

# Europejski satelitarny system nawigacyjny Galileo

Andrzej Stachnik

Wojciech Skonieczny

Zaprezentowano podstawowe wiadomości o systemie Galileo, jego budowie, oczekiwaniach i programie działań. Podkreślono, że system Galileo, powstający z inicjatywy Unii Europejskiej przy współpracy Europejskiej Agencji Kosmicznej oraz przemysłu europejskiego, będzie stanowił dopełnienie istniejących systemów nawigacyjnych: GPS, GLONASS i innych. Wskazano, że będzie miał szerokie zastosowania w wielu dziedzinach gospodarki i działalności człowieka. Umożliwi on oferowanie licznych usług, takich jak: usługi ogólnodostępne (OS), usługi ubezpieczające życie (SoLS), usługi komercyjne (CS), usługi na rzecz służb publicznych (PRS) oraz poszukiwanie i ratowanie ludzi lub zagrożonych obiektów (SAR). Przypomniano, że pierwszym wkładem do realizacji Galileo jest EGNOS, europejski program przeznaczony do nawigacji z wykorzystaniem satelitów z GPS i GLONASS, uzupełnionych satelitami geostacjonarnymi, zapewniający bezpieczeństwo w warunkach krytycznych, tj. zwiększonego zagrożenia. Zwrócono uwagę, że także Polska włączyła się do realizacji systemu EGNOS.

*satelitarne systemy nawigacyjne, system Galileo*

## Wprowadzenie

Podstawowym przeznaczeniem systemów nawigacyjnych jest określenie pozycji geograficznej użytkownika wyposażonego w odpowiedni odbiornik. Współczesne systemy nawigacyjne mogą być źródłem precyzyjnych sygnałów czasu i właściwość ta jest wykorzystywana do synchronizacji częstotliwości taktowania w synchronicznych sieciach telekomunikacyjnych oraz do utrzymania jednolitego czasu w sieciach teleinformatycznych.

Pomimo wielu dogodności, wykorzystanie istniejących satelitarnych systemów nawigacyjnych jako podstawowych źródeł sygnałów synchronizacyjnych dla systemów telekomunikacyjnych wiąże się z ryzykiem utraty lub degradacji tych sygnałów w ekstremalnych warunkach. Należy też pamiętać, że obecne satelitarne systemy nawigacyjne są zbudowane do celów militarnych i użytkownicy nieautoryzowani działają na własną odpowiedzialność, a zatem muszą liczyć się z możliwością niekorzystnych dla nich działań ze strony administratorów systemów.

Powstanie satelitarnego systemu nawigacyjnego Galileo (*Galileo Navigation Satellite System*) o zasięgu globalnym – współpracującego z GPS (*Global Positioning System*), GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*) i istniejącymi już strukturami, wiążącymi infrastrukturę naziemną oraz kosmiczną, jak Cospas-Sarsat (*Cosmicheskaya Sistema Poiska Aviariynich Sudov-Search and Rescue Satellite-Aided Tracking*), Inmarsat (*International Maritime Satellite Organization*) i inne – zwiększy gwarancje ciągłości dostępu do sygnałów przynajmniej jednego z tych systemów w stopniu, umożliwiającym wykorzystanie ich do synchronizacji systemów telekomunikacyjnych.

## Systemy nawigacyjne wykorzystywane obecnie jako źródła sygnałów czasu

Obecnie działają trzy systemy nawigacyjne o zasięgu globalnym, stanowiące źródła precyzyjnych sygnałów czasu.

Największe znaczenie ma amerykański satelitalny system nawigacyjny GPS, który przez kilkanaście lat jako jedyny umożliwił dość dokładne określenie pozycji geograficznej (20 m) oraz uzyskanie precyzyjnych sygnałów czasu, niezbędnych do synchronizacji systemów i sieci telekomunikacyjnych. Od strony użytkowej można wyróżnić dwie warstwy tego systemu, różniące się dokładnością i dostępnością. Tylko jedna z tych warstw jest dostępna dla nieautoryzowanych użytkowników, a i w niej do maja 2000 r. był stosowany system kodowania, ograniczający dokładność uzyskiwanych wyników.

Drugim systemem jest amerykański naziemny system nawigacyjny LORAN-C, obecnie przestarzały i przewidziany do likwidacji, z kilkakrotnie przesuwany termin wyłączenia z eksploatacji. Nie gwarantuje on już spełnienia wymagań stawianych sygnałom synchronizacyjnym dla współczesnych, cyfrowych sieci telekomunikacyjnych.

Trzecim systemem jest rosyjski satelitalny system nawigacyjny GLONASS, który wymaga jednak doinwestowania.

Do 1997 r. pracował pierwszy globalny naziemny system nawigacyjny Omega, administrowany przez flotę Stanów Zjednoczonych.

Zaletą wykorzystania sygnałów emitowanych przez systemy nawigacyjne do synchronizacji sieci telekomunikacyjnych jest możliwość utrzymania częstotliwości taktowania w tych sieciach z długoterminową dokładnością rzędu  $\pm 1 \cdot 10^{-11}$ , bez potrzeby stosowania kosztownych i kłopotliwych w utrzymaniu wzorców cezowych. Trzeba jednak pamiętać o uzależnieniu od decyzji administratora systemu.

