skali 1:10 000.

Wymagania dokładnościowe tej bazy (dokładność pozycyjna, dokładność identyfikacji i opisu obiektów) wskazują że głównym materiałem źródłowym stosowanym przy jej tworzeniu powinny być zdjęcia lotnicze. Takie też są doświadczenia zagraniczne. Francuska BD Topo jest tworzona ze zdjęć lotniczych w skali około 1:30 000 z przeważającym udziałem technologii fotogrametrycznych. Jednakże pojawienie się w ostatnich 2 latach zdjęć satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości i zapowiadane zdjęcia o wielkości piksela 40 cm stwarzają możliwości ich wykorzystania do tworzenia baz danych o dokładności odpowiadającej skali 1:10 000. Do oceny części geometrycznej bazy danych będą potrzebne badania nad modelami matematycznymi korekcji (różne dla różnych systemów satelitarnych) i nad oceną potrzebnej dokładności DTM. Wyniki badań przeprowadzonych dla zdjęć Landsat TM wskazują od jakich wielkości deniwelacji terenu należy stosować DTM do korekcji geometrycznej i jak dokładny powinien być DTM.

2. Opracowywanie i aktualizacja mapy topograficznej 1:50 000.

Zapewnienie aktualności tej mapie, uważanej obecnie za najważniejszą w ciągu skalowym map topograficznych musi przewidywać ciągły proces aktualizacji wykorzystującej zdjęcia satelitarne. W perspektywie najbliższych lat mogą to być zdjęcia SPOT 5 z pikselem 2,5 m wykonane w trybie panchromatycznym, IRS z pikselem 5 m w trybie panchromatycznym i w niektórych

przypadkach ETM z pikselem 15 m. Do delineacji i identyfikacji obiektów powierzchniowych może być stosowana fuzja zdjęć panchromatycznych i wielospektralnych.

3. Zintegrowany System Kontroli i Zarządzania (IACS).

Zintegrowany System Kontroli i Zarządzania (IACS) tworzony jest dla kontroli dopłat bezpośrednich dla rolników. Zdjęcia satelitarne powinny znaleźć zastosowanie w budowie tego systemu, zarówno w przypadku podsystemu LPIS (identyfikacja działek rolnych jak też w podsystemie teledetekcyjnej kontroli upraw.)

4. Udział w tworzeniu i aktualizacji Europejskich Baz Danych

Zdjęcia satelitarne znalazły zastosowanie w opracowaniu i aktualizacji bazy danych CORINE Land Cover. Baza danych CLC przedstawiająca stan pokrycia Polski w 1990 r. już istnieje. W chwili obecnej Polska podjęła opracowanie bazy danych CLC2000, która będzie zawierać dane o pokryciu terenu w 2000 r.

EUSIS (European Soil Information System) jest nową inicjatywą. Jego główną częścią składową będzie baza danych 1:250 000. Zdjęcia satelitarne na tym poziomie dokładności będą stosowane głównie do określania jednostek krajobrazowo glebowych, ich jednorodności, oraz w przypadku Polski do wnioskowania o glebach na obszarach leśnych.

5. Udział w programach badających globalne zmiany klimatu i roślinności.

Dotyczy to przede wszystkim badania zmian czynników wpływających na produkcję dwutlenku węgla. Metody teledetekcyjne można zalecić do badania zmian lesistości i udziału gatunków najistotniejszych dla pochłaniania CO₂ oraz produkcji tlenu, badania zawartości i rozmieszczenia przestrzennego substancji organicznej w glebach, badania zmian stosunków wodnych gleb, badania efektów katastrof ekologicznych i środowiskowych, badania przestrzennego rozkładu zmian temperatury wód powierzchniowych. Dotychczas w Polsce prowadzono jedynie przyczynkowe prace w tym zakresie. Większe szanse na ich rozwinięcie daje VI Program Ramowy Unii Europejskiej.

Mimo słabnącej kondycji nauki polskiej w dalszym ciągu podejmowane są udane próby współpracy w dziedzinie teledetekcji z naukowcami z Chin, Japonii, Republiki Południowej Afryki i Stanów Zjednoczonych. Wyniki tej współpracy znajdują swój wyraz w coraz to większej liczbie wspólnych publikacji zamieszczanych w renomowanych czasopismach zagranicznych i międzynarodowych z zakresu teledetekcji. Zwiększenie liczby satelitów teledetekcyjnych, które zostały wprowadzone na orbitę i operacyjnie dostarczają zdjęcia zarówno do celów poznawczych jak i aplikacyjnych stawia przed polskimi naukowcami nowe wyzwania, które powinniśmy podjąć, nie chcąc tracić dotychczasowego dorobku, doświadczeń oraz międzynarodowej renomy.

Zdając sobie sprawę, że nie stać nas w chwili obecnej na podejmowanie prac badawczych ani nad nowymi metodami pozyskiwania danych, ani nad opracowywaniem nowych sposobów przetwarzania danych, ani też nad objęciem badaniami teledetekcyjnymi wielkich obszarów lądowych lub nawet całego globu ziemskiego w najbliższym okresie powinniśmy skoncentrować nasze wysiłki nad utrzymaniem potencjału aparaturowego na poziomie zbliżonym do poziomu ośrodków teledetekcyjnych w krajach Unii Europejskiej. Dotyczy to zarówno urządzeń jak i oprogramowania. Odpowiedni standard aparatury

powinien umożliwić podjęcie prac nad nowymi metodami klasyfikacji zdjęć satelitarnych wykonywanych przez satelity najnowszych generacji. Metody te powinny bazować na podejściu obiektowym do rozpoznawania obiektów i zjawisk z wykorzystaniem strukturalnych cech obiektów i sztucznych sieci neuronowych. Potrzeby gospodarcze kraju nakładają na specjalistów od teledetekcji obowiązek podjęcia prac badawczych nad możliwością rozpoznawania struktury upraw zobrazowanych na zdjęciach satelitarnych. Tu z pomocą powinna przyjść technika satelitarnych zdjęć wykonywanych jednocześnie w kilkuset zakresach promieniowania elektromagnetycznego. Potrzebą chwili jest więc podjęcie prac nad metodami analizy zdjęć wykonywanych za pomocą skanerów hiperspektralnych. Prace badawcze powinny dotyczyć także tej problematyki, w której polscy specjaliści odnotowali już spore sukcesy. Powinno się zatem prowadzić badania nad doskonaleniem metod oceny stanu roślin uprawnych zobrazowanych na wielospektralnych zdjęciach satelitarnych, doskonaleniem metod analizy zdjęć mikrofalowych, a także doskonaleniem modeli prognostycznych zarówno meteorologicznych jak i rolniczych. Modele te powinny znaleźć praktyczne zastosowanie w gospodarce, co będzie potwierdzeniem celowości nakładów na badania satelitarne.

Osiągnięcie podanych celów jest możliwe poprzez rozbudowę, a przynajmniej umożliwienie prowadzenia dalszych prac badawczych i aplikacyjnych dwóm ośrodkom: Zakładowi Badań Satelitarnych krakowskiego Oddziału Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, oraz Zakładowi Teledetekcji Instytutu Geodezji i Kartografii. Instytuty te, współpracując jak dotychczas w wieloma ośrodkami naukowymi w kraju (zlokalizowanymi w większości na wyższych uczelniach i instytutach resortowych), a także kontynuując współpracę z już wypróbowanymi partnerami zagranicznymi w ramach kolejnych Programów Ramowych Unii Europejskiej, byłyby w stanie osiągnąć wspomniane cele naukowe i praktyczne.

Biorąc pod uwagę sprzęt i oprogramowanie do przetwarzania zdjęć satelitarnych można powiedzieć, że w chwili obecnej sytuacja jest niezła w jednostkach badawczych i w niektórych szkołach wyższych. Dysponują one komputerami dobrej klasy i stosują najczęściej oprogramowanie ERDAS, PCI, Intergraph oraz IDRISI. J Oprogramowanie innych firm takie jak ER Mapper, Tera Vu, Atlas jest stosowane w pojedynczych laboratoriach. Z punktu widzenia sprzętu i oprogramowania sytuacja w jednostkach badawczych upoważnia je do współpracy z ośrodkami europejskimi i do startu w europejskich programach badawczych.

W zakresie kadry znajdujemy w kilku instytucjach po kilka osób o europejskim poziomie przygotowania teoretycznego i warsztatowego. Śledzą one na bieżąco trendy rozwojowe teledetekcji, współpracują z ośrodkami zagranicznymi i uczestniczą w projektach międzynarodowych. Zła sytuacja finansowa jednostek badawczych i szkół wyższych blokuje przyjmowanie nowych osób i poszerzanie tego grona. Ciekawa tematyka badawcza zachęca do wykonywania ambitnych prac magisterskich i doktorskich. Z żalem jednak obserwuje się zjawisko, że młodzi, dobrze przygotowani magistrowie rzadko kontynuują pracę w obszarze teledetekcji, a młodzi doktorzy oczekują długo na możliwość stałego zatrudnienia w instytutach lub w szkołach wyższych.

Ogromny i stały postęp technologiczny sprawia, że sprzęt będący w posiadaniu ośrodków badawczych już wkrótce okaże się już zbyt przestarzały i niewystarczający do prowadzenia badań. Podobnie ma się sprawa z większością oprogramowania stosowanego w

przetwarzaniu zdjęć satelitarnych. Tak więc kontynuacja prac w zakresie rozwijania teledetekcji wiąże się z koniecznością poczynienia nowych inwestycji hardware'owych i software'owych. Trzeba liczyć się do 2010 roku z nakładami w wysokości około 2,5 mln PLN na te cel. Koszt prac badawczych, dostęp do zdjęć satelitarnych, współpraca krajowa i międzynarodowa to kolejne 18,5 mln zł PLN. Tak więc pełna realizacja wspomnianych uprzednio celów wiąże się z nakładami finansowymi rzędu 21,0 mln PLN w okresie najbliższych ośmiu lat.

TELEKOMUNIKACJA

W telekomunikacji lawinowo wzrasta zapotrzebowanie na sieci przekazu zarówno głosu, danych jak i obrazu (sieci multimedialne lub bardziej fachowo sieci szerokopasmowe). Sieci szerokopasmowe są budowane na światłowodach (i koncentrykach) oraz w technologii bezprzewodowej (stacje przekaźnikowe na ziemi lub w kosmosie). Sieć satelitarna ma unikalną zaletę, może być wykorzystana do świadczenia usług multimedialnych na obszarze całego kraju natychmiast po uruchomieniu. Nawet indywidualny użytkownik może podłączyć się do sieci inwestując w antenę oraz odbiornik/dekoder (aktualnie rzędu 250zł) i mieć na telewizorze doskonałej jakości przekaz (publicystyka, kultura, edukacja, informacja, ...). Bardziej wymagający użytkownik klasy SO/HO (small office/home office) może zainwestować w terminal VSAT dostępny już od \$1000. Wprawdzie budowa sieci satelitarnej wymaga 100% nakładów przed jej uruchomieniem, ale realizuje najbardziej ekonomiczny przekaz multimedialny niezależnie od miejsca prowadzenia biznesu czy zamieszkania.

W kraju pierwsze aplikacje technologii satelitarnej były zrealizowane przez stację czołową (teleport) w Psarach, podłączony do regionalnego systemu INTRSPUTNIK przed trzydziestu laty. Inwestycja zrealizowana głównie z przesłanek politycznych nie miała większego znaczenia użytkowego. Sytuacja uległa zmianie po zasadniczej rozbudowie i podłączeniu teleportu do globalnych systemów INTELSAT i INMARSAT odpowiednio w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych. Teleport, jako Centrum Usług Satelitarnych włączony w strukturę publicznego operatora teleinformatycznego TP SA., z mocy prawa otrzymał wyłączność na usługi operatorskie (również dla ponad 100 stacji końcowych nie będących własnością TP SA.) oraz pośrednictwo przy dzierżawie pojemności na satelicie przez niezależnych operatorów wydzielonych sieci teleinformatycznych (TV, radio, transmisja danych,...). Nawet usługi pośrednictwa były dochodowe (rzędu \$200 mln/rok wg. raportu TP SA), jednak prawdziwy biznes robili i robią zagraniczni operatorzy/właściciele satelitarnych sieci.

W połowie lat siedemdziesiątych technologia satelitarna została zastosowana w USA do połączenia tysięcy stacji czołowych lokalnych sieci kablowych TV. Satelitarne sieci pracowały w paśmie C (fig. 1). Rozmiary anteny odbiorczej i koszt wyposażenia (antena i sterownik oraz konwerter) ograniczały wykorzystanie technologii w masowej skali przez indywidualnych użytkowników. Znamienny przełom technologiczny nastąpił w połowie lat osiemdziesiątych. Prywatny operator z Luksemburga (Société Européenne des Satellites S.A. - SES) rozpoczął satelitarną dystrybucję programów TV w paśmie Ku, bezpośrednio do indywidualnych odbiorców na terenie Europy, technologia DTH (direct to home). Miliony użytkowników zaakceptowało możliwość bezpłatnego odbioru kilkudziesięciu programów TV, o dobrej jakości obrazu, już za pomocą anteny o średnicy poniżej 1,5 m i inwestycji w wyposażenie rzędu \$100 (antena + konwerter). W ciągu dekady liczba anten przekroczyła 25 mil i wykazuje największą dynamikę wzrostu w porównaniu z przekazem naziemnym oraz kablowym (fig. 2). Polscy użytkownicy DTH już w pierwszym okresie zainstalowali ponad

milion anten satelitarnych (wg. MŁ, 1996r.), przy czym pionierzy na zainstalowanie anteny musieli uzyskać zgody Ministra Łączności, lokalnego organu MO i Administracji.

W połowie lat dziewięćdziesiątych w technologii DTH zostaje wprowadzona nowa przełomowa jakość – cyfrowy obraz i kompresja. Użytkownik już za pomocą 60 cm talerza może odbierać setki kanałów TV i jednocześnie mieć znakomitej jakości obraz. Technologia cyfrowa umożliwia przekaz mowy, muzyki, danych i obrazu na jednym (multimedialnym) kanale. Użytkownik inwestując około \$1000 w kartę do osobistego komputera i około metrowy talerz może mieć bezpośredni szerokopasmowy dostęp do Internetu niezależnie od miejsca zamieszkania. Kompresja pozwala nawet dziesięciokrotnie zwiększyć przepustowość satelity przy niezauważalnej stracie na jakości obrazu, w rezultacie znacznie zwiększa opłacalność inwestowania w satelitarne sieci i obniżania kosztów usług. Cyfrowa sieć satelitarna umożliwi najbardziej ekonomiczną likwidację podziału na teleinformatyczną Polskę A i B oraz inwestowanie w najnowsze technologie na terenie kraju. Założenia na Narodowy Satelitarny System Teleinformatyczny POLSTAR przedstawiła Krajowej Administracji Polska Akademia Nauk już przed pięciu laty.

Według założeń celem projektu POLSTAR była budowa komercyjnej sieci teleinformatycznej, kontrolowanej z terenu kraju, przeznaczonej do:

- dystrybucji cyfrowego sygnału TV i radia do stacji czołowych sieci kablowych oraz indywidualnych użytkowników (DTH)
- szerokopasmowego dostępu do Internetu
- obsługi serwisów informacyjnych oraz transmisji na zlecenie
- obsługi łączy międzyoperatorskich i abonenckich TDMA oraz telefonii DAMA
- obsługi sieci korporacyjnych VSAT
- obsługi wydzielonych sieci Administracji Centralnej

Realizacja założeń projektu POLSTAR jest możliwa za pomocą już jednego satelity umieszczonego na wysokości 36 tys. km nad równikiem (orbita geostacjonarna) na pozycji uzgodnionej z ITU (International Telecommunication Union), plan procedury uzgodnień w załączeniu. Po otrzymaniu założeń, wyłącznie za pośrednictwem Krajowej Administracji, ITU uzgadnia projekty w kolejności zgłoszeń, obowiązuje zasada kto pierwszy ten lepszy. Administracje Łączności szeregu krajów, w tym wszyscy nasi sąsiedzi, z uwagi na gospodarcze znaczenie orbity geostacjonarnej i jej ograniczoną pojemność, przeprowadziły procedury koordynowało dla kilka pozycji, często na zapas. Krajowa Administracja Łączności, w powołaniu na Plan 30A i 30B (fig. 3 - 5), z taką inicjatywą jak na razie nie wystąpiła, więcej nawet – wręcz zablokowała zgłoszenie założeń projektu POLSTAR do ITU, mimo werbalnego uznania dla projektu.

Wprowadzony wprowadzie przez ITU Plan 30A oraz Plan 30B równego („equitable”) dostępu do orbity i częstotliwości w paśmie Ku, w praktyce oznacza prawie równy (almost „equal”), w sensie posiadania na papierze pozycji dla krajowego pokrycia, które gwarantują pokrycie ale nie ekonomię satelity dla usług multimedialnych (z Raportu ITU Doc. S.C.-RG5/45(Rev.1, 20 Nov. 1996)). Plan 30 A wprowadzony w 1977r. analogicznie Plan 30 B z 1987 r. to mieszanina polityki (narodowe pokrycie) oraz błędnych prognoz odnośnie kierunków rozwoju technologii (liniowa polaryzacja, mniejsze strumienie mocy, mniejsze stacje czołowe, cyfrowa modulacja). W efekcie tylko jeden system (BS3, 8 kanałów) bazuje

na Planie. Wzorem innych, system POLSTAR został zgłoszony poza Planem (fig. 6 - 7). Z uwagi na rozwinięty rynek wyposażenia użytkownika (dla DTH nawet w supermarketach) założono wykorzystanie dwóch bloków częstotliwości (o szerokości 0.25 GHz każdy) w paśmie Ku, z opcją w pasmach X, Ka i / lub O (zastosowania wojskowe).

Publiczna Telewizja i Radio odpowiada za treść, jak również za technologię emisji. Użytkownik zobowiązany do płacenia podatku medialnego (abonamentu) ma prawo do sygnału, który gwarantuje dobrą jakość obrazu i dźwięku. Obecnie użytkownik może wyłącznie odpłatnie otrzymać dobrej jakości sygnał, jeżeli mieszka w zasięgu lokalnej sieci kablowej lub z talerza. Poprawa technicznej jakości usług świadczonych przez media publiczne przez budowę naziemnych cyfrowych sieci przekazu jest kapitałochłonna (komercyjna cyfrowa sieć na terenie Anglii po zainwestowaniu ponad \$1200 mln zbankrutowała). Dla Polski bardziej ekonomicznym rozwiązaniem jest cyfrowa sieć satelitarna (fig. 8 – 10). Wprowadzenie przekazu cyfrowego otworzy masowe zapotrzebowanie na IRD (zintegrowany odbiornik/dekoder), jego produkcję można będzie uruchomić w kraju (miejsca pracy). Nadawca publiczny zmniejszy wydatki na naziemne przekaźniki.

Zasadnicze korzyści z wprowadzenia technologii cyfrowej będą widoczne w sferze społecznej. Telewizja publiczna w ekonomiczny sposób zapewni na terenie całego kraju dostęp do znakomitej jakości TV, ponadto w niezwykle ekonomiczny sposób (kompresja) będzie mogła rozszerzyć ofertę programową o dodatkowe kanały kulturalne, oświatowe, edukacyjne. Przykładem niech będzie cyfrowa sieć egipska, wykorzystywana do przekazu: 9 kanałów publicznych (informacyjno – kulturalnych), 6 kanałów edukacyjnych, 4 kanałów uniwersyteckich, 3 oświatowych, 10 kanałów panarabskich oraz kanałów kodowanych i retransmitowania wybranych kanałów zagranicznych (fig.11).

Gospodarcze wykorzystanie Internetu, a więc transferu dużych plików danych, może mieć miejsce w warunkach dostępu do sieci szerokopasmowej (np. kablowej). Nawet w centrum Warszawy dotychczas nie mam takiej możliwości, szczyt możliwości to ISDN. Na obrzeżach i taka (ISDN) możliwość w 2002 r. jeszcze jest osiągalna. Okablowania całego kraju nie należy oczekiwać z powodów ekonomicznych. Cyfrowa sieć satelitarna umożliwia rozwiązanie problemu szerokopasmowego dostępu do zasobów Internetu (problemu ostatniej mili, fig. 12).

Administracja centralna, właściciel publicznej telewizji, odpowiada za zrównoważony rozwój infrastruktury masowego przekazu, za dostęp i poziom edukacji, propagowanie narodowego dziedzictwa kulturowego - niezależnie od miejsca zamieszkania obywatela. Historia projektu POLSTAR wskazuje na brak polityki państwa w zakresie miejsca technologii satelitarnej w krajowej infrastrukturze teleinformatycznej. Biuro ds. Przestrzeni Kosmicznej „z urzędu” winno lobbować na rzecz opracowania polityki rozwoju sieci teleinformatycznych i wdrażania cyfrowej technologii satelitarnej.

Sieć satelitarna, kontrolowana z terenu Polski, będzie istotnym ogniwem bezpieczeństwa narodowego. Ta technologia umożliwi tworzenie wydzielonych sieci w charakterze strategicznej rezerwy istniejących sieci administracji centralnej. Segment kosmiczny może być wyposażony opcjonalnie w systemy łączności w standardach NATO, które umożliwiają bezpośrednią łączność pomiędzy jednostkami na lądzie, na morzu i w powietrzu oraz „zagranicznymi” jednostkami NATO (fig. 13 – 15). Ponadto sterowane anteny segmentu kosmicznego umożliwią podłączenie do sieci jednostek operujących daleko poza granicami kraju, potrzeba już obecnie nie tylko hipotetyczna. Plan aplikacji „natowskich”

technologii w powiązaniu z offsetem lotniczym może być podstawą do negocjacji w sprawie kooperacji krajowych podmiotów w zakresie produkcji stosownego sprzętu dla NATO.

Program rozwoju techniki kosmicznej

Podsystemy pokładowe

Pod hasłem podsystemy pokładowe należy rozumieć w pierwszej kolejności strukturę (platformę), podsystemy zasilania, kontroli położenia i temperatury, podsystemy telekomunikacji do sterowania i przekazu danych oraz mechanizmy. Podsystemy i integrująca je platforma są budowane w oparciu o wymagania misji kosmicznej (cel misji, architektura satelity, cykle pracy i narażenia, wskaźniki niezawodności, termin realizacji i limit kosztów). Do wykonania projektu potrzeba zarówno specjalistów, jak i inżynierów z interdyscyplinarną wiedzą. Dużą pomocą w projektowaniu są programy do szacowania narażeń w kosmosie udostępnione przez NASA oraz powszechnie stosowane modele matematyczne, służące do wyznaczania modów drgań, wyznaczania rozkładu obciążeń czy rozkładu temperatur (fig . 1 i 2).

Proces budowy wybranego podsystemu rozpoczynają prace studyjne na etapie koncepcji satelity, a kończą badania środowiskowe i funkcjonalne na etapie integracji z satelitą. Etapy pośrednie to: projekt wstępny (koncepcja, obliczenia, dokumentacja warsztatowa, wykonawstwo „nie rynkowych” podzespołów), projekt techniczny (korekta dokumentacji na podstawie obliczeń i testów, dokumentacja technologiczna), wykonawstwo i badania oraz badania kwalifikacyjne.

Know-how budowy podsystemów satelitarnych to technologiczne szczyty z zakresu mechanik, wytrzymałości materiałów, kinetyki czy mikrofal i telekomunikacji. Program efektywnego rozwoju budowy podsystemów można by zapoczątkować przez uruchomienie programu budowy „garażowego” satelity badawczo – technologicznego. Projekt można będzie uruchomić w oparciu o kadrę CBK oraz PW i studentów. Perspektywicznym celem do osiągnięcia będzie program nauczania i know-how budowy „tanich” satelitów na zlecenie.

PERSPEKTYWY ROZWOJU SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ

Wprowadzenie

Łączność satelitarna jest istotną częścią dzisiejszego przemysłu telekomunikacyjnego, obecnie na orbicie znajduje się ponad 500 satelitów geostacjonarnych i ponad sto na orbitach niskich (Iridium, Globalstar, Orbcomm). Oprócz realizacji transmisji dwustronnych (telefonii, fax, dane cyfrowe) znaczącą częścią systemów satelitarnych są transmisje rozsiwczące (radiodifuzja) programów telewizyjnych i radiowych. Systemy satelitarne zapewniają jednakową jakość usług na całym oświetlanym obszarze omijając problemy pokrycia radiowych systemów naziemnych. Niezależność systemów satelitarnych od istniejącej naziemnej infrastruktury telekomunikacyjnej pozwala na szybkie uruchomienie usług dla użytkownika końcowego, który musi zakupić tylko odpowiedni terminal i ustawić jego antenę w kierunku satelity.

Wzrost zapotrzebowania na usługi telekomunikacyjne związany z rozwojem naziemnych systemów łączności ruchomej oraz gwałtownym rozwojem internetu (lata 90) spowodował konieczność przystosowania istniejących systemów łączności satelitarnej oraz opracowanie nowych, tak aby sprostały nowym wymaganiom. Opracowane zostały i uruchomione satelitarne systemy łączności ruchomej dla transmisji telefonicznych (Iridium, Globalstar,). W systemach tych zrezygnowano z satelitów na orbitach geostacjonarnych (wady: duże tłumienie sygnału uniemożliwiające budowę małych terminali ruchomych z anteną prętową; duże opóźnienie sygnału odczuwalne w transmisjach głosowych i szczególnie istotne w dwukierunkowej transmisji danych) na rzecz satelitów umieszczonych na niższych orbitach. W takim wypadku ze względu na ruch satelity względem Ziemi (rzędu kilku km/s) dla zapewnienia globalnego zasięgu usług konieczna jest budowa konstelacji dużej liczby satelitów na wielu orbitach, co wiąże się z budową skomplikowanych systemów kontroli i zarządzania położeniem satelitów (możliwe dzięki postępowi w mikroelektronice - szybkie cyfrowe układy scalone o wielkim stopniu upakowania potrafiące realizować skomplikowane operacje w czasie rzeczywistym).

Nowe usługi szerokopasmowe dostępne dla rosnącej liczby użytkowników powodują wzrost zapotrzebowania na szybkość transmisji, prowadząc do powstania szerokopasmowych systemów łączności. Względny ekonomiczny uzasadnia budowę naziemnych systemów realizujących szerokopasmowe usługi multimedialne (przewodowe DSL - digital subscriber loop i HFC - hybrid fibre coaxial; radiowe systemy typu punkt-wiele punktów np. LMDS w paśmie 28 lub 42 GHz) na obszarach o dużej gęstości zaludnienia i rozwiniętej infrastrukturze telekomunikacyjnej. Dla pozostałych obszarów rozwiązaniem wydają się systemy satelitarne.

Historia

W 1945 Artur Clarke, pisarz SF, napisał o możliwości wykorzystania sztucznych satelitów Ziemi jako stacji retransmisyjnych w systemach radiokomunikacyjnych. Realizacja tej koncepcji nastąpiła na początku lat 60-tych i była możliwa dzięki rozwojowi techniki mikrofalowej i raketowej, jaki dokonał się w czasie i po drugiej wojnie światowej. W 1962 roku dokonano pierwszej transmisji międzykontynentalnej między stacjami w USA oraz we Francji i Wielkiej Brytani wykorzystując satelitę na orbicie geostacjonarnej, a w 1965 roku umieszczono pierwszego satelitę komercyjnego, Early Bird (Intelsat I), do realizacji łączności między Ameryką a Europą. Od momentu powstania systemu łączności satelitarnej skupiały się na transmisji sygnałów telefonicznych i programów telewizyjnych, intensywnie rozwijając się, uzyskując praktycznie monopol na połączenia międzykontynentalne (znacznie większa pojemność w porównaniu z przewodem miedzianym) w latach 70-tych. Postęp techniczny, umożliwiający zwiększenie masy i wymiarów satelitów (większe anteny) i mocy transmitowanych sygnałów oraz opracowanie układów mikrofalowych o małych szumach pozwolił na realizację transmisji radiodifuzyjnych programów fonicznych i telewizyjnych, gdzie transmitowane przez satelitę sygnały mogły być odbierane przez dużą liczbę odbiorców wykorzystujących indywidualne zestawy odbiorcze z antenami o średnicach 1,5-3 m.

Wykorzystanie satelitów na orbicie geostacjonarnej zapewnia globalny zasięg oferowanych usług: jeden satelita może praktycznie oświetlać do 1/4 powierzchni Ziemi (bez obszarów podbiegunowych), zapewniając jednakowe warunki odbioru na całym oświetlanym obszarze łącznie z obszarami trudno dostępnymi i słabo zaludnionymi, gdzie nie istnieje naziemna sieć telekomunikacyjna. Duża przepustowość satelity zapewnia jednoczesny dostęp do systemu wielu stacjom naziemnym, często oddalonym od siebie o tysiące kilometrów.

Od początku lat 80-tych, gdy położono pierwszy kabel światłowodowy między Europą a Ameryką, światłowody ze względu na znacznie większą pojemność zaczęły wypierać systemy satelitarne z tego segmentu rynku (traktowane obecnie jako systemy rezerwowe). Jednak początek lat 80-tych przyniósł również nowe zastosowanie systemów satelitarnych: transmisję rozsiewczą programów telewizyjnych, najpierw do stacji czołowych telewizji kablowych, a następnie do użytkowników indywidualnych. W 1985 roku powstaje SES Astra i w 1988 roku umieszczony zostaje na orbicie pierwszy satelita. Zastosowanie rewolucyjnej koncepcji umieszczenia kilku satelitów na jednej pozycji orbitalnej pozwala na zwiększenie liczby programów dostępnych dla użytkownika bez zmiany orientacji anteny zestawu odbiorczego. Poziom mocy sygnału nadawanego z satelity pozwalał na jego odbiór anteną o średnicy około 1,2 m. W drugiej połowie lat 90-tych wprowadzono transmisję cyfrową programów telewizyjnych (standard DVB) kodowanych w standardzie MPEG2, co umożliwia przesłanie kilku programów cyfrowych zamiast jednego analogowego przy porównywalnej jakości odbioru. Doprowadziło to do znacznego wzrostu liczby programów dostępnych dla użytkownika końcowego (obecnie dostępne po ponad 1000 programów z satelitów Astra i Hot Bird). Szacunkowo podaje się że transmisja rozsiewcza programów telewizyjnych stanowi około 70 % sygnałów transmitowanych w systemach satelitarnych.

Przełom lat 80-tych i 90-tych przyniósł początek prac nad satelitarnymi systemami telefonii komórkowej, zakładającymi wykorzystanie satelitów na orbitach niższych niż orbita geostacjonarna. Satelita na niskiej orbicie porusza się względem powierzchni Ziemi i oświetla znacznie mniejszy obszar niż satelita geostacjonarny, więc aby zapewnić ciągłą łączność między użytkownikiem a satelitą konieczne jest zastosowanie konstelacji wielu satelitów i przełączanie połączeń między nimi, gdy satelita znika z pola widzenia terminala naziemnego.

Jest to sytuacja analogiczna do naziemnych systemów komórkowych lecz tu użytkownik może być traktowany jako nieruchomy, a poruszają się stacje bazowe tworzące poszczególne komórki. Zastosowanie konstelacji wielu satelitów na orbitach niższych wymaga zastosowania skomplikowanych centrów kontroli i korekcji położenia satelity na orbicie. Opierając się na powyższej koncepcji opracowano i uruchomiono systemy satelitarnej telefonii komórkowej Iridium i Globalstar, ale problemy związane z małym zapotrzebowaniem na usługi tych systemów zatrzymały prace nad kolejnymi systemami. Nie przewidziano sukcesu telefonii naziemnej, głównie GSM, która dzięki usługom roamingu międzynarodowego zapewnia prawie globalny zasięg przy znacznie mniejszych kosztach i mniejszych i lżejszych terminalach niż systemy satelitarne.

Rewolucja informacyjna obserwowana od początku lat 90-tych powoduje ewolucję systemów satelitarnych w kierunku szerokopasmowych systemów transmisji danych multimedialnych. Modernizowane jest wykorzystanie systemów już istniejących jak również projektowane są systemy nowe zapewniające nowe możliwości, tak aby mogły sprostać wymaganiom XXI wieku.

Systemy satelitarne zapewniają dostęp do usług telekomunikacyjnych w globalnej skali umożliwiając szybką dwustronną transmisję danych między użytkownikami oraz szybki dostęp do internetu. Wymaganie związane z transmisją coraz większej liczby informacji powoduje konieczność przejścia w wyższe zakresy częstotliwości.

Pierwsze systemy satelitarne wykorzystywały pasmo C, następnie transmisje rozsiewcze programów telewizyjnych realizowane są w paśmie Ku, a przyszłe systemy szerokopasmowe mają pracować w paśmie Ka. Wyższa częstotliwość sygnału radiowego pozwala na realizację transmisji sygnału w szerokim paśmie, ale wpływa na jego większe tłumienie podczas propagacji między satelitą a Ziemią oraz zależność od warunków atmosferycznych (tłumienie opadów atmosferycznych, depolaryzacja) i propagacyjnych (możliwość przesłaniania widoczności satelity przez obiekty terenowe).

Pasmo	Częstotliwość [GHz]
L	1,53-2,70
S	2,70-3,50
C (łącze w dół)	3,70-4,20
C (łącze w górę)	5,92-6,42
X (łącze w dół)	7,25-7,74
X (łącze w górę)	7,90-8,36
Ku (łącze w dół)	10,70-12,75
	12,75-14,50
Ku (łącze w górę)	17,30-18,10
Ka (łącze w dół)	18,10-21,20
Ka (łącze w górę)	27,00-31,00
Q-V	36,00-51,40

Zakresy częstotliwości stosowane w systemach satelitarnych

Intelsat	23	GEO	C, Ku	łączność stacjonarna
SES	41	GEO	Ku, Ka	łączność stacjonarna
PanAmSat	22	GEO	C, Ku	łączność stacjonarna
Eutelsat	23	GEO	Ku, Ka	łączność stacjonarna
Jsat (Japonia)	9	GEO	C, Ku, Ka	łączność stacjonarna
LoralSky (USA)	8	GEO	C, Ku	łączność stacjonarna
Space Comm. (Japonia)	4	GEO	Ku, Ka	łączność stacjonarna
New Skies	5	GEO	C, Ku	łączność stacjonarna
StarOne (Brazylia)	5	GEO	C	łączność stacjonarna
Intersputnik	4	GEO	C, Ku	łączność stacjonarna
Telenor	3	GEO	Ku	łączność stacjonarna
Telesat (Kanada)	6	GEO	C, Ku	łączność stacjonarna
Arabsat	3	GEO	C, Ku	łączność stacjonarna
Asiasat	3	GEO	C, Ku	łączność stacjonarna
NSAB (Szwecja)	3	GEO	Ku	łączność stacjonarna
Inmarsat	4	GEO	L, C	łączność ruchoma
Thuraya (Emiraty Arabskie)	1	GEO	L	telefonii komórkowa
ACeS (Indonezja)	1	GEO	L	telefonii komórkowa
Orbcomm	36	LEO	UHF	SMS, email
Iridium	66	LEO	L	telefonii komórkowa
Globalstar	48	LEO	L	telefonii komórkowa

Organizacje i systemy satelitarne

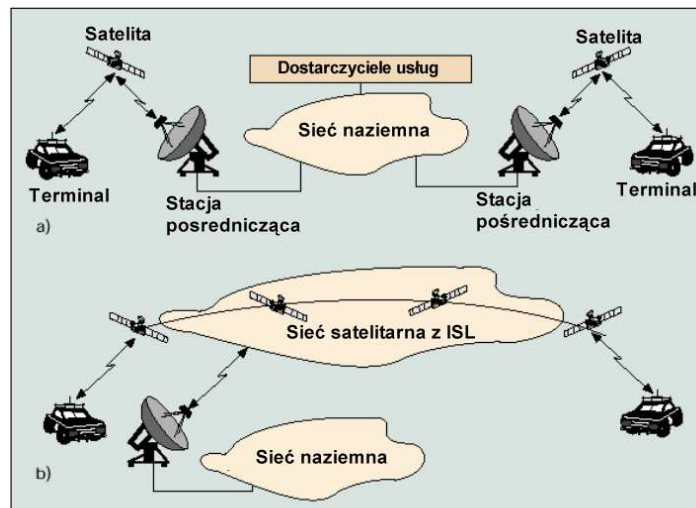
Struktura systemu satelitarnego

Każdy system satelitarny można podzielić na dwie części:

- **segment kosmiczny** - zawierający konstelację satelitów realizujących pokrycie zakładanego obszaru i umożliwiającą użytkownikom dostęp do systemu
- **segment naziemny** zawierający:
 - jedną lub wiele stacji pośredniczących (gateway, określane jako bazowe przez analogię do naziemnej telefonii komórkowej) - zapewniające interfejsy połączeń do innych naziemnych i satelitarnych systemów łączności (w zależności od architektury systemu mogą być połączone między sobą szybką naziemną siecią szkieletową - światłowód);
 - centra kontroli nadzoru i zarządzania konstelacją satelitów (szczególnie istotne dla satelitów na orbitach niegeostacjonarnych) i pracą naziemnych stacji pośredniczących
 - terminale abonenckie

Ze względu na architekturę systemy satelitarne można podzielić na

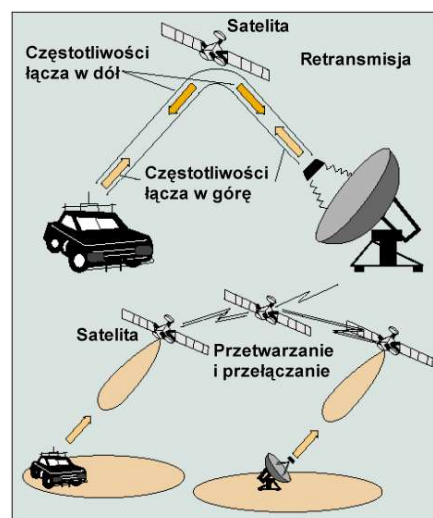
- **sieć dostępową** - w której satelita zapewnia połączenie terminala użytkownika z właściwą stacją pośredniczącą, mającą połączenia z naziemnymi sieciami szkieletowymi. Sygnał po dotarciu do stacji pośredniczącej kierowany jest do miejsca przeznaczenia przez sieć naziemną
- **satelitarną sieć szkieletową transmisji danych** - w której istnieją połączenia pomiędzy satelitami. Po dotarciu do satelity sygnał na podstawie adresu przeznaczenia kierowany jest łączami międzysatelitowymi do satelity najbliższego temu adresowi. Wybór trasy przesyłania danych określany jest na satelicie.



System satelitalny jako sieć dostępową (a) i jako sieć całościowa (b)

Z architekturą systemu satelitarnego ściśle związana jest budowa satelitów:

- **satelita retransmitujący** - "przezroczysty" (mogący być wykorzystany w systemach dostępowych) nie przetwarzający odbieranych sygnałów, po przemianie częstotliwości i wzmocnieniu są one transmitowane w kierunku Ziemi. Przezroczystość satelity pozwala na dowolne zmiany struktury sygnału przy zachowaniu szerokości wykorzystanego pasma częstotliwości. Dzięki takiej budowie satelitów było możliwe przejście z nadawania analogowego programów TV z modulacją FM na transmisję cyfrową z wykorzystaniem platformy DVB-S i standardu MPEG2.
- **satelita z przetwarzaniem i komutacją sygnału** (dla sieci szkieletowych) Na satelicie następuje regeneracja odebranego sygnału cyfrowego (demodulacja, korekcja błędów i ponowna modulacja) oraz wyznaczenie dalszej trasy (do których satelitów przez łącza międzysatelitowe) przesyłania sygnału w zależności od adresu przeznaczenia. Regeneracja sygnału na satelicie pozwala na zmniejszenie wymiarów anten i nadawanych mocy prowadząc do zmniejszenia wymiarów terminali użytkowych. Jednak wiąże się to z komplikacją układów na satelicie oraz dostosowaniem operacji na satelicie do struktury sygnału i zapewnieniem odpowiedniej niezawodności.



Satelita retransmitujący (a) i satelita z przetwarzaniem i przełączaniem sygnałów (b)

- *Systemy łączności stałej*
- *Systemy łączności ruchomej*

Systemy szybkiej transmisji danych

Gwałtowny wzrost liczby użytkowników, związany z rozwojem internetu i systemów transmisji danych cyfrowych (szacunki obecnie około 100 mln. użytkowników internetu na świecie, prognozy, że ich liczba może wzrosnąć do 250 - 500 mln w ciągu najbliższych 5 – 10 lat), oraz rosnące zapotrzebowanie na większą szybkość transmisji, związane z nowymi dostępnymi usługami jak: transmisja obrazów statycznych i ruchomych, dźwięku wysokiej jakości itp., wymaga powstania szerokopasmowych systemów transmisji danych, określanych jako systemy multimedialne. System multimedialny zapewnia integrację różnego rodzaju usług w dowolnych kombinacjach (transmisja danych komputerowych, tekstu, dźwięku, obrazów statycznych i ruchomych) w jednym środowisku informatycznym zapewniającym ich przesyłanie przetwarzanie i prezentację. System powinien zapewniać dynamiczne udostępnianie zasobów do realizacji takich usług jak: dwustronne przesyłanie dużej ilości danych, tele- i wideokonferencje, rozsiewcze transmisje radiowe i telewizyjne o dużej jakości, realizację usług programów radiowych i telewizyjnych na żądanie, szybki dostęp do internetu). Zakłada się przy tym niesymetryczność kanału do i od użytkownika tj: duża liczba informacji przesyłana jest do użytkownika (ściągnięcie plików i stron WWW, odbiór rozsiewczych i zamówionych programów radio i TV), natomiast od użytkownika do systemu przesyłana jest znacznie mniejsza ilość informacji (zapytania, potwierdzenia, opcje wyboru). Ponieważ budowa naziemnych systemów realizujących szerokopasmowe usługi multimedialne (przewodowe DSL - digital subscriber loop i HFC - hybrid fibre coaxial; radiowe systemy typu punkt-wiele punktów np. LMDS w paśmie 28 lub 42 GHz) jest ekonomicznie uzasadniona na obszarach o dużej gęstości zaludnienia i rozwiniętej infrastrukturze telekomunikacyjnej oraz tendencja zapewnienia pełnej globalizacji usług (użytkownik powinien mieć dostęp do tych samych usług niezależnie od tego gdzie się znajduje) wywołuje konieczność budowy satelitarnych systemów multimedialnych.

Szerokie pasmo transmisji wymaga jej realizacji w zakresie wysokich częstotliwości, powyżej 10 GHz:

- pasmo Ku 10 -18 GHz - wykorzystywane w istniejących systemach geostacjonarnych
- pasmo Ka 18 -31 GHz, przewidziane 20/30 GHz. duże tłumienie powodowane przez opady powoduje konieczność dużego marginesu
- pasmo V 40 -75 GHz przewidziane 40/50 GHz Większy wpływ opadów i mniej zaawansowana technologia układów dla tych częstotliwości odsuwa w czasie ich wykorzystanie. Planuje się ich wykorzystanie w łączach między satelitami oraz w systemach wykorzystujących platformy stratosferyczne.

Założenie o niesymetryczności ilości danych przesyłanych do i od abonenta wpłynęło na realizację pierwszych satelitarnych systemów szerokopasmowych opartych na istniejących satelitach geostacjonarnych i zapewniających szybki dostęp do internetu. Rozwiązanie to oparte jest na platformie DVB-S realizującej rozsiewczą transmisję programów TV i radio. Przesyłany strumień danych łączony jest ze strumieniami programów telewizyjnych, uzyskując przepływność od 0,4 do 38 Mb/s. Aby umożliwić interaktywną realizację usług należy zapewnić kanał transmisji od użytkownika do centrum systemu (stacja pośrednicząca posiadająca połączenia z naziemnymi sieciami i przygotowująca dane dla poszczególnych użytkowników, które są następnie transmitowane przez satelitę) - kanał zwrotny. Zrealizowano to w różny sposób:

- brak kanału zwrotnego - transmisja rozsiewcza wybranego zestawu stron WWW (best of) na takiej samej zasadzie jak telegazeta w TV
 - kanał zwrotny realizowany przez sieć wąskopasmową
 - naziemną sieć telefoniczną (PSTN, ISDN) - użytkownik łączy się z serwerem za pomocą linii telefonicznej przesyłając żądanie ściągnięcia odpowiednich stron, które są transmitowane do niego przez satelitę: ASTRA-NET, DIRECPC
 - satelitarną sieć VSAT w paśmie Ku, związane z koniecznością instalacji terminala VSAT
- ASTRA-NET zapewnia realizację usług: dostarczanie strumieni odpowiednio przygotowanych danych, z których użytkownik może wybrać te które go interesują; dostarczanie pakietów danych; szybki internet do indywidualnych użytkowników (400 kb/s)
- szerokopasmowy satelitarny kanał zwrotny o przepływności do 2 Mb/s (w zależności od średnicy anteny satelitarnego terminala interaktywnego SIT - 0,5-1,3 m), zrealizowany w paśmie 30 GHz. : Broadband Interactive Astry - dawniej ARCS) - uruchomienie w 2001 r

Przyszłe szerokopasmowe satelitarne systemy multimedialne, będące w fazie projektowej, oparte są na różnych założeniach i będą wykorzystywać satelity na różnych orbitach. Lecz mają one podobne cele: zapewnić przyszłym użytkownikom dostęp do szybkiej i niezawodnej sieci transmisji danych w skali globalnej lub regionalnej (kontynent).