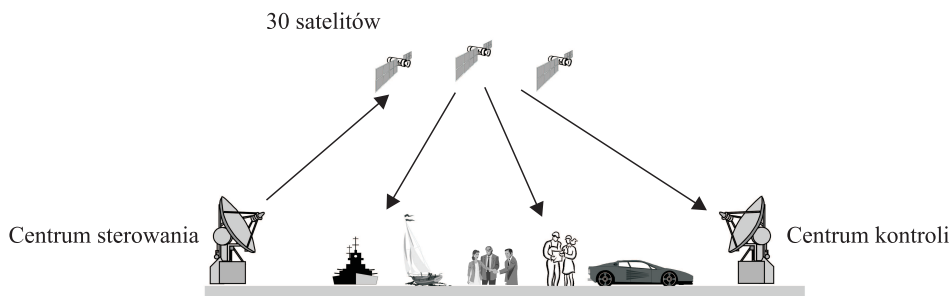
## Założenia systemu nawigacyjnego Galileo

W krajach Unii Europejskiej od wielu lat dojrzała myśl zbudowania własnego, cywilnego systemu nawigacyjnego o zasięgu globalnym i uwolnienia się od amerykańskiego monopolu. Dla systemu tego przyjęto nazwę Galileo. Ostateczna decyzja o jego budowie zapadła w 2001 r. Jednostką odpowiedzialną za zbudowanie i wdrożenie systemu do użytku jest Europejska Agencja Kosmiczna ESA (*European Space Agency*), którą wspiera Rada Unii Europejskiej oraz wiele konsorcjów naukowych i produkcyjnych, takich jak: Matra-Marconi, Raytheon, CNES, Atrium GmbH, Alcatel, ALENIA i inne.

Bezpośrednie koszty uruchomienia systemu są obecnie oceniane na 4 mld euro, a dalsze nakłady poniesione już przez użytkowników na wyposażenie w terminale i urządzenia współpracujące z systemem Galileo są szacowane na około 10 mld euro.

System nawigacyjny Galileo (rys. 1), określany również SRNS (*Satellite Radio Navigation System*), będzie zawierał segment kosmiczny w postaci konstelacji 30 satelitów oraz segment naziemny, składający się ze stacji sterowania i kontroli oraz terminali użytkowników. System umożliwi określenie pozycji geograficznej, trasy oraz prędkości obiektów na ziemi, w wodzie i w powietrzu. Obiektami mogą być pojazdy drogowe i szynowe, statki śródlądowe i morskie, okręty, samoloty i helikoptery, pociski raketowe, a nawet poszczególni ludzie.

System ten obejmie swym działaniem następujące dziedziny gospodarki i działalności człowieka: transport, ochronę granic, służby socjalne, ratownictwo, wywiad, służby geodezyjne i meteorologiczne oraz znajdowanie ludzi na morzu, w górach i innych terenach.



Rys. 1. Europejski satelitalny system nawigacyjny Galileo

Cywilny zarząd nad eksploatacją oraz utrzymanie systemu na zasadach komercyjnych sprawi, że gwarancje ciągłości dostępu do sygnałów systemu Galileo będą znacznie większe niż w przypadku GPS, ale i tu przewiduje się w warunkach kryzysowych możliwość zawieszenia świadczenia niektórych usług. Odrzucono jednak opinie, popularne zwłaszcza po atakach terrorystycznych na World Trade Centre w Ameryce, że dostęp do systemów nawigacyjnych należy ograniczać ze względu na możliwość posługiwania się nimi przez terrorystów.

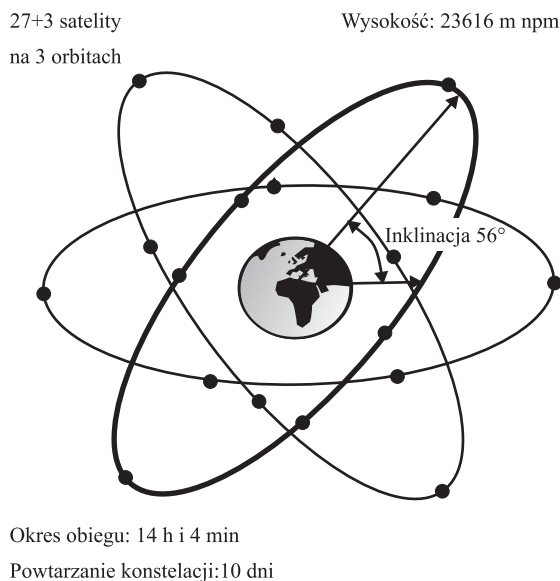
Z politycznego punktu widzenia, system Galileo będzie stanowił przeciwwagę dla amerykańskiego systemu GPS, mimo tego po długich negocjacjach uzgodniono nawiązanie współpracy, umożliwiającej jednoczesne korzystanie z obydwu systemów za pomocą odbiorników dwusystemowych. Przewiduje się również włączenie do współpracy rosyjskiego systemu GLONASS.

System będzie wykorzystywał zaawansowaną technologię światową, a jego podstawą będą sygnały czasu emitowane z satelitów z bardzo wielką precyzją, co umożliwi określenie położenia z dokładnością kilku metrów. Obiekty będą wyposażone w miniaturowe indywidualne odbiorniki (terminale). Poza określeniem pozycji obiektów, sygnały czasu będą wykorzystywane do koordynacji skal czasu, do korekcji źródeł sygnałów wzorcowych czasu i częstotliwości stosowanych między innymi do synchronizacji sieci telekomunikacyjnych oraz teleinformatycznych. Zakłada się, że system ten będzie miał 800 mln użytkowników.