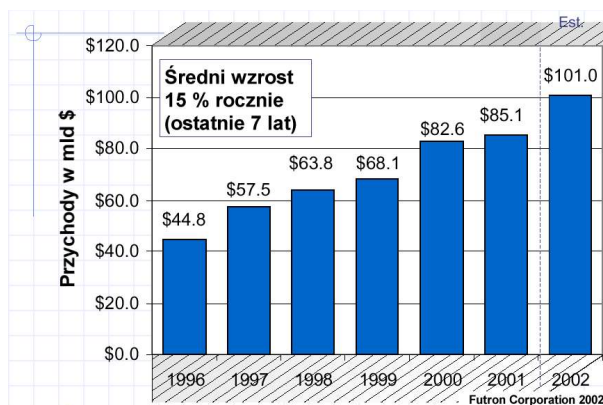
Tendencje rozwoju łączności satelitarnej na świecie

Ekspertyzy organizacji międzynarodowych stwierdzają, że łączność bezprzewodowa będzie nadal najszybciej rozwijającą się gałęzią telekomunikacji. Wzrost zapotrzebowania na usługi telekomunikacyjne, wywołany zwiększaniem liczby użytkowników internetu oraz zwiększaniem wymaganych szybkości transmisji sygnałów wymusza ciągły rozwój systemów telekomunikacyjnych, których istotną częścią są systemy satelitarne, zapewniając jednocześnie dostęp do systemu wielu użytkownikom, często oddalonym od siebie o tysiące kilometrów. Obecnie systemy satelitarne stanowią 2 – 4 % całkowitego rynku usług telekomunikacyjnych, a prognozy mówią o utrzymaniu tego stanu a nawet zwiększeniu.

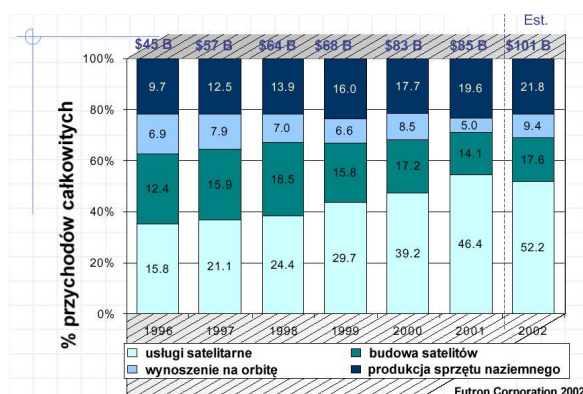
Przychody przemysłu związanego z telekomunikacyjnymi systemami satelitarnymi rosną w kolejnych latach, i nawet w roku 2001 odnotowano wzrost, Rys. 9 [7]. Całkowite przychody są dzielone między następujące segmenty:

· budowę satelitów	około 20%
· wynoszenie na orbitę	kilka %
· produkcja sprzętu naziemnego	około 20 %
· usługi satelitarne	ponad 50 %

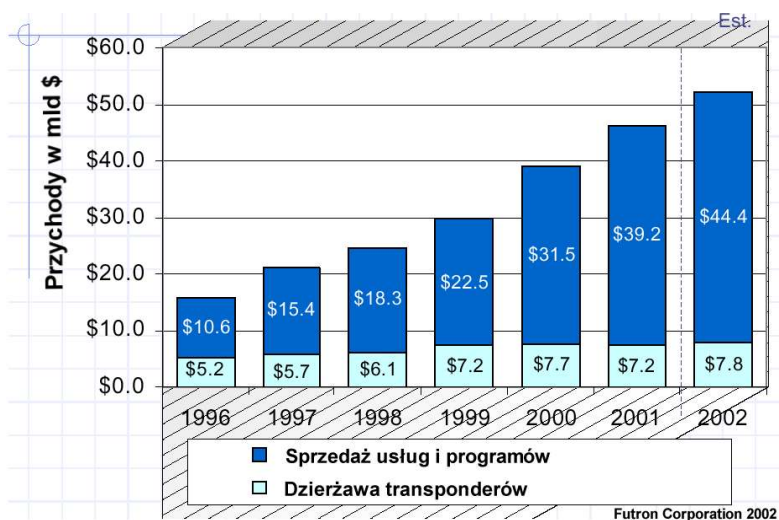
Znacząca część przychodów z usług satelitarnych przypada dostawcom usług i treści przesyłanej w systemie, Rys. 10. W perspektywie powstania w przyszłości nowych usług multimedialnych (filmy na żądanie, tele-nauka) udział ten ma jeszcze się zwiększyć



Przychody uzyskiwane przez przemysł satelitarny



Podział przychodów przemysłu satelitarnego pomiędzy różne jego segmenty



Przychody z usług satelitarnych oferowanych użytkownikom

Przewidywany jest rozwój satelitarnych systemów łączności w trzech głównych kierunkach:

1. dalszy rozwój systemów z satelitami na orbitach GEO

- systemy transmisji rozświecznych (ang direct broadcast satellite system - DBS) - programy TV (standard DVB-S, wzrost liczby programów, możliwość wprowadzenia HDTV) i radio (DAB)
- szybki internet - dane do użytkownika przesyłane przez satelitę jako jeden ze strumieni w cyfrowej transmisji TV cyfrowej MPEG2 w standardzie DVB-S, przy

realizacji kanału zwrotnego przez naziemną sieć telefoniczną (Astra-Net, Skyplex, DirectPC w Ameryce)

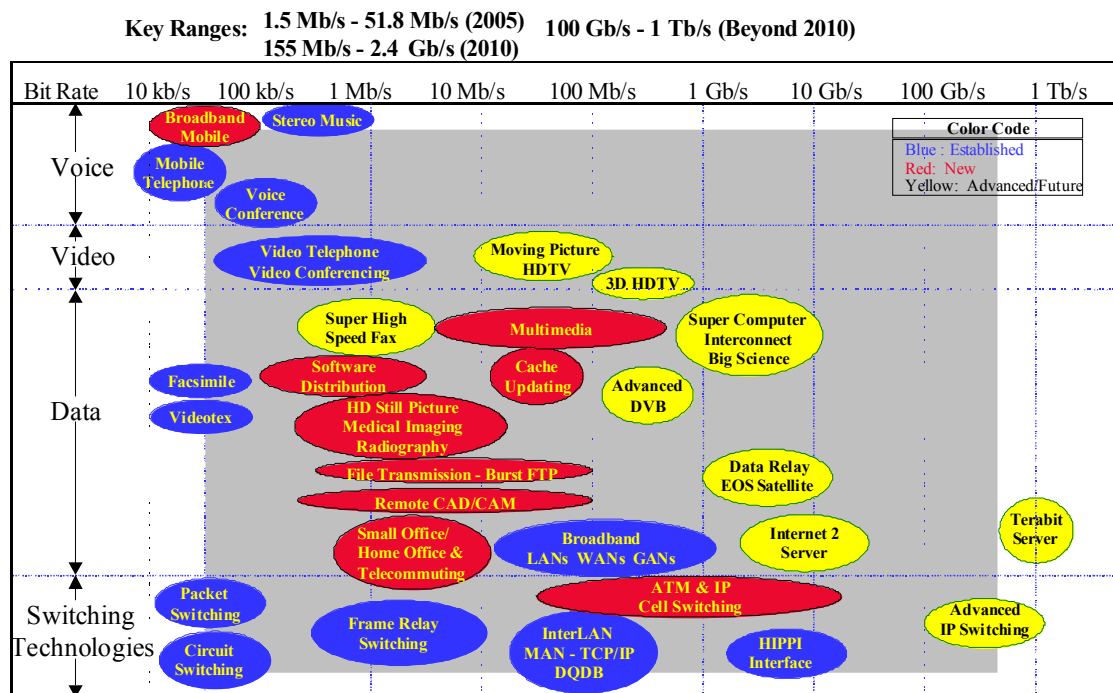
- interaktywne systemy transmisji z kanałem zwrotnym przez satelitę stosując satelitarne terminale użytkowe mogące nadawać sygnały w kierunku satelity (standard DVB-RCS np. BBI Astry)

(wykorzystanie transponderów istniejących satelitów, a w przyszłości zastosowanie satelitów z podziałem oświetlanego obszaru na wiele wiązek, aby zwiększyć całkowitą pojemność systemu (ominać ograniczenie liczby aktywnych użytkowników przy pojedynczej wiązce oświetlającej duży obszar))

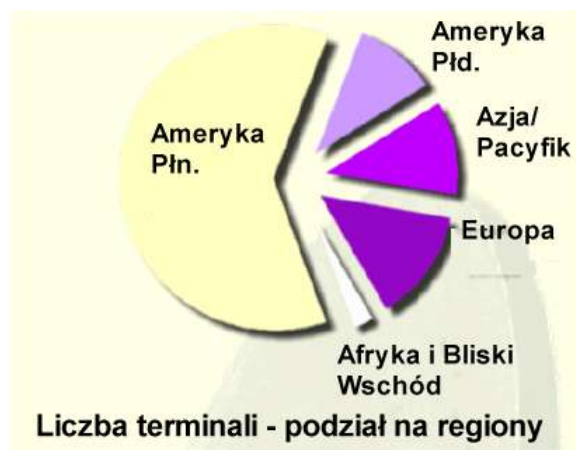
- sieci VSAT zapewniające dwustronną interaktywną łączność między użytkownikami poprzez satelitę, przewidywany szybki rozwój w krajach rozwijających się, gdzie nie ma odpowiedniej infrastruktury telekomunikacyjnej: Afryka, Azja, Ameryka Płd.
- połączenia telefoniczne: międzykontynentalne między krajami bez połączenia światłowodowego, połączenia krajowe w krajach bez rozwiniętej infrastruktury telekomunikacyjnej oraz obszarach o niewielkiej gęstości zaludnienia.

2. wąskopasmowe systemy łączności ruchomej (ang. mobile satellite system - MSS) - systemy satelitarnej telefonii komórkowej wykorzystujące konstelacje satelitów na orbitach niższych niż GEO (np. IRIDIUM, GLOBALSTAR), oraz satelitów dużej mocy na orbitach GEO (THURAYA, ACES)
3. szerokopasmowe systemy multimedialne, mające wykorzystywać zarówno satelity na orbicie GEO np. EUROSKEYWAY lub konstelacje satelitów na orbitach niższych np. TELEDISIC, SKYBRIDGE.

Telecommunication Services and Bit Rate

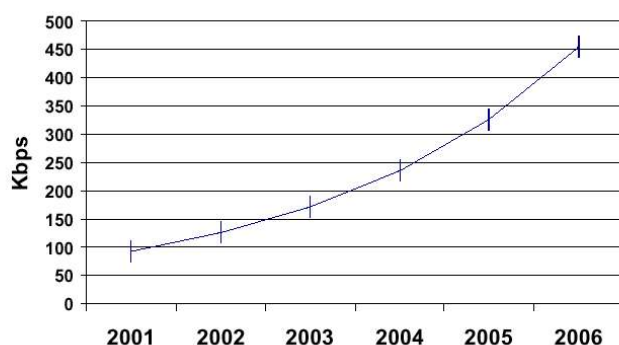


Prognozy rozwoju usług telekomunikacyjnych i systemów je realizujących



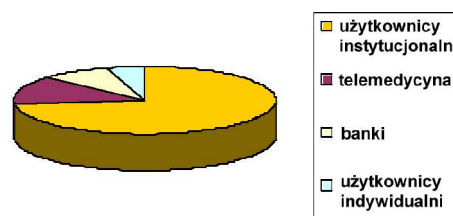
Procentowy udział poszczególnych kontynentów w sieciach VSAT (ComSys 2001)

Przewiduje się, że głównym motorem rozwoju łączności satelitarnej będą systemy szerokopasmowe i internet, że do 2010 gwałtownie wzrośnie zapotrzebowanie użytkowników na usługi szerokopasmowe, przy czym zakłada się głównie będą to użytkownicy instytucjonalni (międzynarodowy biznes). Systemy satelitarne mają być uzupełnieniem systemów naziemnych (światłowodowych i radiowych) pozwalając na zapewnienie usług użytkownikom w miejscach gdzie nie ma sieci naziemnych. Warunkiem sukcesu nowych systemów jest trafienie w zapotrzebowanie użytkowników, dostępność tanich terminali użytkowych oraz konkurencyjne ceny w porównaniu do systemów naziemnych oferujących podobne usługi.



NorthernSky Research

Średnie zapotrzebowanie na szybkość transmisji dla użytkowników systemów szerokopasmowych



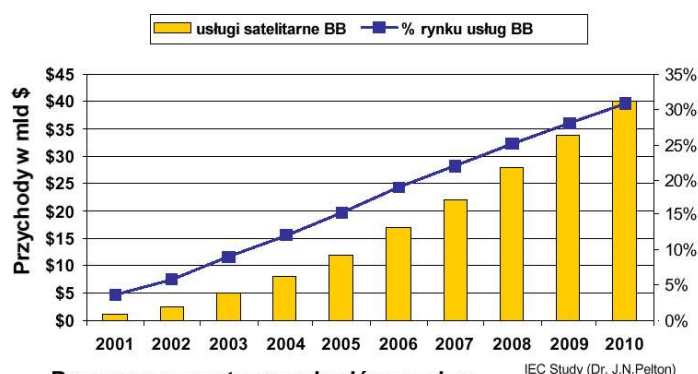
Użytkownicy systemów szerokopasmowych

Prognozy zapotrzebowania na szybkość przesyłanych informacji i prognozowany profil użytkowników generujących to zapotrzebowanie

Zastosowanie satelitów na orbitach niegeostacjonarnych (LEO i MEO) powoduje konieczność użycia konstelacji wielu satelitów, aby zapewnić nieprzerwaną pracę systemu i jego globalny zasięg, co powoduje wzrost kosztów projektu, budowy i utrzymania systemu. Jednocześnie z niższą orbitą wiąże się krótszy czas życia satelity, czyli zwrot kosztów systemu musi nastąpić w krótszym czasie. Po problemach finansowych Iridium, Globalstara, część ekspertów obecnie twierdzi, że bez znaczącego zmniejszenia kosztów budowy satelitów i ich wynoszenia na orbitę, systemy LEO nie mogą odnieść sukcesu. Wydaje się, że w najbliższych latach rozwój łączności satelitarnej oparty będzie na wykorzystaniu satelitów na orbitach GEO (przewidywania wystrzelenia ok. 200 nowych satelitów w latach 2001-2010) o coraz większej masie i mocy (wykorzystujących nowe technologie) pozwalających na redukcję wymiarów naziemnych terminali użytkowych (możliwość użycia terminali

ruchomych) oraz systemów na orbitach MEO (znacznie mniejsze koszty w porównaniu do systemów LEO oraz dłuższy czas życia - porównywalny z satelitami GEO - 10-15 lat).

Systemy multimedialne



Prognozy wzrostu przychodów z usług satelitarnych systemów szerokopasmowych (BB)

Prognozy wartości rynku usług szerokopasmowych (w mld \$)		
	2001	2008
Sieci szkieletowe	0,485	7,565
Rozsiewcze P-MP	0,241	6,042
Dostęp szerokopasmowy	0,338	13,353
Całkowite	1,062	26,961

Pioneer Consulting

Prognozy rozwoju Wariant 1 (optymistyczny)



Prognozy rozwoju Wariant 2

Przyszłe szerokopasmowe satelitarne systemy multimedialne, będące w fazie projektowej, oparte są na różnych założeniach i będą wykorzystywać satelity na różnych orbitach. Lecz mają one podobne cele: zapewnić przyszłym użytkownikom dostęp do szybkiej i niezawodnej sieci transmisji danych w skali globalnej lub regionalnej (kontynent).

- TELEDESIC - szerokopasmowy system transmisji danych określany jako "internet in the sky". Satelitarna sieć transmisji pakietów (zastosowanie przetwarzania i komutacji na satelicie i łączy między satelitami - optycznych lub mikrofalowych), mająca zapewnić

jakości transmisji jak w łączach światłowodowych o przepływności rzędu kilku Mb/s. Wstępnie zakładano wykorzystanie konstelacji 288 satelitów na wysokości 1440 km, **obecnie przewiduje się wykorzystanie 30 satelitów na orbitach średnich MEO.** Pasma częstotliwości 19/29 GHz.

- SKYBRIDGE - szerokopasmowa satelitarna sieć dostępowa zapewniająca połączenie terminala abonenckiego ze stacją pośredniczącą (wychodząc z założenia że istnieją szybkie pojemne naziemne sieci szkieletowe, ale problemem jest zapewnienie szerokopasmowego dostępu do nich końcowemu użytkownikowi - "problem ostatniej mili"). Oparta na protokole ATM i mająca wykorzystywać konstelację 80 satelitów (proste satelity retransmitujące bez łączy międzysatelitarnych) na wysokości 1469 km. Pasma częstotliwości 10/14 GHz, takie jak w istniejących systemach geostacjonarnych. System zapewnia kompatybilność z tymi systemami - terminal naziemny może nadawać w kierunku satelity jeśli odbiera jego sygnał, a satelita zaprzestaje nadawania jeśli znajduje się w blisko orbity geostacjonarnej. Mniejszą liczbę satelitów uzyskano przyjmując mniejszy minimalny kąt elewacji 30 st. i rezygnując z pokrycia obszarów podbiegunowych (powyżej 68 st. szerokości geograficznej), co uzyskano przez pochylenie orbit względem równika (kąt inklinacji) 53 st. **Obecnie projekt wstrzymany, rozpatruje się możliwości wykorzystania satelitów geostacjonarnych do budowy systemu szybkiej transmisji danych**
- EUROSKYWAY - europejska satelitarna sieć szerokopasmowej transmisji danych wykorzystująca 5 satelitów geostacjonarnych (z przetwarzaniem sygnałów na satelicie i łączami międzysatelitarnymi) pokrywających Europę, północną Afrykę i kraje byłego ZSRR. Pasma 20/30 GHz dla łączy satelita Ziemia i 56/64 dla łączy między satelitami. Satelity anteny wielowiązkowe, terminale naziemne anteny paraboliczne o średnicach od 66 cm dla użytkowników

Innym ciekawym rozwiązaniem są propozycje zastąpienia satelitów przez platformy stratosferyczne HAP (high altitude Platform), w których segment telekomunikacyjny ma być umieszczany na pokładzie sterowców lub samolotów bezzałogowych umieszczonych na wysokości kilkudziesięciu kilometrów i realizujących pokrycie obszaru o średnicy kilkaset kilometrów np. wokół dużych miast. Zastosowanie podziału oświetlanego obszaru na kilkaset komórek, obsługiwanych oddzielnymi wiązkami antenowymi, pozwala na skuteczniejsze wykorzystanie dostępnego widma częstotliwościowego (a więc większą pojemność) niż w systemach satelitarnych (obszar o podobnej średnicy może być obsługiwany przez kilka - kilkanaście wiązek w systemach z satelitami na niskich orbitach i jedną wiązkę dla satelitów geostacjonarnych). Platformy nie muszą być wynoszone za pomocą rakiet. Dzięki własnym silnikom mogą się przemieszczać lub zawisnąć nad określonym obszarem, jak również być ponownie sprowadzone na Ziemię np. w celu naprawy. Najbardziej znanym takim rozwiązaniem jest system SKYSTATION, przewidujący wykorzystanie sterowców umieszczonych na wysokości 21 km i zapewniający łączność z użytkownikami w paśmie 47 GHz z przepływnościami do 10MB/s.

Plany w Polsce

Polska obecność w łączności satelitarnej rozpoczęła się od udziału w systemach Intersputnik i Inmarsat. W 1974 rozpoczęło działalność Centrum Usług Satelitarnych w Psarach koło Kielc, gdzie zlokalizowano stacje naziemne systemów Intersputnik, Intelsat,

Inmarsat i Eutelsat zapewniające realizację łączności dla użytkowników stacjonarnych i ruchomych (Inmarsat). Obecnie pracuje tam 16 stacji w tych systemach realizując następujące usługi:

- realizacja międzynarodowych łączy telekomunikacyjnych (transmisje telefoniczne, telefaksowe, teleksowe, danych cyfrowych) na 43 relacjach do 34 krajów
- realizacja łączności ruchomej w systemie Inmarsat transmisje telefoniczne, telefaksowe, teleksowe, danych niskiej przepływności) pomiędzy terminalami ruchomymi (morskimi, lądowymi i powietrznymi) a stacjonarną siecią publiczną.
- transmisja danych w sieci VSAT
- łączy okazjonalne (transmisje TV, radiowe, danych)
- usługi operatorskie
- dzierżawę zasobów systemu satelitarnego

Telekomunikacja satelitarna angażuje i generuje znaczące środki finansowe. Jednak zainteresowanie państw uczestniczących w tym przedsięwzięciu nie sprowadza się tylko do aspektów ekonomicznych:

- względy prestiżowe należenia do krajów dysponujących technologią kosmiczną i promocyjne
- możliwości wykorzystania systemów satelitarnych do celów obronnych i cywilnych np. ochrony środowiska, służb ratowniczych
- rozwój zaawansowanej technologii potrzebnej w programach kosmicznych
- istnienie odpowiedniej technologii i specjalistów umożliwia włączenie się w programy przynoszące korzyści ekonomiczne

Perspektywy/plany rozwoju systemów satelitarnych w Polsce

Satelitarna platforma cyfrowa telewizji publicznej

Rozwój satelitarnych systemów rozsyłczych umożliwił indywidualny odbiór satelitarnych programów telewizyjnych i radiowych terminalami z małymi antenami. Wprowadzenie telewizji cyfrowej w standardzie DVB-S pozwoliło na transmisję znacznie większej liczby programów niż w systemach analogowych. Obecnie istnieją dwie polskie platformy satelitarnej telewizji cyfrowej: Nowa Cyfra+ i Polsat Cyfrowy, mające łącznie około 1 mln. abonentów. Koniecznym jest również stworzenie platformy cyfrowej przez telewizję publiczną (kanały edukacyjne, edukacyjne), zapewniającej użytkownikom odbiór programów w ramach płaconego obecnie abonamentu RTV. Ze względu na trudności z wprowadzeniem cyfrowej telewizji naziemnej (koordynacja częstotliwości z sąsiadami, wykorzystywanie części częstotliwości przez kraje sąsiednie na wschodzie) alternatywą może być platforma satelitarna, oparta na dzierżawie transponderów satelitarnych, zapewniająca jednocześnie użytkownikowi możliwość odbioru innych programów z satelity.