Użytkownik systemu Galileo, mając odbiornik, będzie mógł korzystać w pełni z możliwości stwarzanych przez system, niezależnie od bieżącego ułożenia konstelacji satelitów, tj. w każdej chwili użytkownik będzie znajdował się w zasięgu co najmniej dwóch satelitów, których kąt elewacji (widoczności) będzie większy niż  $25^\circ$ . Dzięki dwuczęstotliwościowemu systemowi lokalizacyjnemu Galileo będzie w stanie dostarczać w czasie rzeczywistym informacje o pozycji z dokładnością do kilku metrów, co jest nieosiągalne przy korzystaniu z istniejących systemów. W ekstremalnych przypadkach użytkownik w ciągu kilku sekund uzyska informacje o uszkodzeniach i wynikających stąd ograniczeniach w świadczeniu usług. Będzie to bardzo istotne w zastosowaniach związanych z bezpieczeństwem, np. podczas biegu pociągów, prowadzenia samochodów czy lądowania samolotów.

Wprowadzenie na orbitę pierwszego eksperymentalnego satelity było przewidziane na początek 2005 r. w ramach budowania stanowiska do testowania systemu (GSTB – *Galileo System Test Bed*). Obecnie jednak podano informację, że pierwszy satelita będzie wyniesiony na orbitę z kosmodromu Bajkonur w końcu 2005 r. Zadaniem tego eksperymentalnego satelity będzie wyznaczenie i testowanie punktów krytycznych zastosowanych technologii oraz potencjalnych miejsc powstawania problemów technicznych. Niektóre z tych zagadnień już są rozwiązane (kontrakty z ESA), natomiast inne dopiero będą rozwiązywane. Kolejne 4 satelity robocze, przewidziane do umieszczenia na orbitach w latach 2005–2006, będą miały za zadanie zweryfikowanie poprawności działania przestrzennych i naziemnych elementów systemu. Pozostałe satelity systemu będą zainstalowane na orbitach do 2008 r., gdy system uzyska pełną zdolność operacyjną (FOC – *Full Operational Capability*).

Po zakończeniu fazy budowy system będzie składał się z 30 satelitów (27 roboczych + 3 aktywnych rezerwowych), okrążających Ziemię na wysokości 23 616 km nad jej powierzchnią (rys. 2). Satelity te będą rozmieszczone na 3 orbitach kołowych (po 10 satelitów na każdej orbicie), leżących na płaszczyznach przechodzących przez środek Ziemi, nachylonych do płaszczyzny równika pod kątem  $56^\circ$ . Dzięki takiemu rozstawieniu satelitów sygnały nawigacyjne systemu będą pokrywały obszar aż do  $75^\circ$  szerokości geograficznej północnej, co na półkuli północnej odpowiada przyładowi Nord Cape w Skandynawii. Okres obiegu satelity dookoła Ziemi będzie wynosił około 14 godzin. Znaczna liczba satelitów łącznie z optymalizacją konstelacji sprawi, że uszkodzenie jednego satelity nie przyniesie znacznego uszczerbku w funkcjonującym systemie, tym niemniej znajdujący się na każdej orbicie satelita rezerwowy może być przesunięty w taki sposób, że zastąpi satelitę uszkodzonego.



Rys. 2. Segment kosmiczny Galileo

Zarządzanie systemem będzie realizowane z dwóch położonych na terenie Europy centrów sterujących (GCC – *Galileo Central Centre*). Dane uzyskane z globalnej sieci, w skład której wejdzie 20 stacji pomiarowych (GSS – *Galileo Sensor Station*), będą przesyłane do centrów przez redundancyjną sieć

telekomunikacyjną. Centra te, na podstawie przetworzonych danych pomiarowych, będą prowadziły synchronizację sygnałów czasu wytwarzanych przez wszystkie wchodzące w skład systemu zegary zarówno naziemne, jak i satelitarne. Dane z centrów GCC do satelitów będą przesyłane przez specjalne, jednokierunkowe stacje. Pięć takich stacji pracujących w pasmie mikrofalowym S oraz dziesięć w pasmie C będzie rozmieszczonych na obszarze całego globu.

System Galileo będzie prowadził zadania poszukiwawcze i ratownicze o zasięgu globalnym. W tym celu każdy satelita będzie wyposażony w transponder, który będzie przekazywał sygnały o nieszczęśliwych zdarzeniach z nadajników użytkowników do koordynacyjnego centrum ratownictwa (RCC). Centrum to będzie inicjować operacje ratownicze. W tym czasie system będzie przysyłał do użytkownika aktualizowane informacje dotyczące monitorowania zagrożonego obiektu i rozpoczęcia akcji ratunkowej. Jest to jakościowo nowa cecha systemu, gdyż obecne systemy ratownicze nie umożliwiają przesyłania informacji zwrotnej.

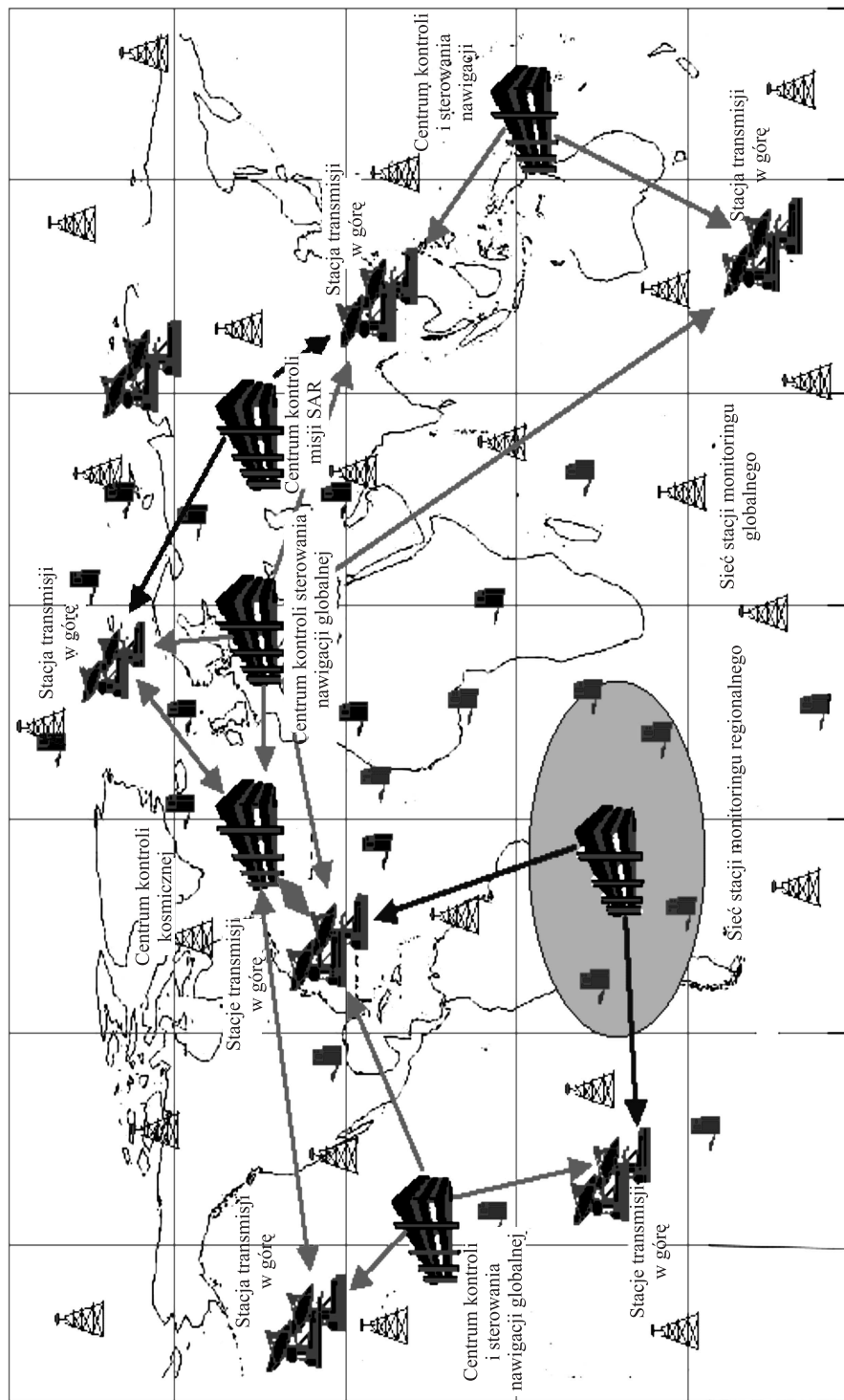
**Tabl. 1. Parametry systemu Galileo**

Parametry	Dostęp do zastosowań naukowych i profesjonalnych	Dostęp do zastosowań strategicznych i ratownictwa
Masa satelity	650 kg	
Pobór mocy	1599 W	
Dokładność pomiaru położenia w poziomie	7 m	6 m
Dokładność pomiaru w pionie (75°S – 75°N)	12 m	8 m
Dokładność pomiaru w pionie (90°S – 90°N)	15 m	8 m
Dokładność pomiaru prędkości	< 0,20 m/s	< 0,20 m/s
Dokładność sygnałów czasu	< 100 ns	< 100 ns
Dostępność	99%	99%
Wyposażenie satelitów	2 zegary satelitarne, wzorzec rubidowy, mazer wodorowy, wzmacniacz mocy (na AsGa), multiplekser, antena nawigacyjna, transpondery: nawigacyjne, telemetryczne, SAR	

W tabelicy 1 zestawiono ważniejsze parametry systemu Galileo istotne w zastosowaniach naukowych i profesjonalnych oraz strategicznych i ratownictwa.

## Struktura naziemna Galileo i wymiana informacji z segmentem kosmicznym

W skład części naziemnej Galileo będą wchodzić między innymi: centra kontroli i sterowania nawigacji globalnej (GNCC – *Global Navigation Control Centre*) (rys. 3), centrum kontroli kosmicznej w Europie (SCC – *Space Control Centre*), centrum kontroli misji SAR (SMCC – *SAR Mission Control Centre*) oraz stacje transmisji sygnałów do satelitów, tj. w górę (ULS – *Up Link Station*) (8 na świecie).