Satelitarny system multimedialny

W Polsce w pierwszej połowie lat 90-tych podjęto próby budowy polskiego satelity do celów multimedialnych przez konsorcjum POLSPACE, ale niestety Ministerstwo Łączności nie wyraziło zgody na wystąpienie do Międzynarodowej Unii Telekomunikacyjnej ITU o przydział miejsca na orbicie geostacjonarnej. Rozważano również propozycję wprowadzenia w Polsce cyfrowego radia satelitarnego WORLDSPACE, jednak był niekompatybilny z planowanymi systemami europejskimi (EUREKA) i nie doszło do finalizacji tych zamierzeń.

Z wielu poważnych oświadczeń władz Rzeczypospolitej Polskiej wynika tendencja wspierania rozwoju systemów telekomunikacyjnych prowadząca do realizacji wizji społeczeństwa informacyjnego. Szczególny nacisk ma być położony na rozwój szerokopasmowych sieci transmisji informacji łączących szkoły i ośrodki edukacyjne zarówno w dużych miastach ale również na prowincji. O ile w dużych aglomeracjach miejskich budowa takich sieci w oparciu o infrastrukturę światłowodową oraz przewodów miedzianych jest w pełni uzasadniona ekonomicznie, natomiast jest to nierealne w odniesieniu do ośrodków mniejszych i obszarów wiejskich. Wydaje się również, że nie spełni tej roli technologia PLC (Power Line Communications), zapewniająca transmisję danych przez sieci energetyczne (spore zastrzeżenia dotyczące kompatybilności takich systemów). W takiej sytuacji jedynym pewnym i niezawodnym rozwiązaniem mogą być systemy satelitarne, które zapewniają łatwy dostęp do sieci użytkownikom niezależnie od ich lokalizacji geograficznej. Satelitarny system szerokopasmowej transmisji danych, określany jako system multimedialny zapewni społeczeństwu dostęp do nowoczesnej szybkiej sieci telekomunikacyjnej (dostęp do internetu dla szkół, ośrodków edukacyjnych i naukowych).

Planowany system satelitarny należałoby oprzeć na dzierżawie transponderów na istniejących satelitach, co wydaje się rozwiązaniem bardziej ekonomicznym niż budowa polskiego własnego satelity.

Proponowany system satelitarny oferowałby usługi:

1. system szybkiego internetu przez satelitę, zapewniający dostęp do internetu na obszarach bez naziemnej infrastruktury telekomunikacyjnej np. obszary wiejskie
 - szkoły, placówki oświatowe, itp.
 - użytkownicy indywidualni
2. wirtualna nauka na odległość
 - wirtualna szkoła, uniwersytet
 - szkolenia i kursy
 - telemedycyna
3. krajowa sieć szybkiej transmisji danych dla zastosowań komercyjnych
4. system łączności między różnymi ośrodkami decyzyjnymi (prywatne sieci wirtualne) - niezawodna i bezpieczna transmisja (kodowanie zabezpieczające przed podsłuchem) różnych danych:
 - wydzielone sieci łączności między różnymi ośrodkami np. agencje rządowe, policja, wojsko
 - możliwość realizacji wideo-konferencji między różnymi ośrodkami
 - szybki dostęp różnego rodzaju służb (policja, straż graniczna, służby celne itp.) do centralnych baz danych (rejestrów skradzionych pojazdów, osób poszukiwanych, rejestracja osób i pojazdów przekraczających granice)
 - zapasowy system łączności w wypadkach awaryjnych lub kryzysowych (klęski żywiołowe, ataki terrorystyczne) bez potrzeby korzystania z infrastruktury naziemnej
5. rozsiewcza transmisja programów telewizyjnych i radiowych
 - programy edukacyjne
 - programy komercyjne (np. polska platforma cyfrowa)

Udział Polski w projektach międzynarodowych

Nasz udział w międzynarodowych projektach związanych z systemami łączności satelitarnej należy zacząć od budowy odpowiedniej infrastruktury naukowo-technicznej. Można to realizować przez:

- tworzenie zespołów zajmujących się problematyką satelitarną
- nawiązanie współpracy z zagranicznymi ośrodkami badawczymi, instytucjami, firmami, w których projektowane są nowe systemy
- udział w międzynarodowych projektach badawczych
- kształcenie specjalistów w zakresie systemów satelitarnych, organizowanie stażów w ośrodkach zajmujących się tematyką satelitarną

Dobrym punktem wyjściowym mógłby być projekt budowy polskiego mini-satelity na niskiej orbicie do obserwacji Ziemi, w ramach współpracy z komercyjnymi firmami zachodnimi, i związany z tym transfer technologii kosmicznych.

Szanse na samodzielną realizację projektu i budowę systemu satelitarnego w Polsce są minimalne. Nasz wkład w ramach międzynarodowej współpracy może polegać na:

- tworzeniu oprogramowania
- badaniach w zakresie metod transmisji, protokołów, itd...
- wykorzystaniu przy budowie satelity wybranych elementów polskiej technologii, np. urządzenia pomiarowe, czujniki ...

PERSPEKTYWY ROZWOJU NAWIGACJI SATELITARNEJ W POLSCE

1. Ocena stanu istniejącego w Stanach Zjednoczonych, w Europie i w Polsce

Podstawowe dane, charakteryzujące systemy permanentnych stacji GPS w USA oraz w Europie przedstawia załączona tabela.

Z analizy wybranych systemów zamieszczonych w tabeli wynikają następujące wnioski:

1. Systemy te zawierają stacje wielofunkcyjne, świadczące usługi zarówno dla nawigacji, jak i geodezji,
2. Największą gęstością rozmieszczenia stacji referencyjnych wyróżnia się system SWAPOS Republiki Federalnej Niemiec – wzajemna odległość między stacjami wyniesie około 50 km,
3. W utworzenie, a następnie koordynację krajowych systemów stacji referencyjnych zaangażowane są centralne władze geodezyjne poszczególne państw,

W Polsce utworzono dotychczas kilka niezależnych sieci lokalnych stacji referencyjnych DGPS przeznaczonych dla różnych celów, takich jak: nawigacja morska (Urzędy Morskie w Gdyni i w Szczecinie), nawigacja lądowa i monitoring pojazdów policji i służb ratownictwa miejskiego (Urzędy Miejskie Gdańsku, Sopocie i Gdyni), potrzeby geodezji i inżynierii morskiej oraz Systemów Informacji o Terenie i Geograficznych Systemów Informacji (Pomorski Urząd Wojewódzki) oraz dla potrzeb monitoringu pojazdów komunikacji i służb miejskich w kilku miastach w Polsce. Główny Urząd Geodezji i Kartografii rozpoczął w roku 2001 prace nad realizacją Aktywnej Sieci Geodezyjnej na obszarze Województwa Śląskiego. Stacje referencyjne tej sieci docelowo mają być stacjami wielofunkcyjnymi spełniającymi wymogi lądowej nawigacji satelitarnej DGPS. W roku 2003 planuje się uruchomienie stacji referencyjnej na lotnisku w Dęblinie dla nawigacji lotniczej i kontroli ruchu lotniczego.

W roku 2000 Komisja Geodezji Satelitarnej KBKiS PAN oraz Sekcja Sieci Geodezyjnych Komitetu Geodezji PAN, opierając się na dokonanej analizie systemów stacji referencyjnych w krajach europejskich i Stanach Zjednoczonych, przyjęły w szczególności następujące określenie celów utworzenia Polskiego Systemu Stacji Permanentnych GPS:

- 3) Generowanie na stacji i transmisja poprawek DGPS/RTK w międzynarodowym formacie RTCM 104 za pomocą GSM (GPRS, HSCSD, a w przyszłości UMTS),

- 4) gromadzenie oraz udostępnianie za pośrednictwem Internetu danych obserwacyjnych stacji permanentnych dla celów postprocessingu w międzynarodowym formacie RINEX.

Dla obszaru Polski projektuje się utworzenie około 50 nowych stacji referencyjnych i włączenie już istniejących stacji do systemu. Przyjęto, że odległość między stacjami powinna wynosić 80-100 km (Rys. 1).

Dalszy rozwój tych lokalnych systemów nie jest możliwy bez określenia zasad i sposobów ich integracji z europejskim systemem EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), którego uruchomienie planuje się na rok 2004, a następnie integracji z projektowanym obecnie systemem GALILEO,



Rys. 1. Sieć Geodezyjnego Wielofunkcyjnego Systemu Stacji Permanentnych.

2. Udział Polski w europejskim systemie nawigacji satelitarnej EGNOS

Celem projektu EGNOS jest utworzenie zintegrowanego satelitarnego systemu nawigacyjnego w celu zabezpieczenia potrzeb nawigacji lotniczej, morskiej i lądowej w Europie. Projekt ten jest realizowany wspólnie przez Komisję Unii Europejskiej (CEU), Europejską Agencję Kosmiczną (ESA) oraz EUROCONTROL. Będący w trakcie realizacji projekt zakłada budowę do roku 2004 wysokiej klasy precyzyjnego systemu nawigacji, pozycjonowania i monitoringu bazującego na transmisji, w skali regionalnej, poprawek różnicowych DGPS i DGLONASS poprzez dwa satelity geostacjonarne typu INMARSAT III (AOR-E, IOR) oraz satelitę ESA Artemis. Odpowiednie oprogramowanie umożliwia przestrzenną lokalizację, na cyfrowej mapie numerycznej, zarówno pojedynczego ruchomego obiektu, jak też zespołu samolotów/statków/pojazdów z dokładnością rzędu pojedynczych metrów.

Projekt EGNOS stanowi integralną składową Trans-Europejskiej Sieci Transportowej (TEN). Satelitarny system nawigacyjny może w istotny sposób wpływać na cele tej sieci dzięki licznym aplikacjom, takim jak:

- nawigacja i pozycjonowanie,
- pozyskiwanie danych dla Systemów Informacji Geograficznej,
- zarządzanie ruchem pojazdów,
- zarządzaniem ruchem zespołu samolotów/statków/pojazdów,
- system unikania kolizji,
- zarządzanie systemami typu „radio-taxi”,
- informacja transportowa,
- monitoring i nawigacja pojazdów służb ratownictwa, takich jak: pogotowie ratunkowe, straż pożarna, policja, pogotowia techniczne.

Przewiduje się integrację systemu EGNOS z lokalnymi satelitarnymi systemami nawigacyjnymi. Rozwój infrastruktury nawigacyjnej w Europie w ramach systemu EGNOS i innych zintegrowanych systemów lokalnych przyniesie zwiększenie bezpieczeństwa, efektywności i możliwości ogólnoeuropejskiego, międzynarodowego systemu zarządzania transportem w celu uniknięcia duplikacji publicznych wydatków, straty czasu i optymalizacji transportu.

Ponadto, satelitarny system nawigacji i pozycjonowania może być zastosowany do wielu innych aplikacji, takich jak:

- pomiary lądowe i morskie, w szczególności dla bezpośredniego pozyskiwania danych dla systemów GIS;
- rybołówstwa, ze wszystkimi korzyściami natury socjalnej, ekonomicznej i ekologicznej;
- rolnictwa, w zakresie precyzyjnego nawożenia, chemicznej ochrony roślin, zabiegów pielęgnacyjnych, zbiorów plonów.

Zgodnie z planowaną architekturą, system EGNOS transmitował będzie poprzez trzy satelity geostacjonarne sygnały kodowe do pomiaru odległości do satelity, informacje dotyczące wiarygodności pomiarów do poszczególnych satelitów konstelacji GPS oraz GLONASS (integrity information) oraz korekcje różnicowe typu DGPS do pomiarów pseudoodległości dla obu systemów.

Naziemna część systemu składa się z systemu stacji kontrolnych (MCC-Mission Control Centers), stacji nawigacyjnych (NLES-Navigation Land Earth Stations) oraz permanentnych stacji obserwacyjnych (RIMS-Ranging Integrity Monitoring Stations).

Wydaje się celowe podjęcie energicznych kroków w celu włączenia Polski do prac badawczych i wdrożeniowych nad systemem EGNOS. Dzięki podpisanej w roku 2002 umowie o współpracy pomiędzy Rzeczypospolitą Polską i Europejską Agencją Kosmiczną (ESA) będzie możliwe zbudowanie jednej ze stacji typu RIMS w Polsce. Idealną lokalizacją dla tej stacji stanowi teren Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie ze względu na rozbudowaną strukturę teletransmisji danych, a także na już istniejącą stację sondowania jonosfery, której dane pomiarowe służyć mogą dla wyznaczeń na bieżąco parametrów modelu jonosfery, niezwykle ważnych dla prawidłowego działania każdego satelitarnego systemu nawigacyjnego. Badania jonosferyczne za pomocą GPS prowadzone są od kilku lat także w Obserwatorium Satelitarnym Instytutu Geodezji Uniwersytetu Warmińsko – Mazurskiego w LamkóWKu k/Olsztyna. Ponadto Katedra Geodezji Satelitarnej i Nawigacji tego Uniwersytetu kieruje lub współuczestniczy w projektach badawczych KBN dotyczących badań systemu EGNOS na terytorium krajów Centralnej i Wschodniej Europy. W Polsce, pierwsze eksperymenty pomiarowe systemu EGNOS Katedra wykonała przy współpracy zespołu Akademii Morskiej w Gdyni w lipcu 2001 roku.

Wysoką aktywność badawczą i eksperymentalną w zakresie nawigacji satelitarnej w Polsce przejawiają zespoły Centrum Badań Kosmicznych PAN, Akademii Marynarki Wojennej i Akademii Morskiej w Gdyni, Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie, Politechniki Warszawskiej, Instytutu Geodezji i Kartografii, Akademii Rolniczej we Wrocławiu i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Planowane dalsze zadania badawcze i wdrożeniowe powinny zmierzać do integracji lokalnych permanentnych stacji referencyjnych w Polsce z europejskim systemem EGNOS w celu utworzenia jednolitego systemu, zgodnego ze standardami Unii Europejskiej.

W lutym 2000 r. rozpoczęto przesyłanie sygnałów systemu EGNOS poprzez satelitę geostacjonarnego typu INMARSAT AOR-E, a we wrześniu 2002, także poprzez satelitę IOR. Oznacza to, że tworzenie europejskiego systemu nawigacji satelitarnej EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) osiągnęło końcową fazę wdrożenia i rozwoju.

Pierwsze wyniki eksperymentów wskazują, że system EGNOS w zasadzie spełnia projektowane wartości podstawowych parametrów nawigacyjnych dla nawigacji lotniczej, lądowej i morskiej na testowanym obszarze. Planuje się rozszerzenie systemu na kraje Centralnej i Wschodniej Europy, Rosję, Bliski Wschód, Afrykę, Południową Amerykę i Indie.

2. Projektowany europejski system nawigacji satelitarnej Galileo.

W roku 2008 planuje się uruchomienie nowego europejskiego systemu nawigacji satelitarnej drugiej generacji (GNSS-2) pod nazwą Galileo, pozostającego pod międzynarodową cywilną kontrolą Unii Europejskiej. Konstelacja systemu składać się będzie z 27 satelitów plus 3 zapasowe, rozmieszczonych na 3 kołowych orbitach o nachyleniu do równika 56 stopni i wysokości 29994 km nad powierzchnią Ziemi. W swym podstawowym założeniu, system Galileo będzie całkowicie kompatybilny z systemem GPS, a więc odbiorniki satelitarne będą mogły wykonywać pomiary do satelitów obu systemów. Liczba obserwowanych przez odbiornik satelitów zwiększy się zatem, średnio, z 9 do 15. Oznacza to, że polepszy się znacznie wiarygodność i dokładność wyznaczeń pozycji obserwatora. Przewiduje się osiągnięcie decymetrowej dokładności pomiarów kodowych i centymetrowej dokładności pomiarów fazowych w czasie rzeczywistym. Przewiduje się trzy różne sygnały

(poziomy) serwisu dla użytkowników: Open Service, Commercial Service oraz Public Regulated Service.

Jednakże, jak w każdym systemie nawigacji satelitarnej, precyzyjne pozycjonowanie wymaga znajomości poprawek jonosferycznych i troposferycznych w punkcie pomiaru odbiornika. Modelowanie jonosfery i troposfery (warunków atmosferycznych) na danym obszarze trzeba będzie dokonać przy użyciu systemu lokalnych permanentnych stacji referencyjnych, pracujących w systemie sieciowym. Stąd obecna i przyszła konieczność utworzenia takiego systemu na terytorium Polski.

Precyzyjna nawigacja wymaga przesłania danych pomiarowych ze stacji referencyjnej do odbiornika użytkownika. Przewiduje się, że teletransmisja danych odbywać się będzie przy użyciu zaawansowanych technik GSM typu GPRS, HSCSD oraz UMTS.

Charakterystyka niektórych wybranych krajowych systemów stacji permanentnych

Tabela 1.

Lp.	Kraj Nazwa systemu	Siedziba Centrum	Status Systemu	Liczba stacji	Rodzaje usług	Transmisja danych, emisja poprawek	Poziomy dokładności	Koordinat or systemu
1	Austria	- Wiedeń - Dwie stacje monitorujące: - Graz-Lustbühl - Vöcklabruck	Stadium rozwoju	12	- Postprocessing (RINEX) - RTK - DGPS	- Internet - Technika DARC (Data Radio Channel)	- Premium (około 1 cm metodą statyczną oraz RTK w pobliżu stacji referencyjnych) - Profi (poniżej 1 m) - Standardowy (poniżej 10 m – DGPS oraz DGPS/GLONASS)	Austriacki Federalny Urząd Metrologii i Miernictwa (BEV)
2	Republika Czeska	Praha	Stadium rozwoju	1	DGPS	- Internet - VHF/RDS - LF	~1 m (2D)	Politechnika Praska
3	Republika Federalna Niemiec SAPOS	Frankfurt a/Main	Stadium rozwoju	~100; docelowo - 200	- Postprocessing (RINEX) - RTK - DGPS	- Internet (GHPS) - Internet (GPPS) - GSM - VHF (2m), GSM - FM/RDS, LW ALF, VHF (2m)	- GHPS: poniżej 1 cm - GPPS: 1 cm (postprocessing) - GPPS: 1 cm (czas rzeczywisty) - HEPS: 1-5 cm - EPS: 1-3 m	Federalny Urząd Kartografii i Geodezji (BKG) oraz Stowarzyszenie Urzędów Mierniczych 16 landów (AdV)

Lp.	Kraj Nazwa systemu	Siedziba Centrum	Status Systemu	Liczba stacji	Rodzaje usług	Transmisja danych, emisja poprawek	Poziomy dokładności	Koordinat or systemu
4	Szwajcaria swipos	Berno; serwer komunikacy jny w Wabern	Stadiu m rozwoju	10 w 2001 r. 25	• Postprocessing (RINEX) • RTK (RTCM 2.2) • DGPS	• Internet, GSM (GEO, GIS) • FM/RDS (Premium, Intermed.)	• GEO: 0,01-0,1 m • GIS: 0,1-1 m • Premium: 1-2 m • Intermediate: 2-5 m	Szwajcarski Federalny Urząd Topograficzny (swisstopo)
5	Szwecja SWEPOS	Gavle	System operacyjny	25	• Postprocessing (RINEX) • RTK • DGPS	• Internet • FM/DAR C • GSM • FM/RDS (Serwis Epos)	• 1-10 cm • 1 m	National Land Survey of Sweden
6	Wielka Brytania UK COGRs	Southampton	Stadiu m rozwoju	30	• Postprocessing (RINEX) • DGPS (możliwość uruchomienia)	Internet	• 1-5 cm • 0,1- 0,5 m	Ordnance Survey of Great Britain
7	USA NGS CORS	Silver Spring	Stadiu m rozwoju	147; docelowo kilkaset dalszych	• Postprocessing • DGPS (możliwość generowania poprawek)	• Internet	• 3-5 cm • 1-2 cm (docelowo)	National Geodetic Survey
8	Polska (stan obecny)	Brak	Brak systemu	10, w tym: 5 IGS/EU REF 3 Trójmiasto 2 DGPS	• Postprocessing (potencjalna możliwość) • DGPS	• Internet • VHF • UHF	• 1-3 cm (w ograniczonym zasięgu) • 1-3 m	Brak
9	Polska (projekt) Geodezyjny System Permanentnych stacji GPS (CORS-PL)	Warszawa – Obserwatorium Politechniki Warszawskiej w Józefosawie. Docelowo także dwa centra stowarzyszone	Projekt wstępny	60	Wariant A • Postprocessing (RINEX) Wariant B • Postprocessing (RINEX) • RTK • DGPS	• Internet • VHF • GSM • VHF/DAR C • UHF	• 1-5 cm • 1-5 cm • 3-5 cm • 0,5-3 m	Główny Urząd Geodezji i Kartografii

WSTĘPNA OCENA MOŻLIWOŚCI POLSKICH PRZEDSIĘBIORSTW W ZAKRESIE UZYSKIWANIA KONTRAKTÓW EUROPEJSKIEJ AGENCJI KOSMICZNEJ

Europejski przemysł kosmiczny, w którym w roku 2002 obroty wyniosły 4,7 mld. Euro, a zatrudnienie 33 tys. osób jest niszową gałęzią gospodarki, jednakże ze względu na znaczenie strategiczne i ekonomiczne zastosowań technik kosmicznych rządy państw zachodnioeuropejskich prowadzą za pośrednictwem Europejskiej Agencji Kosmicznej specjalistyczną politykę przemysłową. Ma ona na celu m.in. umacnianie konkurencyjności przedsiębiorstw, racjonalny podział potencjału produkcyjnego między duże i małe podmioty gospodarcze oraz poszczególne kraje zrzeszone w ESA. Kształtowaniem polityki przemysłowej Agencji zajmuje się Komitet Polityki Przemysłowej (Industrial Policy Committee) złożony z przedstawicieli państw członkowskich, a za realizację jej celów odpowiada Wydział Polityki Przemysłowej (Industrial Policy Department) zlokalizowany w Paryżu. Kraje członkowskie ESA, zwłaszcza te większe, przede wszystkim Francja, podejmują we własnym zakresie uzupełniające działania wspierające narodowe firmy z branży kosmicznej. Wysiłki koordynacyjne są zatem uwarunkowane dwoiście – interesami krajowymi i pan-europejskimi, jednakże ESA utrzymuje pozycję rozstrzygającą w kwestiach spornych. Warto zauważyć, że aktualnie pozycja ESA w strukturach zachodnioeuropejskich zmienia się, przy czym kompetencje Agencji w zakresie kształtowania polityki przemysłowej nie słabną. ESA stosuje zasadę 90% zwrotu składek członkowskich do krajów wpłacających w postaci zamówień dla przemysłu i, pomimo głosów krytycznych, nie należy spodziewać się aby ta zasada dystrybucji zamówień uległa radykalnej zmianie w najbliższych latach.