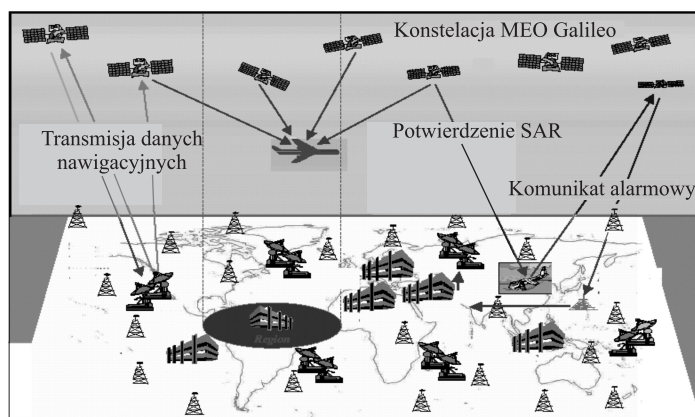


Rys. 3. Dystrybucja strumieni w naziemnym sektorze systemu Galileo [36]



Wszystkie obiekty naziemne będą połączone sieciami monitoringu regionalnego (RMS – *Regional Monitoring Station*) i globalnego (GMS – *Global Monitoring Station*) (30 stacji na świecie).

Centrum kontroli i sterowania nawigacji globalnej GNCC będzie synchronizować orbity satelitów, integrować globalnie zadania i sterować misją globalnej nawigacji. Zadaniem centrum kontroli kosmicznej SCC będzie monitorowanie oraz sterowanie segmentem kosmicznym i konstelacją. Centrum kontroli misji SAR-SMCC będzie sterować akcją ratunkową od momentu przyjęcia sygnału alarmowego, przez wysłanie komunikatu o przyjęciu alarmu, aż do jej zakończenia. Stacje monitoringu globalnego GMS mają monitorować sygnały z przestrzeni kosmicznej, dochodzące z systemu Galileo i GPS. Stacje transmisji sygnałów do satelitów ULS, tj. w górę, będą pełniły rolę interfejsów segmentu naziemnego z kosmicznym, sterując misjami regionalnymi i globalnymi segmentu naziemnego oraz misją SAR. Zadaniem ULS będzie również integracja komunikatów nawigacyjnych wysyłanych do satelitów.



Rys. 4. Dystrybucja strumieni między urządzeniami naziemnymi, użytkownikiem i satelitami systemu Galileo [36]

Dystrybucje sygnałów (strumieni) między europejskimi i pozaeuropejskimi strukturami naziemnymi Galileo, użytkownikami i segmentem kosmicznym przedstawiono na rys. 3 i 4.

## Usługi dostępne w systemie Galileo

Zasady świadczenia usług będą w systemie Galileo zróżnicowane pod względem dostępności, gwarantowanego poziomu niezawodności oraz opłat. Przewiduje się uruchomienie kilku podstawowych rodzajów usług.

**Usługi ogólnodostępne OS** (*Open Service*) będą przeznaczone dla odbiorcy powszechnego. Będą obejmować bezpłatne udostępnianie sygnałów czasu oraz możliwość określenia pozycji użytkownika. Dostęp do tych usług nie będzie wiązał się z autoryzacją użytkownika, podobnie jak obecnie GPS i tak jak on będzie podlegać rozszerzeniu. W zastosowaniach nie wymagających zbyt dużej dokładności będą mogły być używane nawet tanie, jednoczęstotliwościowe odbiorniki. W większości zastosowań będzie jednak stosowane połączenie sygnałów Galileo i GPS, co usprawni jakość usług w obszarach o utrudnionych warunkach propagacyjnych, takich jak chociażby duże zespoły miejskie. Usługi ogólnodostępne OS nie będą miały wsparcia informatycznego systemu, a jakość wykorzystywanych

sygnałów będzie określana przez algorytmy wprowadzone do odbiornika (terminalu). Ponadto nie będą objęte gwarancją i ochroną prawną operatora systemu (GOC – *Galileo Operating Company*).

**Usługi ubezpieczające życie SoLS** (*Safed-of-Life*) będą przeznaczone do tych zastosowań komunikacyjnych, w których życie ludzkie może być zagrożone w przypadku określenia pozycji w czasie rzeczywistym z niedostateczną dokładnością. Usługa ta będzie miała tę samą dokładność określenia czasu i pozycji co usługa OS, przy ogólnosiwiatowym, wysokim poziomie zintegrowania systemu, z uwzględnieniem potrzeb bezpieczeństwa kryzysowego: w żegludze, lotnictwie czy transporcie kolejowym. Usługi te spowodują wzrost bezpieczeństwa szczególnie tam, gdzie nie ma jeszcze tradycyjnej infrastruktury dla tego typu usług. Usługi SoLS będą certyfikowane i ich prowadzenie będzie upoważniało do uzyskania certyfikatu na dwuczęstotliwościowy odbiornik. W takim to, dość ograniczonym zakresie, operator GOC będzie gwarantem dostępności usług SoLS. W celu uzyskania wymaganego poziomu ochrony wykorzystywanych sygnałów radiowych dla systemu SoLS będą udostępnione pasma częstotliwości (L1 i E5) lotniczych służb nawigacyjnych (*Aeronautical Radio-Navigation Services*). Odbiorniki nawigacyjne będą opracowane przez firmy: Raytheon Systems Ltd., Roke Manor Research, Leads University i Helios Technology. System świadczenia usług SoLS będzie zintegrowany z precyzyjnym systemem pomiaru wysokości samolotów (HME – *Height Monitoring Equipment*).

**Usługi komercyjne CS** (*Commercial Service*), przewidziane do przesyłania danych o znaczeniu handlowym i informacyjnym oraz kolportowania reklam o towarach i usługach, będą płatne. Świadczeniem tych usług będą zajmowali się dostawcy usług (*providers*), którzy będą pośrednikami między użytkownikami a operatorem GOC. Usługi będą wymagały dwóch sygnałów, do których prawo (od operatora GOC) będą nabywali dostawcy. Informacje przesyłane przez parę sygnałów będą chronione komercyjnymi metodami kryptologicznymi. Ochroną tajemnicy korespondencji będą zarządzali początkowo dostawcy usług, natomiast później prawdopodobnie agendy operatora systemu GOC. Dostęp do usług będzie kontrolowany na poziomie odbiornika za pomocą dostępowych kluczy ochronnych. Szeroki zakres usług będzie realizowany przez systemy szerokopasmowego przesyłania danych, w dużym stopniu za pośrednictwem systemów rozsiewczych. Rozwój komercyjnych zastosowań z użyciem wyłącznie komercyjnych sygnałów lub w połączeniu z innymi sygnałami przesyłanymi przez system Galileo albo inne zewnętrzne systemy komunikacyjne stwarza liczne możliwości świadczenia nowych usług o ogólnosiwiatowym zasięgu. Jako przykład można podać wyznaczanie lokalnych poprawek korekcyjnych dla systemów wyznaczania pozycji z największą dokładnością, stosowanych w geodezji.

**Usługi na rzecz służb publicznych PRS** (*Public Regulated Service*) będą przeznaczone dla służb podległych administracjom rządowym, takich jak: policja, straż pożarna, ratownictwo medyczne, wojsko (z wyłączeniem dowodzenia operacyjnego) i służby celne. Będą one np. zastosowane do nadzoru nad: transportem odpadów nuklearnych, poborem opłat drogowych lub kontrolą celną. Organa cywilne (rządowe) będą nadzorowały dostęp do kodowanych usług PRS. Dostęp regionalnych grup użytkowników będą regulować ustalone w Europie zasady i będzie on nadzorowany przez policyjne służby bezpieczeństwa. Usługi PRS będą świadczone w każdym czasie i we wszystkich okolicznościach – szczególnie w czasie kryzysu, kiedy inne usługi mogą być zablokowane, dlatego od strony technicznej będą odseparowane od innych usług, co ma je chronić przed zablokowaniem lub unieruchomieniem.

**Usługa poszukiwania i ratowania ludzi lub zagrożonych obiektów SAR** (*Search and Rescue*) będzie jedną z ważniejszych i przyczyni się do zacieśnienia współpracy międzynarodowej na rzecz ratowania życia ludzkiego. System ten umożliwi przesyłanie w czasie rzeczywistym wiadomości o zagrożeniu i – dzięki pomiarom z wielu satelitów – określenie z kilkumetrową dokładnością miejsca, z którego był nadany sygnał alarmowy. Zastosowanie wielodrożnych systemów telekomunikacyjnych

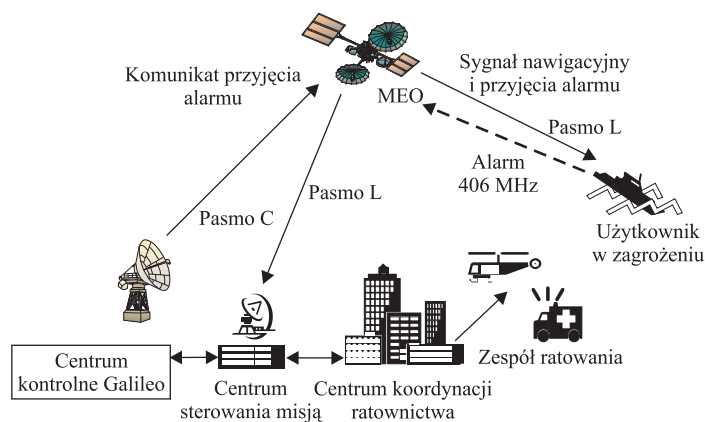


(30 satelitów na średnich orbitach, 4 satelity na niskich orbitach i 3 stacjonarne satelity w obecnych systemach Cospas-Sarsat) wyeliminuje opóźnienia w przesyłaniu wiadomości, wynikające ze spiętrzenia lub zablokowania serwerów (obecnie opóźnienia dochodzą do jednej godziny), a uzyskanie zwrotnej informacji w miejscu inicjowania alarmu usprawni działania ratownicze i jednocześnie zmniejszy liczbę fałszywych alarmów.