Można więc założyć, że w okresie dochodzenia Polski do pełnego członkostwa w ESA, czyli (najprawdopodobniej) do końca bieżącej dekady, partnerem dla polskich władz w zakresie budowy przemysłu kosmicznego będą urzędnicy ESA. Ogólne zainteresowania Agencji będą lokowane w następujących obszarach:

- a) Komplementarność w stosunku do technologii istniejących lub rozwijanych w obecnych państwach członkowskich ESA;
- b) Zgodność podstawowych standardów przemysłowych w Polsce ze standardami ESA.

Konieczność spełnienia tych wymagań może być przeszkodą, aby krajowy przemysł był w stanie podejmować się realizacji zadań w zakresie zainteresowań ESA, a Polska uzyskiwała pełen parytet zwrotu składki członkowskiej zamówieniami.

Pokonaniu tych trudności ma służyć między innymi program PECS (Programme for European Co-operating States) zaproponowany przez ESA w 2001 roku czterem krajom Europy Środkowo-Wschodniej: Polsce, Czechom, Węgrom i Rumunii. Zakłada on, że „kraj

współpracujący” wpłacałby 1 mln Euro rocznie do budżetu Agencji i otrzymywał odpowiednio duże kontrakty przemysłowe w uzgodnionych z ESA obszarach technologicznych. Po ok. 5 latach stosowania uproszczonych zasad polityki przemysłowej obie strony byłyby przygotowane do podjęcia zaawansowanej współpracy na zasadach członkostwa stowarzyszonego lub pełnego uczestnictwa w działaniach Agencji. Można założyć, że obecnie składka członkowska dla kraju wielkości Polski, pokrywająca udział w programie obowiązkowym (mandatory) ESA tj. programie naukowym, kosztach administracji, utrzymania kosmodromu w Kourou, badaniach technologicznych wyniosłaby ok. 8 mln Euro.

Dotychczasowe doświadczenia w zakresie budowy przemysłu kosmicznego w krajach, które w ostatnich latach przystąpiły do Agencji, czyli Austrii, Finlandii i Portugalii są pozytywne. We współpracy z organami administracji tych krajów ESA prowadziła specjalne działania zmierzające do budowy przemysłu kosmicznego zdolnego samodzielnie pozyskiwać kontrakty Agencji i kooperować z dużymi europejskimi firmami kosmicznymi. Należy podkreślić, że są to procesy trwające zwykle dość długo. W przypadku Portugalii ESA dokonała pierwszej oceny potencjału przemysłowego w roku 1995, a mimo, że w roku 2001 kraj ten został pełnoprawnym członkiem organizacji nadal istnieje specjalna „interwencyjna” grupa robocza złożona z przedstawicieli ESA i rządu portugalskiego zajmująca się problematyką przemysłową. Warto, w polskim kontekście zauważyć, że w wymienionych krajach nie było jednak dużych zakładów przemysłu lotniczego, który zwykle najchętniej podejmuje starania o kontrakty w pokrewnej branży kosmicznej.

Na zlecenie ESA zachodnia firma konsultingowa prowadzi obecnie studium polskiego potencjału przemysłowego w zakresie udziału w europejskim programie kosmicznym. W ramach tego studium wyodrębnionych zostanie i poddanych szczegółowej analizie ok. 50 przedsiębiorstw i instytutów naukowych mających największe możliwości rozwoju technologii kosmicznych. Wyniki badań będą porównane z rezultatami analiz przeprowadzonych w ostatnich latach w europejskim przemyśle kosmicznym w sektorach: systemów satelitarnych, segmentu naziemnego, podzespołów rakiet kosmicznych i oprogramowania. Wyciągnięte zostaną wnioski dotyczące tego gdzie i jak należałoby inwestować, aby uzyskać najlepsze efekty ekonomiczne i technologiczne w kontekście przyszłego członkostwa Polski w ESA.

Nawiązując do podziału branży kosmicznej wprowadzonej przez ESA, dla celów niniejszego opracowania można zauważyć, że:

- a) **Branża raketowa:** zgodnie z obecnymi planami Ariane 5 i Vega będą użytkowana przez następnych 20-30 lat. Konsorcjum *Arianespace* ma dopracowaną strukturę i sprawdzone powiązania kooperacyjne, wejście doń polskich firm będzie, zatem, utrudnione. Pod znakiem zapytania stoi także opłacalność produkcji podzespołów rakiet, trwa ciągły proces cięcia kosztów i marż zaś w wariancie najbardziej optymistycznym liczba Ariane 5 zamawianych w przemyśle nie przekroczy 7-8 rocznie (w latach 1998-2003 były to przeciętnie 3 egzemplarze na rok). Szansą dla polskich firm może być udział w planowanym przez ESA programie budowy pojazdu kosmicznego wielokrotnego użytku *Future Launch Technology Programme*, jednak jest to kwestia następnej dekady. W bliższej przyszłości niewykluczone jest lokowanie w Polsce przez firmy zachodnie produkcji, pod własną marką, nieskomplikowanych i szczególnie pracochłonnych elementów rakiet.
- b) **Software:** zachodnioeuropejskie przedsiębiorstwa wytwarzające i wykorzystujące satelity opracowują we własnym zakresie oprogramowanie do nich, jednakże wiele

małych firm softwarowych otrzymuje kontrakty ESA na wykonanie specjalistycznego oprogramowania do misji naukowych i technologicznych. Polskie spółki informatyczne będą najprawdopodobniej w stanie wygrywać wiele z przetargów Agencji, a software może stać się polską specjalnością.

- c) **Podsystemy satelitarne:** wydaje się, że w ramach programu PECS najprościej będzie sfinansować skonstruowanie w Polsce całego instrumentu pomiarowego na misję planetarną lub na satelitę przeznaczonego do teledetekcji. Przede wszystkim Centrum Badań Kosmicznych dysponuje potencjałem i doświadczeniem w zakresie budowy rozmaitych sensorów. Prócz tego polskie firmy i instytuty najszybciej znajdą sobie miejsce w obszarze elektroniki pokładowej, systemów zasilania i mechaniki.
- d) **Segment naziemny:** to m.in. mechaniczne i elektroniczne naziemne systemy wsparcia (Mechanical and Electronic Ground Support Equipment), również z punktu widzenia ESA. najłatwiejsze i „najbezpieczniejsze” do wykonania dla polskich przedsiębiorstw.

Niniejsze opracowanie nie ma, w przeciwieństwie do rozpoczętego w lutym 2004 studium ESA ambicji wskazywania konkretnych technologii ulokowanych w poszczególnych przedsiębiorstwach. Warto zauważyć, że duża część potencjału konstrukcyjnego znajduje się w małych, często nawet jedno- lub kilkuosobowych firmach, które stają się widoczne podczas starań o konkretne zamówienia. W krótkim czasie mogą te firmy przekształcić się w przedsiębiorstwa średniej wielkości na drodze łączenia, pozyskania nowych udziałowców itp. Z drugiej strony duże podmioty gospodarcze lub instytuty naukowe, które dysponują odpowiednim zapleczem technicznym z różnych względów nie angażują się w działalność kosmiczną: korzyści mogą wydawać się zbyt małe w porównaniu z ryzykiem i nakładami lub też firma realizuje inną, wcześniej określoną, wieloletnią strategię działania. Zmiany organizacyjne i własnościowe w branżach zaawansowanych technologii, które następują w Polsce od kilku lat, a ostatnio uległy przyspieszeniu (przemysł lotniczy i zbrojeniowy) komplikują ocenę sytuacji. Zachodnie koncerny, które są w zasadzie jedynymi większymi inwestorami w Polsce, często zmieniają profil produkcji w nabytych zakładach, likwidują działy konstrukcyjne lub wyznaczają im nowe zadania.

Za kilka-kilkanaście lat polski przemysł kosmiczny mogą więc tworzyć firmy, które obecnie jeszcze nie istnieją lub trudno jest je odszukać, zaś duże przedsiębiorstwa, wydawałoby się naturalni kandydaci na liderów nie będą rozwijać technologii kosmicznych (nie wspominając o możliwych bankructwach takich podmiotów). Dlatego też wymagane jest, wzorem państw zachodnich, prowadzenie stałego monitoringu „krajobrazu przemysłowego” (industrial landscape), czego podejmuje się POLSPACE tworząc specjalistyczną bazę danych o firmach i technologiach w polskim sektorze kosmicznym. Aktualne informacje nt. polityki przemysłowej dla tego sektora można będzie znaleźć od kwietnia 2004 na stronie www.polSPACE.pl

Wstępna lista 20 przedsiębiorstw i instytutów, których potencjał technologiczny i ekonomiczny pozwala na podjęcie starań o uzyskanie kontraktów ESA:

- I. **Centrum Badań Kosmicznych PAN** – posiada największe doświadczenie we współpracy z ESA, dysponuje wykwalifikowaną kadrą i zapleczem technicznym.

II. **Branża lotnicza** – wzorem przedsiębiorstw zachodnich, polskie firmy mogą wyodrębnić działy techniki kosmicznej

- 1) Polskie Zakłady Lotnicze sp. z o.o. w Mielcu
- 2) EADS PZL Warszawa Okęcie S.A.
- 3) AVIO Polska sp. z o.o.
- 4) Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego „PZL-KALISZ” S.A. w Kaliszu
- 5) WSK "PZL-Rzeszów" S.A.
- 6) Instytut Lotnictwa w Warszawie

III. Instytuty i przedsiębiorstwa innych branż

- 1) Centrum Naukowo-Produkcyjne Elektroniki Profesjonalnej „RADWAR” S.A. w Warszawie
- 2) Zakłady Elektroniczne „WAREL” S.A. w Warszawie
- 3) Przemysłowy Instytut Telekomunikacji
- 4) Instytut Łączności w Warszawie
- 5) Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie
- 6) Instytut Tele- i Radiotechniczny
- 7) Politechnika Warszawska
- 8) Politechnika Poznańska
- 9) Centrum Badań Wysokociśnieniowych w Warszawie
- 10) Wojskowe Zakłady Wyposażenia w Zielonce
- 11) KOMPOL Warszawa
- 12) DWLKK Warszawa
- 13) OBRMHR w Krakowie

IV. **Małe i średnie firmy** – zwłaszcza branża elektroniczna, komputerowa, mechaniki precyzyjnej, optyczna itd.

Dr Jan Błęcki

Sekretarz naukowy KBKiS PAN,

Przedstawiciel Polski w Międzynarodowej Sieci Edukacyjnej

“Badania kosmiczne i ich zastosowanie”

ZAŁOŻENIA DOTYCZĄCE WPROWADZENIA DO NOWEGO PROGRAMU NAUCZANIA W GIMNAZJACH I LICEACH WIEDZY ZWIĄZANEJ Z BADANIAMI KOSMICZNYMI I ICH WYKORZYSTANIEM

Wstęp

Mijający wiek można uważać za wiek nie tylko fizyki atomowej i jądrowej, biologii molekularnej, genetyki, informatyki, ale także za wiek, który zapoczątkował czas osławiania Kosmosu. Technika związana z eksploracją przestrzeni kosmicznej weszła do naszego życia codziennego i w większości nieświadomie, ale codziennie społeczności całego świata wykorzystują jej osiągnięcia. Spektakularne wyczyny w tej dziedzinie, takie jak lądowanie człowieka na Księżycu, loty na Marsa znane są wszystkim, natomiast czy społeczna świadomość codzienności badań kosmicznych i ich roli zarówno technologicznej jak i kulturowej oraz ekonomicznej jest dostateczna to co do tego można mieć poważne wątpliwości. Dowodzą tego chociażby zachowania osób na wysokich stanowiskach w administracji państwowej szczególnie w czasie wielkiej katastrofy jaką była powódź w 1997 roku, kiedy to otrzymywane z Europejskiej Agencji Kosmicznej, opracowywane w Instytucie Geodezji i Kartografii zdjęcia satelitarne obszarów zagrożonych przekazane do sztabu kryzysowego, zalegały tam półki i nie były wykorzystywane. Oczywiście nie należy tutaj nikogo podejrzewać o złą wolę, ale jedynie o brak elementarnej wiedzy, którą można przekazać z powodzeniem na poziomie szkoły średniej. Przykłady takiego braku wiedzy można by mnożyć, ale ważnym jest znalezienie sposobu, aby te braki usunąć.

W lipcu ubiegłego roku odbył się w Wiedniu trzeci światowy kongres zorganizowany przez ONZ -UNISPACE III poświęcony podsumowaniu dotychczasowych osiągnięć w zakresie badania i wykorzystania przestrzeni kosmicznej oraz wytyczeniu kierunków działań w tej dziedzinie w nadchodzącym wieku. Sam tytuł, a właściwie hasło, pod którym odbywały się obrady “Space Benefits for Humanity in the Twenty First Century.” mówi sam za siebie. W kongresie tym brali udział przedstawiciele ponad stu państw. W czasie obrad, które odbywały się w tematycznych grupach roboczych, dużo miejsca zajęły problemy edukacji rozumianej niezwykle szeroko, począwszy od kształcenia wysokiej klasy specjalistów w dziedzinie zastosowań technik i osiągnięć nauk kosmicznych, poprzez kształcenie uzdolnionej i zainteresowanej tym kierunkiem młodzieży, do popularyzacji badań kosmicznych w społeczeństwie a także do budzenia zainteresowań wśród najmłodszych, uczniów klas

początkowych szkoły podstawowej. Na tym tle niezwykle ważnym jest także wyrobienie pewnej świadomości społecznej o roli i miejscu działalności kosmicznej człowieka wśród najszerszych kręgów społeczeństwa. I tutaj niezwykle ważną rolę musi odgrywać standardowe kształcenie ogólne.

Takie kształcenie odgrywałoby dwojaką rolę-

- w sposób systematyczny wprowadzałoby do społecznej świadomości wiedzę o znaczeniu badań kosmicznych i roli ich osiągnięć w życiu codziennym oraz rozwoju cywilizacji
- przygotowywałoby młodzież do przyszłych specjalistycznych studiów kształcących specjalistów, na których zapotrzebowanie w tych dziedzinach nieuchronnie będzie rosnąć także w naszym kraju, niezależnie od oporu decydentów. Dowodzi tego chociażby wymieniona konferencja UNISPACE III.

Celem tego opracowania jest wskazanie tych elementów nauki o przestrzeni kosmicznej i o zastosowaniu technik rozwiniętych przy badaniach kosmicznych, które należałoby wprowadzić do programu nauczania w gimnazjach i liceach. Trwająca obecnie reforma polskiej oświaty otwiera możliwości uzupełnienia tych programów o elementy będące jednymi z najważniejszych osiągnięć cywilizacyjnych ludzkości. Tej szansy nie wolno zaprzepaścić. Chyba, że Polska ma stać się prowincjonalnym zaściankowym państwkiem gdzieś na marginesie nowoczesnego świata.

Założenia, które w dalszej części opracowania zostaną przedstawione, doskonale układają się w ogólne założenia reformy oświaty, która naukę szkolną ma tak zorganizować aby przybliżała ona uczniowi współczesny świat i pomagała go zrozumieć.

Oczywiście nie sugeruje się tutaj wprowadzenia tego kształcenia jako oddzielnego przedmiotu nauczania, ale wkomponowania tej nauki w lekcje fizyki, geografii, biologii, chemii, nauki o społeczeństwie a nawet filozofii, literatury i historii sztuki.

Zwykle w takiej sytuacji, gdy proponuje się rozszerzenie nauczania szkolnego wielokrotnie wraca pytanie „po co?”. Odpowiedź nigdy nie jest prosta, ale akurat w tym przypadku można zwrócić uwagę na dwa aspekty.

- młodzież w zdecydowanej większości jest zafascynowana Kosmosem i fakt ten wykorzystują w celach komercyjnych producenci najrozmaitszych gier komputerowych, autorzy nie zawsze najlepszej literatury science-fiction i filmowcy. A z drugiej strony obserwuje się spadek zainteresowania naukami ścisłymi i przyrodniczymi. Inteligentna gra na tej fascynacji i ucywilizowanie wiedzy otrzymywanej przez młodzież w tych produktach mogłoby dać bardzo dobre wyniki.
- przestrzeń kosmiczna wkroczyła do naszej codzienności, głównie za sprawą telekomunikacji i meteorologii, ale właściwie w każdej dziedzinie życia moglibyśmy znaleźć związki z osiągnięciami nauki i techniki kosmicznej. Zrozumienie otaczającego świata wymaga więc wiedzy o tych osiągnięciach.

I. Informacja o edukacji w zakresie nauk kosmicznych na różnych poziomach w przodujących w tej dziedzinie państwach europejskich

Państwa Europy zachodniej uczestniczą w programach badań kosmicznych zdecydowanie krócej aniżeli dawny Związek Radziecki czy też Stany Zjednoczone. Czas aktywności Polski w tej dziedzinie jest porównywalny z czasem działalności w badaniach kosmicznych Włoch a nawet Francji czy Niemiec. Jednak miejsce jakie zajmuje ta nauka w tych państwach oraz jej wykorzystanie dla celów praktycznych jest nieporównywalnie wyższe niż w Polsce. Wyniki tego są widoczne, nie znaczy to, że nauka polska dotycząca badania i wykorzystania przestrzeni kosmicznej nie liczy się w międzynarodowej społeczności naukowej, wręcz przeciwnie, są dziedziny tych badań takie jak fizyka kosmiczna, geodezja planetarna czy teledetekcja, w których poziom osiągnięty przez naukowców polskich dorównuje poziomowi światowemu, jednak jest to wynik raczej entuzjazmu tych naukowców aniżeli świadomej polityki naukowej i działalności organizacyjnej państwa.

W państwach Europy zachodniej, gdzie dość szybko decydenci zrozumieli, jak wielkie możliwości rozwoju gospodarczego niesie za sobą dziedzina badań kosmicznych rozwój zarówno naukowy jak i techniczny oraz ich praktyczne wykorzystanie następowały znacznie szybciej i wyniki tego są widoczne dla każdego. „Przemysł kosmiczny” stał się jednym z najbardziej dynamicznie, pod względem zasięgu zatrudnienia jak i ekonomicznym, działów aktywności ludzkiej. Przyrost nowych miejsc pracy jest najszybszy właśnie w tej dziedzinie.

Państwa Europy zachodniej prowadzą badania kosmiczne głównie w ramach programów realizowanych wspólnie w organizacji zwanej Europejską Agencją Kosmiczną (ESA). Zrzesza ona 14 państw europejskich (większość z nich należy do Wspólnoty Europejskiej, ale są i takie jak Szwajcaria, Norwegia, które są członkami ESA nie będąc członkami Wspólnoty i odwrotnie – np. Grecja), status członka stowarzyszonego ma Kanada. Polska podpisała w roku 1995 umowę o współpracy z ESA. Od tego czasu polscy naukowcy i inżynierowie uczestniczą we wszystkich głównych programach naukowych ESA. Stwarza to nowe możliwości rozwoju tak naukowego jak i technicznego. W przyszłości należy liczyć na pełne członkostwo Polski w ESA, otworzy to możliwości pełnego uczestnictwa we wszystkich programach ESA także tych technologicznych, które dają możliwości szerokiego zatrudnienia dla polskich specjalistów a państwu możliwość szybkiego rozwoju ekonomicznego.

Związane to jest oczywiście z koniecznością kształcenia wysokiej klasy specjalistów a to wymaga kształcenia już na wczesnym etapie. Uświadomiono to sobie w państwach ESA dopiero w ostatnich latach. Wcześniej interesowano się tylko kształceniem specjalistów, obecnie myśli się coraz szerzej o wprowadzaniu nauki o Kosmosie już w szkołach średnich a nawet podstawowych, organizowane są spotkania (warsztaty, sympozja), na których dyskutuje się nad modelem takiego kształcenia oraz sposobami jego wprowadzenia.

Oczywiście oprócz programów realizowanych we współpracy w ESA, przodujące kraje prowadzą własne, narodowe projekty. Są to Francja, Niemcy, Wielka Brytania Włochy, Szwecja, ale także Dania, Norwegia. Badania te są związane z naukami podstawowymi, ale przede wszystkim z aplikacjami w telekomunikacji, meteorologii i badaniu środowiska w bardzo szerokim sensie. W państwach tych istnieją struktury na poziomie rządowym, które dysponując własnym budżetem, mogą prowadzić określoną politykę wytyczającą kierunki badań na wiele lat. Są to Agencje Kosmiczne, które odpowiadają także za kontakty i współpracę z ESA. W ostatnich latach agencje te coraz częściej stawiają sobie za jeden z głównych celów politykę edukacyjną w zakresie badań kosmicznych na wszystkich poziomach.

Przyjrzyjmy się bliżej tej działalności w najbardziej zaawansowanych państwach, czyli we Francji, Niemczech, Wielkiej Brytanii i Włoszech. Państwa te ze względu na swój potencjał ekonomiczny mają także największy udział w programach ESA.

We Francji od samego początku aktywności w przestrzeni kosmicznej uświadamiano sobie, że edukacja w tym zakresie jest podstawą przyszłego sukcesu. Koordynacja działań w zakresie aktywności kosmicznej należy we Francji do CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), organizacji powołanej do życia w 1961 roku, czyli jeszcze przed powstaniem ESA. Siedziba CNES znajduje się w Tuluzie, ośrodku o wielkich tradycjach przemysłu lotniczego a obecnie także kosmicznego. Właśnie w Tuluzie prowadzone są od wielu lat kursy dla specjalistów w zakresie badań teledetekcyjnych zarówno atmosfery jak i powierzchni Ziemi. Kursy te organizowane są corocznie i adresowane są do społeczności międzynarodowej. Stąd wyszła idea zainteresowania tego typu badaniami młodzieży szkolnej. Początkowo organizowano to na zasadzie kółek zainteresowań. Uzdolniona młodzież była zapraszana do centrum badań w Tuluzie, brała udział w pokazach demonstrujących podstawowe prawa rządzące lotami statków kosmicznych, działaniem przyrządów naukowych przeznaczonych do badań kosmicznych oraz możliwości wykorzystywania otrzymywanych wyników do celów praktycznych. Później naukowcy z Tuluzy wyszli ze swoją nauką do szkół francuskich. Organizowano objazdowe wystawy połączone z prelekcjami tak dla uczniów jak i nauczycieli a nawet dla szerokiej publiczności. Należy podkreślić fakt, że w tych działaniach aspekt praktyczny odgrywał zawsze ważną rolę. Uczniowie nawet najmłodszych klas samodzielnie wykonywali eksperymenty, budując proste przyrządy pomiarowe, które na balonach lub prostych raketach wynoszone były na wysokość kilkuset metrów, następnie wyniki tych pomiarów były wspólnie interpretowane przez uczniów i nauczycieli. Następnym krokiem było wprowadzenie w wybranych szkołach specjalnych zajęć, ale w ramach obowiązujących przedmiotów nauczania, na których wykorzystywane były wyniki badań prowadzonych ze sztucznych satelitów dla pokazania zmian zachodzących w środowisku, efekty działalności ludzkiej oraz poznawano metody i ich podstawy fizyczne.