## System poszukiwania i ratowania SAR Galileo

System SAR, zaprojektowany do współpracy z istniejącymi służbami ratownictwa Cospas-Sarsat i Inmarsat D+. Cospas, jest rosyjskim programem ratownictwa statków na morzu, natomiast Sarsat – programem amerykańsko-kanadyjsko-francuskim. Oba wymienione programy połączono po podpisaniu w 1988 r. w Paryżu porozumienia o długotrwałej współpracy, przede wszystkim IMO i CIAO (*International Maritime Organization, Civil Aviation Organization*), dotyczącego wykorzystania radiolatarni ratunkowych pracujących na częstotliwościach 406 i 121,5 MHz. W skład systemu Cospas-Sarsat wchodziło: 6 satelitów umieszczonych na niskich orbitach (LEO), 3 satelity stacjonarne (GEO), 48 stacji naziemnych do odbioru i przetwarzania sygnałów alarmowych oraz 24 centrów kontroli misji (MCC). Inmarsat, wykorzystujący satelity geostacjonarne, wprowadził wiele usług, zapewniających bezpieczeństwo na morzu.

W systemie poszukiwania i ratowania SAR satelity systemu Galileo będą wyposażone w transponder do transferu sygnałów alarmowych od nadajników użytkowników (radiolatarni) do centrów koordynacyjnych ratownictwa (*Cospas-Sarsat System Mission Control Center & Rescue Coordination Center*), które zainicjują akcję ratunkową, a następnie powiadomią o tym użytkownika. Schemat poglądowy systemu SAR Galileo przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. System poszukiwania i ratowania SAR Galileo

Działanie systemu SAR jest następujące. W przypadku zagrożenia użytkownik aktywizuje radiolatarnię alarmową zintegrowaną z odbiornikiem nawigacyjnym. Każdy z satelitów Galileo jest wyposażony w odbiornik połączony z nadajnikiem retransmitującym odebrane sygnały alarmowe w dół do naziemnych stacji ratownictwa. Sygnał alarmowy, po odebraniu i zweryfikowaniu w sieci SAR, inicjuje akcję ratunkową, o czym informuje użytkownika za pośrednictwem komunikatu.

System SAR ma wiele zalet, takich jak:

- całkowita kompatybilność z systemem Cospas-Sarsat;
- ulepszenie istniejącego systemu śledzenia;
- poprawa widoczności większej liczby satelitów;
- większa wykrywalność sygnału alarmu i w krótszym czasie (praktycznie quasi-rzeczywistym);
- zwiększenie dokładności lokalizacji obiektu alarmującego;
- wprowadzenie nowych służb, np. uruchomienie połączenia zwrotnego (*downlink*);
- korzystanie z taniego sprzętu SAR, jakim jest nadajnik alarmowy, współpracujący z odbiornikami Galileo.

**Tabl. 2. Podstawowe parametry systemu SAR Galileo**

Parametry	Wartości
Pojemność	Możliwość przekazywania, przez każdego satelitę, sygnałów alarmowych jednocześnie z 150 nadajników ratunkowych
Prawdopodobieństwo detekcji	Odbiór komunikatu o przyjęciu alarmu w czasie < 5 min z prawdopodobieństwem > 99%
Błąd lokalizacji	Odbiór komunikatu o przyjęciu alarmu przy błędzie odległości < 5 km z prawdopodobieństwem > 99%
Szybkość bitowa komunikatów	6 komunikatów z szybkością transmisji każdego 100 bit/min
Dostępność	99,8%
Wyposażenie satelitów Galileo w systemie SAR	Poza wyposażeniem standardowym: – nadajnik (Tx) SAR w pasmie L, – odbiornik (Rx) SAR w pasmie UKF (406 MHz)

Podstawowe parametry systemu SAR Galileo zamieszczono w tablicy 2.

## Wykorzystywane pasma częstotliwości

Łącznie w systemie Galileo będzie wykorzystywanych dziesięć sygnałów: sześć – do usług o charakterze otwartym, tj. OS i SoLS (część z tych sygnałów może być przeznaczona również do świadczenia usług komercyjnych CS), dwa – wyłącznie do usług komercyjnych CS i dwa – do usług PRS. Sygnały te mogą być nadawane w niżej podanych pasmach częstotliwości, przyznanych na Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej WRC-2000 w Stambule dla radiowych nawigacyjnych systemów satelitalnych (RNSS):

- E5A ÷ E5B, 1164 ÷ 1215 MHz;
- E6, 1260 ÷ 1300 MHz;
- E2 ÷ L1 ÷ E1, 1559 ÷ 1591 MHz; już jest używane przez GPS; wspólne wykorzystanie pasma będzie odbywało się na zasadach bezinterferencyjnych i nie powinno powodować wzajemnych zakłóceń, natomiast znacznie zmniejszy się koszt przystosowania odbiorników do nowych funkcji;
- C, 5010 ÷ 5030 MHz.

Źródłem zasilania dla urządzeń pokładowych satelitów będą baterie słoneczne, dlatego będzie istotne precyzyjne zorientowanie przestrzenne satelitów względem Słońca. Szczytowa moc nadawanych sygnałów będzie dochodziła do 1500 W.

## System EGNOS

System EGNOS (*European Geostacionary Navigation Overlay Service*) jest pierwszym europejskim systemem przeznaczonym do nawigacji z wykorzystaniem sygnałów emitowanych z satelitów. Umożliwia on rozszerzenie działania systemów GPS oraz GLONASS, zapewniając bezpieczeństwo w czasie korzystania z nich w krytycznych warunkach, takich jak loty samolotów czy przepływanie statków w wąskich kanałach. Docelowo system będzie składał się z trzech geostacionarnych satelitów, tj. IOR-W(25°), AOR (15,5°), Artemis (21,5E°), a także sieci stacji naziemnych. Pełne wdrożenie systemu do eksploatacji umożliwi użytkownikom korzystanie z sygnałów odpowiadających niezawodnością i dokładnością sygnałom wysyłanym przez GPS lub GLONASS, a ponadto zwiększy dokładność określenia pozycji z 20 m do 2 m [8, 12].