Obecnie we Francji został już opracowany program nauczania uwzględniający badania kosmiczne i ich zastosowanie oraz wydano nowe podręczniki do fizyki geografii, biologii i chemii wprowadzające te nowe elementy. Realizacja tego programu nauczania ma się rozpoczynać w bieżącym roku szkolnym.

Oddzielną sprawą jest przygotowanie nauczycieli do tego zadania, ale o tym będzie mowa w rozdziale VIII.

Niemcy są w tej chwili na etapie popularyzacji przez pogadanki i wystawy realizowane w szkołach, a także "wyłapywania" zdolniejszych i zainteresowanych uczniów, którzy w przyszłości mogliby specjalizować się w tej dziedzinie. Także tutaj agencja kosmiczna (DARA) patronuje i inspirowa działania w tym zakresie. Jeden z programów telewizji niemieckiej poświęcony jest popularyzacji nauk kosmicznych. Dyskutuje się także możliwość wprowadzenia do ogólnego programu nauczania elementów nauk kosmicznych.

Sytuacja w Wielkiej Brytanii jest podobna, popularyzacja ma duże tradycje w tym kraju. Wiedza w zakresie nauk kosmicznych przekazywana jest zarówno w postaci tradycyjnej czyli wydawanych książek, program telewizji BBC oraz Discovery zawiera duże bloki poświęcone badaniom kosmicznym w bardzo szerokim zakresie od nauki o Wszechświecie, poprzez historię tych badań do ich wpływu na nasze życie codzienne, jak i bardziej nowoczesnej czyli poprzez strony edukacyjne w internecie oraz CD-romy dystrybuowane bezpłatnie. Istnieją szkoły, w których eksperymentalnie wprowadzono elementy tych nauk do programu

nauczania. Obecnie trwają prace nad ogólnokrajowym programem uwzględniającym elementy tej nauki. W Ministerstwie Edukacji jest powołany zespół do opracowania i wdrażania tego programu.

We Włoszech sytuacja jest raczej nieokreślona. Są nauczyciele entuzjaści (głównie fizyki), którzy prowadzą eksperymentalne klasy z elementami nauki o Kosmosie. W związku z prowadzoną reformą oświaty starają się oni wprowadzić do regularnego programu kanon poświęcony nauce kosmicznej.

We wszystkich tych krajach, gdzie dyskutuje się wprowadzenie nauk (podobnie we Francji, gdzie już je wprowadzono), przyjmuje się jako pewnik, że nauki te powinny się znaleźć w programach nauczania istniejących już przedmiotów- fizyka, geografia, matematyka, chemia, biologia, a nawet literatura, historia, historia sztuki i filozofia, nie należy zaś tworzyć nowego przedmiotu nauczania.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że w krajach tych wszystkie te działania w zakresie edukacji kosmicznej na poziomie podstawowym, średnim jak i wyższym wspierane są przez przedstawicieli przemysłu kosmicznego, który w ten sposób przyciąga uzdolnioną i zainteresowaną młodzież, tworząc w ten sposób źródło dla nowego pokolenia przeszłej kadry naukowców, inżynierów i menadżerów.

W Polsce Komitet Badań Kosmicznych i Satelitarnych zainicjował akcję, która miałaby za zadanie utworzenie kierunku studiów kształcącego kadry naukowe i inżynierskie w zakresie nauk i techniki kosmicznych. Trudność takiej inicjatywy polega na tym, że wymagana jest w takim kształceniu interdyscyplinarność. Najlepszym rozwiązaniem byłyby tutaj studia międzywydziałowe. Inicjatywa taka znalazła zrozumienie i wsparcie wśród członków KBKiS będących pracownikami Politechniki Warszawskiej. Cztery Wydziały PW – Elektroniki i Technik Informacyjnych, Fizyki Technicznej, Geodezji i Kartografii oraz Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa zdecydowały współdziałać wspólnie z KBKiS oraz Centrum Badań Kosmicznych nad programem studiów, które związane byłyby wspólną tematyką dotyczącą badania i wykorzystania przestrzeni kosmicznej.

Inicjatywa ta znalazła poparcie ze strony Rektora PW, a środowisko związane z tą tematyką wzmocniło się i jego działalność zyskała sobie większą popularność dzięki kongresowi COSPAR, który zorganizowały wspólnie PAN i PW w lipcu 2000 w gmachu PW. Także wiedza wśród studentów PW na temat tego, jakie problemy związane są z działalnością kosmiczną dzięki temu kongresowi wzrosła. Obecnie prowadzone są już zajęcia dla studentów PW zainteresowanych zagadnieniami badań kosmicznych.

Ale, aby zapewnić dopływ studentów na te studia, należy wprowadzić do nauki w szkołach średnich elementy tej wiedzy.

II. Informacja o międzynarodowych organizacjach i programach szkolenia specjalistów

Aktywność w przestrzeni kosmicznej jest ze swej natury interdyscyplinarna, ale także międzynarodowa. Największa i najważniejsza organizacja w tej dziedzinie w Europie to wspomniana już w poprzednim rozdziale Europejska Agencja Kosmiczna, powstała w roku 1975 i zrzeszająca obecnie 14 państw. Jest to organizacja głównie techniczna i naukowa, ale

w jej statucie jest punkt mówiący o tym, że jednym z zadań ESA jest edukacja oraz popularyzacja nauk kosmicznych. ESA kształci głównie potrzebnych sobie specjalistów, organizując kursy, stypendia badawcze i techniczne, ale także przez bardzo szeroką działalność popularyzatorską, wspieranie międzynarodowych imprez edukacyjnych przyczynia się wybitnie do upowszechniania tej wiedzy. Także polscy studenci uczestniczyli w programach edukacyjnych i jednocześnie popularyzacyjnych organizowanych przez ESA. Grupa studentów Politechniki Warszawskiej, członków Klubu Miłośników Astronautyki uczestniczyła w lotach Parabolicznych, w czasie których warunki panujące w samolocie zbliżone są do nieważkości. Wykonywali oni w czasie tych lotów eksperymenty związane ze spalaniem w warunkach mikrogravitacji.

Główne ośrodki ESA znajdują się w Paryżu, Nordwijk (Holandia) i Frascati (Włochy). ESA jest współzałożycielem Międzynarodowego Uniwersytetu Kosmicznego w Strasburgu. Obecnie Uniwersytet ten jest niezależny chociaż utrzymuje ściśle kontakty z organizacjami założycielskimi. Prowadzi regularne studia magisterskie oraz letnie kursy w różnych punktach na świecie. Specjaliści kształceni w tym Uniwersytecie to przede wszystkim menadżerowie badań kosmicznych, którzy znajdują zatrudnienie w ESA, przemyśle kosmicznym w agencjach kosmicznych a także w różnych organizacjach rządowych i międzynarodowych związanych z działalnością kosmiczną. Ważnym aspektem tego wykształcenia jest znajomość prawa dotyczącego działalności kosmicznej.

Inną organizacją międzynarodową jest EURISY, która powstała w roku 1993 po zakończeniu międzynarodowego roku kosmicznego. Jest to organizacja mająca za zadanie popularyzację nauk kosmicznych. Jednym z jej dzieł jest coroczne seminarium przeznaczone dla uczniów szkół średnich Europy i Afryki północnej. Celem tych spotkań jest umożliwienie zainteresowanej młodzieży z różnych krajów podzielenia się swoimi doświadczeniami w zakresie budowy własnej prostej aparatury, gromadzenia danych obserwacyjnych i pomiarowych, poznawania nauki związanej z naukami kosmicznymi. Co roku określany jest wiodący problem, który będzie dyskutowany w czasie spotkania. Na te spotkania młodzież przygotowuje prezentacje, które są na miejscu oceniane przez międzynarodowe jury i nagradzane. Szczególnie cenione są prace pokazujące związek badań kosmicznych z lokalnymi problemami miast, w których mieszkają uczestnicy. Ponadto uczestnicy tych spotkań, które są organizowane w europejskich centrach badań kosmicznych (Tuluza, Darmstadt, Nordwijk i inne), mają okazję do bezpośredniego kontaktu z najwybitniejszymi naukowcami w tych dziedzinach, z astronautami (kosmonautami) a także zwiedzenia tych ośrodków.

Dzięki finansowemu wsparciu EURISY uczniowie z Polski biorą w nich od początku organizacji tych spotkań. Dwukrotnie za swoje prezentacje byli laureatami pierwszych nagród, dwukrotnie byli wyróżniani. Uczniowie z Polski wyłaniani są spośród stypendystów Funduszu na Rzecz Dzieci, Komitet Badań Kosmicznych wspomaga ich merytorycznie w czasie przygotowań do wyjazdu, w latach poprzednich, gdy sytuacja finansowa Komitetu nie była tak zła jak obecnie, Komitet pokrywał także koszty ich podróży.

Najlicniejsza organizacja międzynarodowa to oczywiście ONZ. I ona ma swoje zasługi w zakresie popularyzacji badań kosmicznych oraz w edukacji w tym zakresie. W Wiedniu ma swoją siedzibę Komitet ONZ d/s Pokojowego Wykorzystania Przestrzeni Kosmicznej (COPUOS). Komitet ten zainicjował ideę tworzenia w różnych regionach świata regionalnych centrów kształcenia specjalistów w zakresie stosowania nauk kosmicznych. Centra takie powstały już w Azji Południowo-Wschodniej, Azji Mniejszej, Afryce Północnej, Ameryce Łacińskiej.

Obecnie trwają prace zmierzające do utworzenia takiego centrum (Sieci Edukacyjnej) dla Europy Centralnej i Południowo-Wschodniej. Polska przyłączyła się do tej inicjatywy.

Ponadto COPUOS wspólnie z innymi organizacjami międzynarodowymi (głównie ESA) organizuje coroczne regionalne sympozja poświęcone badaniom podstawowym Kosmosu.

Inna organizacja, która także prowadzi działalność edukacyjną i popularyzatorską to Międzynarodowa Federacja Astronautyczna (IAF) wraz ze swoją Akademią Astronautyczną. Ostatnio zorganizowała ona seminarium na temat “Przestrzeń Kosmiczna w Szkole” (Space in the classroom) , na którym przedstawiciele agencji kosmicznych, przemysłu, nauki oraz szkół wspólnie dyskutowali założenia dotyczące edukacji kosmicznej.

W dalszej części tego opracowania przedstawione zostaną uwagi na temat sugerowanego rozszerzenia nauki w polskich szkołach o aktualną wiedzę o Kosmosie i o wykorzystaniu zarówno przestrzeni kosmicznej jak i technik związanych z jej badaniem dla celów praktycznych.

III. Sugestie wprowadzenia nowych zagadnień związanych z naukami podstawowymi- wiedza o Wszechświecie, Układzie Słonecznym i przestrzeni międzyplanetarnej (Lekcje fizyki)

W obecnym programie nauczania fizyki przekazywany jest dostateczny zakres podstawowych praw, aby móc w pełni wprowadzić wiedzę o Kosmosie w jej obecnym stanie. W obecnym programie szkolnym oraz w istniejących podręcznikach przedstawiony jest obraz Wszechświata sprzed 30 lat, natomiast samo umieszczenie teleskopu Hubble’a na orbicie zmieniło obraz Wszechświata tak radykalnie, iż uważa się, że 10 lat pracy tego teleskopu dało nam większą wiedzę astronomiczną niż poprzedzające tysiące lat obserwacji naziemnych. Jest to oczywiście stwierdzenie propagandowe, gdyż nie byłoby teleskopu Hubble’a, gdyby nie było wcześniejszych obserwacji. Tym nie mniej techniki kosmiczne zmieniły radykalnie obraz Wszechświata. Atmosfera ogranicza możliwości obserwacyjne do wąskiego zakresu spektralnego, wyjście poza nią daje niewyobrażalne wręcz nowe perspektywy. Poszukiwanie fal grawitacyjnych jest także możliwe tylko poza Ziemią. Dzięki technikom kosmicznym kosmologia, najbardziej spekulacyjna nauka fizyczna, stała się pełnoprawnym działem fizyki dzięki możliwościom eksperymentalnego weryfikowania teorii. Badania w tym zakresie, mimo całkowicie podstawowego znaczenia poznawczego, mają także znaczący aspekt praktyczny. Wymagania stawiane technice pomiarowej i badawczej są tak wysokie, że stanowią one impuls dla nowego skoku jakościowego w rozwoju technologii. Ten aspekt badań kosmicznych niezwykle istotny z punktu rozwoju ekonomicznego i cywilizacyjnego nie jest uwzględniany w naszym nauczaniu.

Nauka o ruchu ciał niebieskich jest prowadzona w naszych szkołach na dostatecznym poziomie, należałoby ją bardziej ukierunkować na opis ruchu sztucznych satelitów Ziemi i statków kosmicznych, pokazać znaczenie orbity geostacjonarnej dla telekomunikacji meteorologii i teledetekcji, wskazać na ograniczenia związane z ruchem statków kosmicznych i wynikających stąd trudności w ewentualnej przyszłej kolonizacji kosmosu oraz w podróżach poza Układ Słoneczny. Ponadto należałoby uświadamiać uczniów o możliwościach wykorzystywania energii jądrowej dla rozwiązywania tych problemów.

Ostatnie kilka lat oraz nadchodząca dekada to czas badań planet i małych ciał (komet i planetoid) Układu Słonecznego. Te badania powinny znaleźć odbicie w programie zarówno fizyki jak i geografii. Takie porównanie planet naszego układu dałoby znakomitą perspektywę lepszego zrozumienia historii geologicznej Ziemi oraz jej przyszłości a także nauczyć szacunku dla naszej planety jako unikatowego obiektu kosmicznego.

Badania kosmiczne w sensie badań satelitarnych rozpoczęły się od poznawania ośrodka międzyplanetarnego, czyli plazmy kosmicznej. Od tego czasu wiedza w tej dziedzinie wzrosła ogromnie. Program fizyki w niewielkim stopniu uwzględnia te osiągnięcia. Jest to dział fizyki reprezentowany najsłabiej w programie szkolnym. Z nauki o charakterze podstawowym staje się ona coraz częściej nauką stosowaną. Ogromna większość energii, którą dostajemy ze Słońca dociera do nas w postaci światła, ale także energia przenoszona przez strumień cząstek czyli przez wiatr słoneczny jest znacząca. Oddziaływanie wiatru słonecznego z polem magnetycznym prowadzi do powstania obszaru przestrzeni zwanego magnetosferą. W nim kumuluje się zarówno plazma pochodząca ze Słońca jak i energia z nią związana. Wyładowuje się ona w postaci zórz polarnych i burz magnetycznych. Także badania tych zjawisk ma wymierne znaczenie praktyczne. Elektromagnetyczne efekty związane z tymi zjawiskami mają istotny wpływ zarówno na telekomunikację, systemy nawigacji satelitarnej, linie energetyczne oraz inne systemy stworzone przez człowieka jak i na funkcjonowanie jego organizmu. W ostatnich latach stan wiedzy o sytuacji w przestrzeni okołoziemskiej jak i przyczyny jej zmian (aktywność Słońca) dzięki badaniom satelitarnym znacząco wzrósł. Powstał dział nauki nazywany "space weather" czyli "pogoda kosmiczna" lub jak się to przyjęło określać w Polsce "pogoda helio-geofizyczna".

Nazwa ta wiąże się z analogią działań w tej dziedzinie i meteorologii, staramy się przewidzieć stan przestrzeni okołoziemskiej po to aby ustrzec się niekorzystnych wpływów zmian tam zachodzących. Tego typu wiedza, ze względu na wzrastające jej znaczenie, powinna znaleźć miejsce w programach nauczania w szkołach średnich.

Oddzielnym zagadnieniem jest używanie przestrzeni kosmicznej jako laboratorium badawczego. Na stacjach kosmicznych typu SpaceLab czy też MIR a w niedalekiej przyszłości na międzynarodowej stacji kosmicznej prowadzone są badania traktujące stację jako laboratorium. Takie laboratorium stwarza unikalne możliwości badań materiałowych w ekstremalnie "czystych" warunkach (stan nieważkości, wysoka próżnia itp.

Podobnie takie laboratoria można stosować w badaniach biologicznych, medycznych oraz farmaceutycznych.

IV. Sugestie dotyczące zastosowania badań kosmicznych w badaniu środowiska naturalnego, zasobów mineralnych i atmosfery (Lekcje geografii, biologii i chemii)

Teledetekcja, czyli metoda zdalnego badania obiektów, jest tym działem badań kosmicznych, który obok telekomunikacji najwcześniej i najszerzej znalazła praktyczne zastosowanie. Do działu tego można także zaliczyć meteorologię satelitarną. Badanie struktur geologicznych metodami teledetekcji przy użyciu radarów, wielokanałowych kamer stało się podstawową metodą stosowaną w praktyce. Wykorzystanie takich obrazów na lekcjach

geografii i pokazanie ich znaczenia mogłoby lekcje uczynić ciekawszymi i bardziej nowoczesnymi. Metodami teledetekcji bada się powierzchnie oceanów i mórz, określa się ich temperaturę, prądy morskie, pofalowanie powierzchni, zanieczyszczenie a także pokrycie planktonem, określa się migracje wielkich ławic ryb. Tego typu informacje można wykorzystywać zarówno na lekcjach geografii jak i biologii.

Badanie zanieczyszczeń atmosfery, składu chemicznego atmosfery, wpływ tak zwanych małych składników na dynamikę i termodynamikę atmosfery, na cykl procesów chemicznych w niej zachodzących to może być przedmiotem dyskusji na lekcjach chemii i geografii. Takie potraktowanie tych metod pokazuje jedność nauki o przyrodzie, pokazuje globalność procesów zachodzących na Ziemi, związki procesów dynamicznych (fizyka i geografia) geologicznych, termodynamicznych oraz biologicznych (chemia, biologia geografia).

Ostatnio coraz więcej uwagi poświęca się możliwości wykorzystania metod kosmicznych do monitorowania naturalnych zagrożeń. Najlepiej to można zauważyć w opisie tak zwanej dziury ozonowej, ale także w określaniu gwałtownych efektów meteorologicznych- tornada, huragany, cyklony mogą być śledzone z pokładów satelitów meteorologicznych. Określanie zagrożeń powodziowych to także domena tych metod badawczych. Poszukuje się metod przewidywania trzęsień Ziemi, erupcji wulkanów. Metody kosmiczne pozwalające na szybkie monitorowanie całego globu nadają się do tych celów najbardziej.

W krajach rozwiniętych metody teledetekcyjne używane są w rolnictwie dla określenia spodziewanych plonów, dla określenia zagrożenia szkodnikami, suszą, można z pokładu satelity określać wilgotność gleby dla ogromnych obszarów.

W leśnictwie stosuje się te metody dla określenia stanu lasów, zagrożenia szkodnikami i pożarami. Wielkie pożary w rejonie Kuźni Raciborskiej można było śledzić dzięki zdjęciom satelitarnym. Problem pustynnienia, badanie układu wód tak powierzchniowych jak i gruntowych można w wielkiej skali badać używając sztuczne satelity Ziemi.

Wielki międzynarodowy program "Global change", badający globalne zmiany zachodzące na naszej planecie, opiera się między innymi na metodach satelitarnego monitoringu.

Te wszystkie zagadnienia powinny znaleźć się w programach nauczania geografii, biologii, chemii.

V. Sugestie związane z zastosowaniem technik kosmicznych w telekomunikacji i nawigacji (lekcje fizyki, matematyki oraz bloki międzytematyczne)

Przekaz informacji w takim tempie i tak szeroko (globalnie) jest możliwy dzięki systemom satelitów telekomunikacyjnych. Jest to dziedzina aktywności kosmicznej najbardziej stymulująca rozwój ekonomiczny. Podstawy funkcjonowania tego systemu to opis ruchu satelity geostacjonarnego oraz zasady rozchodzenia się fal radiowych w atmosferze i ośrodku zjonizowanym (jonosferze i magnetosferze). Określenie w jaki sposób zmiany w tym ośrodku wpływają na warunki propagacji fal i możliwości przekazu informacji. Nawiązanie

do zmiany warunków w otaczającej Ziemię przestrzeni kosmicznej (space weather) w zależności od aktywności Słońca.

Gwałtowny rozwój tej dziedziny przyniósł ogromne zmiany cywilizacyjne, co oczywiście oprócz pozytywnych wyników takich jak łatwość i szybkość przekazu i zdobywania informacji (internet), rozszerzenie dostępu do dóbr kultury, możliwość poznawania lokalnych osiągnięć, transmisja ważnych wydarzeń kulturalnych, dostęp do wiodących światowych stacji radiowych i telewizyjnych czy wreszcie w zastosowaniu do ostatnio rozwijającego się kierunku zwanego telemedycyną, pojawiają się także pewne zagrożenia takie jak unifikacja kultury, niekorzystne subkultury, możliwość globalnego sterowania świadomością i zachowaniami ludzi. Tego typu problemy powinny być dyskutowane w ramach bloków międzytematycznych, które są wprowadzane do nauczania w liceach i gimnazjach.

Współczesne samoloty, statki a nawet jachty i samochody wyposażone są w urządzenia nawigacyjne oparte na systemie satelitów nawigacyjnych. Tego typu systemy wchodzą już do życia codziennego i zasady, na których działają także powinny znaleźć się w nauczaniu szkolnym. Mogą one wejść w program fizyki i matematyki.

VI. Sugestie dotyczące informacji o metodologii prowadzenia badań kosmicznych. Podstawy pomiarów (Lekcje fizyki i chemii)

Przedstawione w poprzednich punktach możliwości zastosowania badań kosmicznych do monitorowania stanu przestrzeni okołoziemskiej, badania środowiska naturalnego, atmosfery i powierzchni Ziemi oraz innych planet, wykorzystują możliwości aparatury naukowej, która budowana jest dla wyspecjalizowanych pomiarów. Zrozumienie zasad, na których oparte jest działanie tych przyrządów niezbędne jest do zrozumienia wyników otrzymywanych z pomiarów. Te podstawowe zasady zawarte są w programie nauczania fizyki i chemii. Jedynie należy je odpowiednio wykorzystać, traktując naukę o badaniach kosmicznych jako doskonały obszar przykładów ilustrujących te zasady.

Informacja zdobywana metodami technik kosmicznych opiera się na pomiarach pól i masy oraz energii cząstek. Pól elektromagnetycznych i grawitacyjnych zarówno stałych jak i zmiennych. Własności promieniowania w różnym zakresie spektralnym niosą informację o badanych obiektach i ich charakterystykach oraz o badanych procesach. Prowadząc analizę widmową fal elektromagnetycznych, o której mówi się zarówno na lekcjach zarówno fizyki jak i chemii, można uzyskać potrzebne informacje o składzie chemicznym, temperaturze i dynamice badanego obiektu. Znajduje to zastosowanie w badaniach geologicznych, meteorologicznych, ekologicznych i dla potrzeb rolnictwa.

Jedynym działaniem jakie jest w tej sytuacji potrzebne jest wprowadzenie do obecnego kursu fizyki i chemii przykładów analizy widmowej związanych z badaniami kosmicznymi.

Badanie pól grawitacyjnych jest źródłem informacji zarówno o fundamentalnych prawach fizyki (fale grawitacyjne) jak i o strukturach geologicznych a także o kształcie Ziemi. O ile badania dotyczące fal grawitacyjnych oparte są na wyrafinowanych technikach pomiarowych i można je omówić na zajęciach fakultatywnych, to badanie pola grawitacyjnego Ziemi i planet opiera się na dokładnych pomiarach ruchu sztucznych satelitów

i znów nie wymaga to dodatkowych wiadomości wystarczy tylko posłużyć się materiałem z lekcji fizyki dotyczącym ruchu w polu grawitacyjnym i wprowadzić odpowiednie przykłady.

Podobnie metody pomiaru pól elektromagnetycznych oraz cząsteczek naładowanych w przestrzeni okołoziemskiej oparte są na podstawowych prawach elektromagnetyzmu i mogą być omówione jako przykłady stosowania tych praw.

VII. Informacje o podstawowych problemach i perspektywach globalnych wynikających z badań kosmicznych (Nauka o Społeczeństwie, Panele Dyskusyjne)

Badania kosmiczne i ich zastosowania niosą ze sobą ogromne możliwości cywilizacyjne. Dotyczy to nie tylko krajów o wysokim potencjale gospodarczym, ale także tych krajów, które nazywane są krajami rozwijającymi się oraz takich krajów jak Polska.

Rozwój telekomunikacji, przekazy multimedialne, dostęp do programów edukacyjnych i kulturalnych, czy telemedycyna rozwijająca się bardzo gwałtownie w ostatnich kilku latach, możliwość monitorowania stanu środowiska, meteorologia, to są te dziedziny, które wkroczyły do życia codziennego i życie ułatwiają oraz podnoszą na wyższy poziom.

Ale są też inne strony tego kierunku cywilizacji. Kilkanaście lat temu obserwowaliśmy rywalizację potęg światowych w dziedzinie stosowania technik kosmicznych dla celów wojennych (tzw “program wojen gwiazdnych”). Program ten się zakończył, ale naiwnością byłoby sądzić, że państwa prowadzące swoją działalność kosmiczną nie wykorzystują możliwości jakie ona dostarcza dla celów wojskowych. Te same metody, które stosuje się do badania środowiska można stosować do kontroli ewentualnego wrogiego państwa, czy też wewnątrz własnego państwa kontroli jego mieszkańców. Techniki satelitarne używane do nawigacji (GPS) może być także stosowana do kontroli ruchu np. samochodów. Obecnie jest to znakomite narzędzie w poszukiwaniu skradzionych samochodów, ale wystarczy zmiana polityczna i metod sprawowania władzy, aby można było kontrolować każdy ruch przeciwników politycznych. Wizja “wielkiego brata” staje się rzeczywistym zagrożeniem. Telewizja satelitarna ze swym globalnym zasięgiem jest także znakomitym środkiem indoktrynacji. Obecnie obserwujemy mimowolne oglupianie widzów programami o bardzo niskim poziomie intelektualnym, ale wystarczy inteligentnie sterować takim programem i przy takim zasięgu przekazu informacji można sterować opinią widzów na skalę światową. Można też świadomie zmieniać wzorce kulturalne, grozi to zatarciem różnic kulturowych i globalizacją sposobu myślenia.

Istnienie takich zagrożeń należy także przedstawiać uczniom. Realizować to można poprzez dyskusje prowadzone przez nauczyciela.

VIII. Analiza możliwości kadry nauczycielskiej i sugestie dotyczące jej szkolenia

We wszystkich krajach, w których dyskutuje się wprowadzenie nauki o badaniach kosmicznych i ich zastosowaniach, zwraca się uwagę na podstawowy i zasadniczy problem-przygotowanie kadry nauczycielskiej. Także w Polsce (a może nawet w większym stopniu)

problem ten jest krytyczny. Tak jak w poprzednich rozdziałach zwracałem uwagę badania kosmiczne są badaniami interdyscyplinarnymi i wymagają bardzo szerokiej wiedzy od nauczyciela prowadzącego takie zajęcia. Nauczyciel fizyki jest może w najlepszej sytuacji, gdyż jego wiedza powinna wystarczać do zrozumienia tych zagadnień, które będą podstawowymi dla jego lekcji, jednak ze względu na dynamiczny rozwój tej nauki musi on stale aktualizować swoją wiedzę. W Stanach Zjednoczonych, Francji, Niemczech i Wielkiej Brytanii sugeruje się organizowanie stałych kursów dla nauczycieli fizyki. W Polsce takie kursy – spotkania są co roku prowadzone przez Centrum Astronomiczne Mikołaja Kopernika PAN w Warszawie. Dotyczą one najnowszych osiągnięć astronomii, astrofizyki i kosmologii.

Nauczyciele biologii i geografii są w znacznie gorszej sytuacji. Dla dobrego wprowadzania tej nauki w ich przedmiotach muszą oni mieć także odpowiednią, chociaż zupełnie elementarną wiedzę na temat metodyki tych badań, co jest związane z podstawami fizycznymi.

Pewnym rozwiązaniem mogłoby być wprowadzenie do szkół dostatecznej ilości materiałów czy to w postaci kaset video czy też CD –romów zawierających niezbędny materiał edukacyjny. Można liczyć w takiej akcji na zasoby i pomoc NASA i ESA oraz Międzynarodowego Uniwersytetu Kosmicznego w Strasburgu. Konieczne też jest opracowanie pod tym kątem nowych podręczników. I w tym też można skorzystać z doświadczeń francuskich.

Niezwykle przydatne jest korzystanie w tej sytuacji z Internetu. We wszystkich państwach aktywnych w dziedzinie badań kosmicznych instytucje odpowiedzialne za te badania prowadzą także szeroką akcję promującą te badania, w tym także akcje edukacyjne. Strony www przygotowywane w tych ośrodkach są wykorzystywane w celach szkoleniowych zarówno nauczycieli jak i uczniów. Dla naszych nauczycieli i wielu uczniów trudnością mogłaby być niedostateczna znajomość języków obcych, choć ta trudność maleje z każdym rokiem.

Innym sposobem wprowadzenia tego nauczania mógłby być system tzw “distant learning” coraz szerzej stosowany w wielu krajach. Centrum edukacyjne mogłoby się znajdować w wiodącym ośrodku w dziedzinie badań kosmicznych w Polsce w Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie.

Ponadto Centrum Badań Kosmicznych gotowe jest wzorem CAMK prowadzić spotkania naukowe dla nauczycieli. Wymaga to oczywiście bliskiej współpracy między CBK a MEN. Akcja taka byłaby na pewno bardzo pożyteczna i możliwość jej realizacji jest całkiem realna.

IX. Uwagi końcowe

1. Działalność człowieka w Kosmosie zajmuje już obecnie znaczące miejsce w aktywności ludzkiej nie tylko intelektualnej, ale także i ekonomicznej. A rola tej aktywności będzie wzrastać. Na wspomnianym we wstępie Kongresie UNISPACE III w Wiedniu przedstawione zostały prognozy dotyczące komercyjnej działalności kosmicznej. Przewiduje się, że w ciągu najbliższych 5 lat zainwestowane zostanie 500-600 miliardów USD w tej dziedzinie.

2. W Polsce od wielu lat prowadzone są badania naukowe związane z przestrzenią kosmiczną. Centrum Badań Kosmicznych PAN jest wiodącą placówką w Polsce w tej dziedzinie. Badania te prowadzone są we współpracy z wieloma ośrodkami na świecie, w tym z najbardziej znanymi, oraz we współpracy z organizacjami międzynarodowymi takimi jak ESA, EURISY a wcześniej Interkosmos. Osiągnięcia polskich naukowców są znaczące i liczą się w naukowej społeczności międzynarodowej. Niestety nie idzie za tym zaangażowanie polskiego przemysłu. Umowa o współpracy z ESA otwiera możliwości włączenia się polskich zakładów przemysłowych do wybranych programów ESA, co stwarza ogromne możliwości rozwoju technologicznego i ekonomicznego, ale stwarza także konieczność szybkiego kształcenia wysokokwalifikowanej kadry technicznej.

Brak jest w tej chwili wyspecjalizowanych kierunków studiów, na których mogliby być kształceni tacy specjaliści. Politechnika Warszawska próbuje stworzyć takie możliwości. Komitet Badań Kosmicznych i Satelitarnych wspiera zarówno merytorycznie jak i organizacyjnie te próby. Inicjatywa ta zasługuje na poparcie także ze strony Ministerstwa Edukacji Narodowej.

3. W związku z potrzebami przedstawionymi w niniejszym opracowaniu należy podjąć następujące działania:
- zintensyfikować popularyzację wiedzy o Kosmosie i to poprzez silniejsze zaangażowanie telewizji publicznej
 - wprowadzić do programów nauczania zagadnienia dotyczące badań kosmicznych i praktycznego wykorzystania aktywności ludzkiej w przestrzeni kosmicznej
 - zorganizować szkolenia nauczycieli przy pomocy instytucji naukowych takich jak Centrum Badań Kosmicznych PAN
 - upowszechnić użycie Internetu dla zdobywania wiedzy o Kosmosie
 - włączanie młodzieży szkolnej w międzynarodowe projekty związane z wykorzystaniem satelitów

EUROPEJSKA AGENCJA KOSMICZNA

Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) jest międzynarodową organizacją międzyrządową powołaną dla realizacji wspólnego, europejskiego programu badania i wykorzystania przestrzeni kosmicznej. Do jej zadań należy również wspieranie rozwoju nowoczesnego i konkurencyjnego przemysłu w państwach członkowskich. Członkami ESA są dziś wszystkie państwa Unii Europejskiej z wyjątkiem Grecji i Luksemburga oraz Szwajcaria i Norwegia..

Działalność

Badania przestrzeni kosmicznej realizowane przez Agencję uważane są za stojące na wyjątkowo wysokim poziomie, a w niektórych dziedzinach uzyskiwane wyniki uchodzą wręcz za najlepsze na świecie. Prowadzone badania koncentrują się na kilku wybranych obszarach, w szczególności wykorzystaniu własności stanu nieważkości, badaniach i obserwacji Ziemi, obserwacjach astronomicznych oraz badaniu Układu Słonecznego. W ostatnich latach na znaczeniu zyskuje także program lotów załogowych.

W gestii Agencji znajduje się również i przede wszystkim rozwijanie użytkowych zastosowań techniki kosmicznej (takich jak łączność, teledetekcja, nawigacja satelitarna, etc.). Agencja stanowi europejskie narzędzie pozwalające na wykorzystanie możliwości, jakie przynoszą gospodarce i społeczeństwu systemy satelitarne. Agencja nie prowadzi natomiast samodzielnej działalności operacyjnej w tym zakresie i po rozwinięciu odpowiednich technik ceduje je na odrębne organizacje.

Prace nad zastosowaniem techniki kosmicznej obejmują prowadzenie obserwacji Ziemi i monitoring zachodzących zmian środowiska, rozwój systemów łączności satelitarnej, rozbudowę satelitarnych systemów meteorologicznych, a ostatnio także budowę europejskiego systemu nawigacji satelitarnej Galileo. W ostatnich latach na znaczeniu zyskuje także wykorzystanie technik satelitarnych dla przeciwdziałania katastrofom żywiołowym i ich efektom.

Jednym z podstawowych celów Agencji jest także rozwijanie rodziny europejskich rakiet nośnych, jako że posiadanie własnego systemu wynoszenia stanowi czynnik decydujący o możliwości realizacji samodzielnego i niezależnego programu kosmicznego.

Działalność Agencji jest prowadzona we współpracy z Unią Europejską, w szczególności w zakresie formułowania długofalowej Europejskiej Polityki Kosmicznej. Obecnie obejmuje ona programy Galileo i GMES oraz problematykę telekomunikacji satelitarnej, należy jednak oczekiwać iż w najbliższych latach poszerzy się o kolejne obszary, wraz ze wzrostem świadomości znaczenia działalności kosmicznej dla współczesnej gospodarki.

Elastyczna formuła współpracy

Pomiędzy państwami nie ma pełnej zgody co do zakresu programu, który ma być realizowany przez Agencję. Niektóre państwa są zainteresowane prowadzeniem działań na szeroko zakrojoną skalę (choćby Francja), podczas gdy inne bądź ze względu na odmienne priorytety polityczne bądź słabszą gospodarkę muszą ograniczać swe ambicje. Dlatego Agencja opiera się na bardzo elastycznej formule współpracy.

Badania przestrzeni kosmicznej oraz budowę i wykorzystanie sprzętu służącego takim badaniom uznano za programy obowiązkowe, w których uczestniczyć mają wszyscy członkowie Agencji. Uczestnictwo w innych projektach, w tym w budowie europejskiej rakiety nośnej i programach służących użytkowym zastosowaniom technik kosmicznych pozostawiono swobodnej decyzji państw. Przyjęcie takiej dwutorowej formy współpracy z możliwością zróżnicowania stopnia uczestnictwa w poszczególnych programach (z wyjątkiem obowiązkowych) pozwala na uniknięcie konfliktów, które mogłyby utrudniać efektywne działanie Agencji: nie zmusza się do uczestnictwa w działaniach ocenianych przez dane państwo jako zbyt drogie lub nieuzasadnione merytorycznie, a jednocześnie nie hamuje projektów, które inne państwa chcą realizować. To ostatnie jest bardzo ważne również dlatego, że nie prowadzi do rozwijania odrębnych, dwu- i wielostronnych form współpracy, dzięki czemu w ramach Agencji skupia się gros współpracy kosmicznej państw europejskich.

Polityka przemysłowa

Działalność Agencji obejmuje nie tylko realizację programów kosmicznych, ale również wypracowywanie i implementację polityki przemysłowej. Jej celem jest rozwój i wspieranie europejskiej bazy przemysłowej, na której opiera się program kosmiczny Agencji i która jednocześnie staje się dziś coraz ważniejszym elementem światowej gospodarki.

Podstawowymi zasadami, na jakich opiera się polityka przemysłowa są: zlecenie kontraktów, o ile to tylko możliwe, przemysłowi europejskiemu oraz takie rozdzielanie kontraktów, aby do przedsięwzięcia danego państwa trafiały kontrakty o wartości równej jego wkładowi do budżetu Agencji. Rzecz jasna nie jest możliwe zapewnienie idealnej równowagi, ale Agencji udaje się utrzymywać stopę zwrotu na poziomie 90%, tzn. każde państwo otrzymuje w postaci kontraktów równowartość co najmniej 90% swojego wkładu.

Systemowi temu zarzuca się, iż nie wykorzystuje on mechanizmów wolnego rynku, co jest częściowo prawdą - zasady wolnej konkurencji są stosowane, ale w obrębie powyższych ograniczeń. Takie rozwiązanie wynika jednak z przesłanek politycznych – zapewnia gospodarkom państw członkowskich zwrot wpłacanych do Agencji składek.

Korzyści z realizacji polityki przemysłowej nie ograniczają się do napędzania gospodarek środkami pochodzącymi z programu kosmicznego Agencji. Dziś, gdy użytkowe wykorzystanie przestrzeni kosmicznej staje się codziennością, istnienie europejskiego przemysłu kosmicznego zapewnia Europie pełniejszą partycypację w korzyściach z tego płynących, a jednocześnie gwarantuje tak pożądaną niezależność, prawie w całości zaspokajając zapotrzebowanie Agencji i państw europejskich.

Równocześnie przemysł kosmiczny jest ze swojej natury nasycony nowoczesnymi rozwiązaniami, z których większość jest przezeń tworzonych. Pozwala mu to pełnić rolę „lokomotywy innowacji” odgrywając rolę podobną do przemysłu zbrojeniowego – naturalną tendencją jest przepływ takich innowacji do innych gałęzi gospodarki, dzięki czemu efekty programów kosmicznych w ten pośredni sposób trafiają do codziennego wykorzystania. I nie chodzi tu tylko o sławetne teflonowe patelnie, choć takie uboczne efekty mają coraz większe znaczenie ekonomiczne, ale o szeroki strumień rozwiązań, przeważnie technologicznych, który dociera dziś do większości dziedzin nowoczesnego przemysłu.

Rozwój tego przemysłu to także, oprócz tworzenia miejsc pracy, stymulacja dla kształcenia specjalistycznych kadr - nie tylko zapobiega to drenażowi mózgów, ale przeciwnie, rozwija europejski potencjał w tej dziedzinie, a to on w coraz większym dziś stopniu staje się kluczowym czynnikiem decydującym o konkurencyjności współczesnych gospodarek.

Efekty

Działalność Agencji przyczyniła się do stworzenia znacznego potencjału kosmicznego Europy. Obejmuje on dziś własny system wynoszenia, systemy satelitarne, których zastosowania odpowiadają oczekiwaniom formułowanym w Europie, silny i konkurencyjny przemysł kosmiczny, który jest w stanie całkowicie obsługiwać europejskie zapotrzebowanie i zaczyna liczyć się na światowym rynku oraz znaczny potencjał organizacyjny i naukowo-techniczny - tysiące specjalistów, obszerne know-how oraz wiedza naukowa i rozwiązania techniczne, które szerokim strumieniem płyną do innych sektorów gospodarki Europy.

Z efektów działalności Agencji korzystają zarówno państwa największe, jak i mniejsze oraz słabiej rozwinięte, których minimalne wkłady do budżetu Agencji są nieporównywalne z uzyskiwanymi efektami. Jednocześnie mechanizm geograficznej redystrybucji pozwala największym państwom na zachowanie korzyści z rozmiaru ich składek w postaci wielkości kontraktów trafiających do własnego przemysłu.

Dzięki działalności Agencji państwa europejskie mają dziś niezależną pozycję w działalności kosmicznej - dziedzinie, która z każdym kolejnym rokiem staje się coraz ważniejszym obszarem aktywności człowieka, obszarem przynoszącym mu jednocześnie coraz bardziej wymierne korzyści.

Polska perspektywa

Współpraca Polski z Agencją rozwinęła się w początku lat 90-tych. W 1994 podpisano pierwsze formalne porozumienie o współpracy. Umowa zawarta 24 stycznia 2002 w zasadniczy sposób poszerza zakres tej współpracy. W szczególności umożliwia Polsce udział w programach badawczych i rozwojowych Agencji oraz tworzy podstawy dla rozwoju polskiego przemysłu kosmicznego i jego udziału w realizacji europejskiego programu kosmicznego.

Umowa tworzy ramy dla udziału polskich instytucji w programach naukowych Agencji w takich dziedzinach jak: badanie przestrzeni kosmicznej, obserwacje Ziemi i wykorzystywanie uzyskiwanych danych, telekomunikacja, nawigacja satelitarna oraz badania

w warunkach mikrogravitacji. Ponadto umożliwia podjęcie działań na rzecz włączenia polskich przedsiębiorstw w realizację europejskiego programu kosmicznego.

Doskonałe efekty uzyskiwane w efekcie kooperacji polskich instytucji z ESA na przestrzeni ostatniej dekady dowodzą, iż współpraca z Agencją stanowi optymalny z polskiego punktu widzenia sposób realizacji programu badania i wykorzystania przestrzeni kosmicznej. Ponadto, biorąc pod uwagę narastające znaczenie aktywności kosmicznej na świecie i rozwój Europejskiej Polityki Kosmicznej, uzasadnione wydaje się twierdzenie, iż pełne członkostwo w Agencji stanowić powinno strategiczny cel polskiej polityki w tej dziedzinie.

W przewidywaniu zainteresowania państw środkowo-europejskich rozwojem współpracy, docelowo prowadzącym do członkostwa, Agencja zaproponowała specjalny program partnerstwa – PECS (Partnership for European Cooperating States). Jego założeniem jest umożliwienie instytucjom z uczestniczących państw udziału w wybranych programach Agencji, przy czym kontrakty uzyskiwane przez te instytucje – zarówno placówki naukowo-badawcze, jak i przedsiębiorstwa – finansowane byłyby ze składki danego państwa. Agencja oczekuje, iż państwa gotowe byłyby zadeklarować na ten cel środki w wysokości min. 1 mln. Euro rocznie przez okres co najmniej 5 lat.

Uczestnictwo w programie stanowiłoby okazję do formalnego włączenia instytucji naukowych do programów ESA. Równocześnie polskie przedsiębiorstwa uzyskałyby po raz pierwszy możliwość ubiegania się o kontrakty publiczne na europejskim rynku kosmicznym.

Dotychczas do programu zdecydowały się przystąpić Czechy i Węgry. Należy mieć nadzieję, iż podobna decyzja zostanie podjęta w Polsce, bowiem PECS wydaje się stanowić doskonały mechanizm współpracy, a jego implementacja posłuży rozwojowi krajowego potencjału w zakresie badania i wykorzystania przestrzeni kosmicznej.

Ramy prawne działalności ESA

Cele

Konwencja o utworzeniu Europejskiej Agencji Kosmicznej została zawarta w Paryżu, 30 maja 1975 roku. Agencja została powołana dla realizacji czterech podstawowych celów:

- Wypracowywania i wprowadzania w życie długoterminowej europejskiej polityki kosmicznej, wypracowywania zaleceń dotyczących celów działalności kosmicznej oraz koordynowania polityk kosmicznych państw
- Prowadzenia działalności w przestrzeni kosmicznej
- Koordynowania europejskiego programu kosmicznego z programami narodowymi i włączania programów narodowych w program europejski
- Wypracowywania i wprowadzania w życie polityki przemysłowej w sektorze kosmicznym w zakresie własnych programów oraz wypracowywania zaleceń dotyczących spójnej polityki państw członkowskich w tej dziedzinie.

Programy obowiązkowe i fakultatywne

Działania Agencji są podzielone na programy obowiązkowe i fakultatywne. Państwa zobowiązane są do uczestnictwa tylko w tych pierwszych.

Wśród programów obowiązkowych znajdują się:

- Realizacja programów naukowych, w tym programów z wykorzystaniem systemów kosmicznych
- Prace badawcze nad przyszłymi projektami, badania technologiczne, pośrednictwo w przepływie informacji o programach kosmicznych państw, analiza potrzeb użytkowników technik kosmicznych.

Zakres programów fakultatywnych nie jest określony w sposób wyczerpujący, w szczególności mogą one obejmować budowę i wykorzystywanie satelitów i innych systemów kosmicznych oraz budowę i wykorzystywanie systemów wynoszących wraz ze związanymi z nimi instalacjami naziemnymi.

Agencja może, jeśli pojawi się taka możliwość, realizować działalność operacyjną (tzn. użytkową).

Programy obowiązkowe finansowane są ze składek państw członkowskich, przy czym ich wielkość jest proporcjonalna do dochodu narodowego poszczególnych państw. Programy fakultatywne finansowane są przez państwa uczestniczące, a udział poszczególnych państw jest ustalany w drodze negocjacji odrębnie dla każdego programu.

Podział korzyści

Owoce działań Agencji, takie jak wynalazki i dane techniczne są udostępniane państwom (oraz ich obywatelom i podmiotom pod ich jurysdykcją) i mogą być wykorzystywane bezpłatnie. Udostępniane są także dane naukowe uzyskiwane w toku działań Agencji.

W ramach realizacji polityki przemysłowej działania Agencji powinny wspierać konkurencyjność europejskiego przemysłu, w szczególności poprzez stymulowanie jego rozwoju zgodnie z zapotrzebowaniem światowego rynku.

Agencja, gdy to tylko możliwe, realizuje swe działania nie samodzielnie, lecz poprzez zlecanie zadań kontrahentom. Kontrakty, gdy to tylko możliwe, powinny trafiać do przemysłu państw członkowskich, a korzyści poszczególnych państw powinny być proporcjonalne do ich wkładu w działalność Agencji. Kontrakty, o ile nie kłóci się to z powyższymi zasadami, powinny być przyznawane zgodnie z zasadami wolnej konkurencji.

W realizacji programów kosmicznych, o ile to możliwe, Agencja winna korzystać z własnych systemów wynoszenia, z systemów wynoszenia państw członkowskich lub systemów, do powstania których Agencja się przyczyniła.

Inne

Państwa zgadzają się na umiędzynarodowienie swoich narodowych cywilnych programów kosmicznych. Oznacza to, iż będą one informować o realizowanych przez siebie działaniach i w ich realizacji będą otwarte na podjęcie współpracy z innymi państwami członkowskimi.

O ile jest to możliwe, Agencja umożliwia korzystanie ze swojej infrastruktury państwom członkowskim realizującym niezależne programy kosmiczne. Agencja może także udzielić niezbędnej pomocy w ich realizacji.

Agencja może prowadzić współpracę z państwami nie będącymi członkami, jak również z organizacjami międzynarodowymi i innymi instytucjami. Państwa nie będące członkami mogą uczestniczyć w realizacji programów kosmicznych Agencji. Państwom takim może być przyznany status członka stowarzyszonego.

Organizacje operacyjne związane z ESA

Jedną z cech charakteryzujących działania ESA jest unikanie prowadzenia działalności operacyjnej. Oznacza to, iż po stworzeniu określonych systemów i ich rozwinięciu do poziomu, na którym mogą funkcjonować operacyjnie, tzn. być wykorzystywane do zastosowań użytkowych, Agencja stara się przekazywać je do organizacji pochodnych. To te organizacje odpowiadają za utrzymywanie systemów, ich bieżącą obsługę i dalszy rozwój (często we współpracy z ESA), a także, o ile to możliwe, za prowadzenie odpowiedniej polityki komercyjnej.

Takimi organizacjami są Arianespace odpowiadający za wykorzystywanie rakiety Ariane, Eutelsat zajmujący się telekomunikacją i Eumetsat obsługujący satelity meteorologiczne.

Arianespace

Kolejne wersje rakiety Ariane po zakończeniu fazy eksperymentalnej i udanym „oblocie” przekazywane są firmie Arianespace. Jest to przedsiębiorstwo komercyjne, którego zadaniem jest obsługa całości zadań wiążących się z lotami tych rakiet. Arianespace odpowiada więc za produkcję rakiet (a konkretnie kontraktowanie produkcji i jej koordynację), operacje startowe i marketing.

Ariane jest dziś rakieta dominującą na rynku komercyjnym - ok. 60% kontraktów na wynoszenie satelitów trafia do Arianespace. W ostatnich latach wykonywane jest średnio 11 startów rocznie, a wartość kontraktów wynosi przeszło miliard Euro. Ocenia się, iż do roku 1998 do przemysłu trafiło z tego tytułu przeszło 9,1 mld Euro. Arianespace ponosi także 2/3 kosztów funkcjonowania kosmodromu Kourou, z którego odbywają się starty.

Rakieta Ariane i komercyjna działalność Arianespace uważane są za wzorcowy przykład europejskiego sukcesu w działalności w przestrzeni kosmicznej.

Eutelsat

Pierwsze europejskie satelity telekomunikacyjne zostały zbudowane przez ESA. Agencja nie zamierzała jednak zajmować się świadczeniem usług komercyjnych i po uruchomieniu systemu został on przekazany do stworzonego w tym celu Eutelsatu. Regionalny system łączności satelitarnej spotkał się z dużym zainteresowaniem

użytkowników i wkrótce Eutelsat już samodzielnie sfinansował budowę drugiej, a później kolejnych serii satelitów.

Eutelsat został stworzony jako organizacja międzyrządowa, funkcjonował jednak, podobnie jak inne organizacje łączności satelitarnej, na zasadach komercyjnych. Dziś, w obliczu rosnącej konkurencji na rynku telekomunikacyjnym, konieczne okazało się przekształcenie organizacji w przedsiębiorstwo komercyjne, jednakże nadzór państw członkowskich nad jej działaniem został zachowany.

System Eutelsatu oferuje pełny zakres usług łączności satelitarnej. Są one dostępne nie tylko na obszarze Europy, ale również w części Afryki, na Bliskim i Środkowym Wschodzie i w Azji Centralnej. Możliwości Eutelsatu pozwalają na zaspokojenie większości europejskiego zapotrzebowania na łączność satelitarną - zarówno międzynarodową, jak i krajową. Wartość świadczonych usług wynosi blisko 400 mln Euro rocznie.

Eumetsat

Satelity służące obserwacjom meteorologicznym dla potrzeb europejskich zostały zbudowane przez ESA. W celu ich regularnej obsługi powołana została specjalna organizacja międzyrządowa - Eumetsat i Agencja przekazała jej własność tych satelitów. Z czasem Eumetsat przejął nie tylko obowiązki związane z obróbką satelitarnych danych meteorologicznych, ale również sterowanie samym systemem.

Druga generacja satelitów meteorologicznych jest budowana wspólnie przez Eumetsat i ESA, a system służący obserwacjom polarnym (METOP) organizacja finansuje już samodzielnie.

Utworzenie Eumetsatu pozwoliło na wyłączenie z zakresu obowiązków ESA regularnej działalności w dziedzinie meteorologii, podobnie jak Eutelsat i Arianespace przejęły działania w obszarach łączności i komercyjnej obsługi systemów wynoszenia.

Polityka realizacji działań użytkowych poprzez wyspecjalizowane struktury jest charakterystyczną cechą europejskiego programu kosmicznego. Dzięki niej ESA może koncentrować się na działaniach rozwojowych, które są głównym celem jej istnienia.

EUROPEJSKA POLITYKA KOSMICZNA

Europejską politykę kosmiczną można zdefiniować jako działania, których celem jest wspieranie rozwoju potencjału kosmicznego Unii i jego wykorzystania dla realizacji jej celów, obejmujące obecnie w szczególności rozwój systemów nawigacji satelitarnej Galileo i obserwacji satelitarnej GMES. Proces kształtowania tej polityki w ramach Unii Europejskiej rozpoczął się pod koniec lat 90., w konsekwencji rosnącej świadomości gwałtownego wzrostu gospodarczego i politycznego znaczenia sektora kosmicznego.¹

W 1998 r. stale wzrastające nakłady na działalność kosmiczną w skali świata przekroczyły 70 mld dolarów. Technologie satelitarne i kosmiczne zaczęły odgrywać coraz większą rolę w życiu codziennym, stając się bardzo istotnym elementem w budowie gospodarki opartej na wiedzy i rozwoju społeczeństwa informacyjnego. W Europie kwestia swobodnego i niezależnego dostępu do danych z obserwacji satelitarnych okazała się mieć także znaczenie polityczne.

Wzrastająca świadomość możliwości, które oferuje sektor kosmiczny, zarówno jako czynnik sprzyjający wzrostowi innowacyjności i postępowi ekonomicznemu, jak i instrument ułatwiający realizację polityki Unii Europejskiej w wielu dziedzinach (np. telekomunikacja, transport, ochrona środowiska, bezpieczeństwo) doprowadziła do przyjęcia przez Komisję, Radę i Parlament Europejski kilku ważnych dokumentów.

Jednym z pierwszych był komunikat Komisji z września 2000 r. *„Europe and Space: Turning to a New Chapter”*, zapowiadający stworzenie spójnej europejskiej polityki odnośnie przestrzeni kosmicznej oraz przewidujący aktywny udział organów UE w tym procesie. Konsultacje i współpraca pomiędzy Unią Europejską a Europejską Agencją Kosmiczną zaowocowały przyjęciem przez Radę UE rezolucji *„On a European Strategy for Space”* w listopadzie 2000 r. Dokument ten podkreśla kluczową rolę sektora kosmicznego jako jednego z czynników warunkujących realizację podstawowego strategicznego celu Unii Europejskiej – budowy nowoczesnej, dynamicznej i konkurencyjnej gospodarki opartej na wiedzy, zgodnie z ustaleniami szczytu w Lizbonie w marcu 2000 r. Wskazuje także na znaczenie zapewnienia Europie niezależnego dostępu do przestrzeni kosmicznej dla jej pozycji politycznej na arenie międzynarodowej. Rezolucja ustala dwa główne kierunki działania Unii: rozwój europejskiego systemu nawigacji satelitarnej Galileo oraz prace nad stworzeniem niezależnego europejskiego potencjału w zakresie obserwacji satelitarnej Ziemi (GMES).

¹ Współpraca w zakresie badania i wykorzystania przestrzeni kosmicznej rozwijała się w Europie od lat 60-tych, przede wszystkim na forum Europejskiej Agencji Kosmicznej, jednakże tematyka ta pozostawała dotychczas poza obszarem zainteresowań politycznych Unii.

Galileo ma stanowić alternatywę dla amerykańskiego systemu GPS, jednakże w przeciwieństwie do niego jest z założenia systemem cywilnym i międzynarodowym. Ma to zapewnić nie tylko większą gwarancję ciągłości pracy, lecz również jakości i dokładności przekazywanych danych. Te przewidywane zalety systemu Galileo mają znaczenie zarówno polityczne – zapewniają rządów państw europejskich kontrolę nad systemem oraz stały dostęp do wiarygodnych informacji, jak i ekonomiczne – ułatwiają przedsiębiorcom europejskim wejście na wciąż poszerzający się rynek usług opartych na nawigacji satelitarnej.

Stworzenie systemu **GMES** (Global Monitoring for Environment and Security) ma uniezależnić Europę od danych z obserwacji satelitarnych uzyskiwanych z USA i dostarczyć narzędzia do realizacji i nadzorowania polityk Unii dotyczących między innymi szeroko pojętej ochrony środowiska, zrównoważonego rozwoju i bezpieczeństwa. GMES jest zatem słusznie postrzegany jako jeden z instrumentów z obszaru tak pierwszego, jak i drugiego filaru UE.

Na mocy rezolucji z listopada 2000 r. Unia Europejska i Europejska Agencja Kosmiczna powołały Wspólną Grupę Zadaniową (Joint Task Force), która kontynuowała prace nad wcielaniem w życie zaleceń zawartych w „European Strategy for Space”.

W grudniu 2001 r. Komisja Europejska przyjęła kolejny ważny dokument zatytułowany „*Towards a European Space Policy*”, w którym podkreśliła konieczność włączenia sektora kosmicznego w ramy szerszej, ogólnoeuropejskiej strategii politycznej i gospodarczej. Przypomniano, że technologie satelitarne i kosmiczne są bardzo istotnym, a nieraz wręcz niezbędnym elementem dla realizacji takich długofalowych celów UE, jak budowa konkurencyjnej gospodarki opartej na wiedzy, tworzenie społeczeństwa informacyjnego czy zapewnienie zrównoważonego rozwoju. Warunkują one także – w mniejszym lub większym stopniu – efektywną implementację założeń wielu polityk sektorowych UE, m. in. w dziedzinie transportu, telekomunikacji, ochrony środowiska, rolnictwa, migracji itd. Systemy kosmiczne umożliwiając szybką wymianę informacji; wczesne wykrywanie zagrożeń, monitorowanie i kontrolę; są doskonałym instrumentem dla rozwoju wspólnej polityki zagranicznej i bezpieczeństwa (szczególnie dla prowadzenia tzw. misji petersberskich)². Unia uznała więc, że ze względu na swój interdyscyplinarny charakter i szeroki wachlarz potencjalnych zastosowań, działalność kosmiczna powinna stać się przedmiotem odrębnej polityki.

Pierwszym krokiem na drodze do realizacji tego celu było przygotowanie przez Komisję Europejską we współpracy z ESA *Zielonej Księgi Europejskiej Polityki Kosmicznej*, opublikowanej w styczniu 2003 r. Dokument ten zawiera przegląd najistotniejszych zagadnień dotyczących europejskiej aktywności kosmicznej na tle świata, wykorzystywania technik satelitarnych w Unii Europejskiej oraz organizacji działalności kosmicznej w UE. Zielona Księga podkreśla konieczność bliższej współpracy i większego zaangażowania państw członkowskich w realizację wcześniej przyjętych założeń, zwłaszcza w obliczu niekorzystnych zmian w sytuacji gospodarczej i odczuwalnego kryzysu na rynku

² Tzw. „zadania petersberskie” obejmują militarne i niemilitarne reagowanie w sytuacjach kryzysowych – m.in. zapobieganie konfliktom, misje humanitarne i pokojowe, zarządzanie kryzysami.

kosmicznym.³ Połączenie sił i koordynacja działań to najlepsza odpowiedź na wyzwania, jakie stoją obecnie przed Europą – wyzwania nie tylko ekonomiczne, ale również naukowo-badawcze i techniczne, wiążące się z zapewnieniem technologicznej i przemysłowej bazy dla programu kosmicznego. Zastosowanie technik kosmicznych wpisuje się w trzy priorytetowe kierunki działań UE: wykształcenie w Europie do 2010 r. najbardziej konkurencyjnej gospodarki opartej na wiedzy, wzmocnienia pozycji Unii w odniesieniu do problemów zrównoważonego rozwoju, rozwój Wspólnej Polityki Zagranicznej i Bezpieczeństwa oraz Wspólnej Polityki Bezpieczeństwa i Obrony.

Zielona Księga, prezentując kompleksowy obraz sytuacji oraz stawiając szereg pytań o najefektywniejsze mechanizmy i sposoby skutecznego wykorzystania przestrzeni kosmicznej przez Europę i Unię Europejską, również w perspektywie jej bliskiego rozszerzenia, miała na celu zainicjowanie procesu szerokich konsultacji w tej dziedzinie. Wzięły w nich udział organy UE, ESA, poszczególne państwa (w tym Polska), a także instytucje naukowe i indywidualni eksperci. Uzyskane w ten sposób opinie posłużą przygotowaniu Białej Księgi, która powinna zostać opublikowana do końca 2003 r. Biała Księga będzie stanowiła plan działań systematyzujący i strukturalizujący założenia, cele i kierunki przyszłej europejskiej polityki kosmicznej.

Unia Europejska postanowiła również wzmocnić jej polityczne i prawne podstawy. *W projekcie Konstytucji UE* zapisano, iż „w celu sprzyjania postępowi naukowo-technicznemu, konkurencyjności przemysłowej i realizacji swoich polityk, Unia ustanawia europejską politykę kosmiczną.” UE ma „promować wspólne inicjatywy, popierać badania i rozwój technologiczny i koordynować wysiłki niezbędne dla badania i wykorzystania przestrzeni kosmicznej”. Dla prowadzenia tych działań zostaną przyznane „niezbędne środki, które mogą przyjąć postać europejskiego programu kosmicznego”⁴. Aktywność kosmiczną, a w szczególności określanie i realizację właściwych programów, uznano za jedną z dziedzin tzw. dzielonej kompetencji Unii.⁵

Wprowadzenie zapisów o europejskiej polityce kosmicznej do projektu Konstytucji Unii Europejskiej i tym samym nadanie jej podstaw traktatowych można uznać za ukoronowanie dotychczasowych działań, a zarazem zapowiedź i zobowiązanie do dalszej aktywności w tej dziedzinie. Trwa proces przygotowywania Białej Księgi, która podsumuje rezultaty podjętych kroków i przedstawi plany na przyszłość. Finalizowane jest Porozumienie Ramowe między Unią Europejską a Europejską Agencją Kosmiczną, określające zasady ich bliskiej współpracy w realizacji założeń europejskiej polityki kosmicznej, jednakże przy zachowaniu odrębnych struktur i kompetencji obu organizacji. Toczą się prace nad budową systemów nawigacji satelitarnej Galileo⁶ i obserwacji satelitarnej GMES – obecnie 2 głównych filarów europejskiej polityki kosmicznej – które mają osiągnąć zdolności operacyjne już w 2008 r. Przewidziana w artykule III – 212 projektu Konstytucji Europejska Agencja Uzbrojenia, Badań i Potencjału Wojskowego ma zajmować się między innymi także zastosowaniem technik kosmicznych dla celów militarnych i obronnych. Parlament Europejski, którego

³ Chodzi tu głównie o systemy wynoszenia i rakiety *Ariane*; problem ten ma oczywisty związek z kwestią zagwarantowania Europie stałego niezależnego dostępu do przestrzeni kosmicznej.

⁴ Projekt Konstytucji UE z 12 czerwca 2003 r., część trzecia, artykuł III-155.

⁵ Projekt Konstytucji UE z 12 czerwca 2003 r., tytuł trzeci, artykuł 13, ustęp 3. Działania podejmowane w tym zakresie przez Unię nie mogą uniemożliwiać „państwom członkowskim wykonywania ich kompetencji”.

⁶ Współpracą w ramach tego systemu zainteresowanych jest także wiele państw spoza Europy, m.in. Chiny, Indie, Izrael. Trwają także rozmowy z USA o zapewnieniu kompatybilności systemów Galileo i GPS.

zainteresowanie i aktywny udział⁷ w procesie kształtowania polityki kosmicznej zasługują na szczególne podkreślenie, wystąpił z inicjatywą zwołania w 2005 r. Europejskiej Konferencji Kosmicznej dla pogłębienia i poszerzenia zakresu europejskiej działalności kosmicznej

Europejska polityka kosmiczna a Polska

Polska już jako kraj kandydujący do Unii, dysponujący pewnym potencjałem naukowo-badawczym w tej dziedzinie, wykazywała zainteresowanie procesem kształtowania europejskiej polityki kosmicznej. Uczestniczyła w konsultacjach na temat Zielonej Księgi i z zadowoleniem przyjęła zapisy o możliwości wykorzystania technik satelitarnych dla wsparcia poszerzenia UE – zarówno dla przyspieszania integracji nowych członków, jak i funkcjonowania rozszerzonej Unii jako całości⁸. Takie projekty mogłyby otrzymać wsparcie z funduszy strukturalnych.

Z chwilą przystąpienia do Unii Europejskiej Polska zostanie włączona do programów „Galileo” i GMES, będzie także uczestniczyć w planowaniu i realizacji kolejnych przedsięwzięć, które zostaną podjęte w ramach Europejskiej Polityki Kosmicznej.

Uczestnictwo w programie GMES ma szansę zapewnić łatwiejszy i przede wszystkim tańszy dostęp do danych pochodzących z obserwacji satelitarnych Ziemi, danych, których wykorzystanie w Polsce jest wielokrotnie mniejsze niż w gospodarkach państw Europy Zachodniej, a które mają istotny wpływ na stopień konkurencyjności wielu działów gospodarki. Warto zauważyć, iż stopień wykorzystania danych satelitarnych w gospodarce jest jednym ze wskaźników poziomu rozwoju gospodarczego stosowanego przez organizacje międzynarodowe, takie jak ONZ czy Bank Światowy. GMES wydaje się także optymalnym sposobem uzyskania dostępu do materiałów satelitarnych, których analiza może przynieść istotne informacje zarówno dla potrzeb bezpieczeństwa narodowego, jak i procesów decyzyjnych w polityce zagranicznej.

Z kolei program „Galileo” jest w połowie finansowany z budżetu Unii, co oznacza, że w latach 2004-2005 trafi doń ok. 4,5 mln euro pochodzących z polskiej składki. W latach 2005-2008 do programu „Galileo” trafią najprawdopodobniej dalsze środki z budżetu Unii, w których „polski wkład” przekroczy zapewne 10 mln euro. Niestety Polska nie jest członkiem Europejskiej Agencji Kosmicznej (to ona będzie dysponować funduszami unijnymi na realizację programu), a przedsiębiorstwa z państw spoza Agencji nie mają dostępu do jej systemu kontraktowego, co może znacznie utrudnić, a nawet uniemożliwić zwrot środków z polskiej składki.

Proces kształtowania Europejskiej Polityki Kosmicznej

Najważniejsze z dotychczas przyjętych dokumentów to:

⁷ Parlament Europejski wydał kilka ważnych rezolucji oraz przygotował różne raporty związane z tematyką kosmiczną; ostatnio na forum Komisji Przemysłu, Handlu Zagranicznego, Badań i Energii.

⁸ Przykładowe możliwości takiego zastosowania technik satelitarnych to m.in. wykorzystanie obserwacji satelitarnej w planowaniu przestrzennym i monitorowaniu zanieczyszczeń środowiska, wspieranie kontroli granicznej i systemu informacyjnego Schengen, rozwój telekomunikacji.

- Dokument Komisji Europejskiej "Europe and Space: Turning to a new chapter", COM (2000) 597, 27 września 2000
- Rezolucja Rady UE „on a European space strategy”, 16 listopada 2000
- Dokument Komisji Europejskiej „Towards a European Space Policy”, COM(2001) 718, 7 grudnia 2001
- Rezolucja Parlamentu Europejskiego „Europe and Space”, 17 stycznia 2002
- „Zielona Księga” Europejskiej Polityki Kosmicznej, COM(2003) 17, 21 stycznia 2003
- Rezolucja Rady UE „on the development of a European Space Policy”, 13 maja 2003
- Rezolucja Parlamentu Europejskiego „on the European Space Agency”, 15 maja 2003
- Projekt Konstytucji Unii Europejskiej, 12 czerwca 2003