W tablicy 3 przedstawiono najważniejsze parametry systemu EGNOS.

**Tabl. 3. Parametry systemu EGNOS**

Parametry	Wartości
Pokrycie	Europa, rejon Morza Śródziemnego i Afryka
Retransmisja sygnałów	GPS i GLONASS
Dokładność namierzania pozycji	2–5 m w poziomie; 1 m w pionie
Czas integracji alarmu	6 s
Kompatybilność (również sprzętu)	EGNOS z GPS, w tym anten i odbiorników
Liczba stacji monitorujących i referencyjnych (RAIMS)	34
Liczba nawigacyjnych stacji naziemnych (NLES)	6
Liczba centrów misji (MCC)	4
Częstotliwość sygnału	1572,42 MHz (jak GPS)
Kierunki rozszerzenia współpracy	GSM/GPRS, internet

System EGNOS jest wspólnym projektem ESA i EC (*European Commission*) oraz europejskiej organizacji ds. bezpieczeństwa nawigacji powietrznej (*European Organisation for the Safety of Air Navigation*). Stanowi on pierwszy wkład do realizacji satelitarnego systemu nawigacyjnego o zasięgu globalnym, jakim jest Galileo. Pełną operatywność EGNOS osiągnie w 2005 r. [12], a do tego czasu, do prowadzenia prób przez potencjalnych użytkowników, sygnał testowy będzie osiągalny z satelitów Inmarsat.

Polska również bierze udział w realizacji systemu EGNOS, a mianowicie w Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie uruchomiono w dniu 27 sierpnia 2004 r. stację RAIMS (*Ranging and Integrity Monitoring Station*). Jest ona elementem sieci stacji referencyjnych w całej Europie dla systemu nawigacyjnego EGNOS. Stacja ta ma duże znaczenie dla eksploatacji tego systemu w Europie Wschodniej, a dla Polski taka kooperacja stanowi duży krok w kierunku

rozwoju technologii stosowanych w technice satelitarnej. Niesie też wiele potencjalnych korzyści dla przemysłu lotniczego, rolnictwa i geodezji, np. służy do ewidencjonowania obszarów gruntów. Informacja w tej sprawie ukazała się na stronie internetowej ESA [8].

## Podsumowanie

Powstanie satelitalnego systemu nawigacyjnego o zasięgu globalnym, nie licząc GPS i wyizolowanego wciąż systemu GLONASS, zwiększy gwarancje ciągłości dostępu do sygnałów systemów nawigacyjnych, umożliwiając ich powszechniejsze wykorzystanie do lokalizacji i synchronizacji systemów telekomunikacyjnych. Dotychczas panowało przekonanie, że stosowanie militarnego systemu GPS do synchronizacji sieci telekomunikacyjnych jako podstawowego źródła sygnału referencyjnego wiązało się z ryzykiem utraty sygnału lub degradacji jego dokładności na skutek celowych działań administracji Stanów Zjednoczonych, chroniącej w pierwszej kolejności istotne interesy własnego kraju. Wielką nadzieją napawają zatem wszelkie działania, zmierzające do uruchomienia systemu Galileo, który będzie własnością władz cywilnych i przez nie będzie administrowany.

Programy określające zakresy prac niezbędnych do uruchomienia i wdrożenia do eksploatacji systemu Galileo są jeszcze w fazie ustaleń, mogą więc ulec zmianie, podobnie jak zakres świadczonych usług. Zmienia się też, podawany do publicznej wiadomości, kosztorys przedsięwzięcia.

Rozpatrując kwestie budowy systemu Galileo, jeszcze raz należy przeanalizować zagadnienia lokalizacji aparatu komórkowego, z którego zostało przekazane wywołanie alarmowe. Wciąż nie wiadomo, jak będzie wyglądał terminal użytkowników systemu Galileo, określany w opisach systemu jako odbiornik. Wydaje się, że podstawowym wyposażeniem użytkownika będzie odbiornik z nadajnikiem alarmowym sygnału 406 MHz, przekazywanego bezpośrednio do satelitów systemu, wykorzystywany jednak tylko do celów alarmowych. Pozostała łączność w kierunku do satelitów będzie realizowana za pomocą tradycyjnych systemów telefonii stacjonarnej i komórkowej oraz sieci teleinformatycznych, a dopiero w ostatniej fazie dane te będą przesyłane do satelitów za pośrednictwem wyspecjalizowanych stacji naziemnych.

Obecnie trwa rywalizacja między kilku firmami, pracującymi nad miniaturyzacją i energooszczędnością telefonów komórkowych wyposażonych w odbiornik GPS. Zebrane przy tym doświadczenia będą wykorzystane do zastąpienia odbiornika GPS odbiornikiem systemu Galileo lub przyczynią się do zbudowania odbiorników dwu- a nawet trzysystemowych, uwzględniając również zmodernizowany system GLONASS.

Równolegle będą rozwijane odbiorniki samochodowe, o mniejszych wymaganiach odnośnie do miniaturyzacji i zasilania, wyposażone w większe wyświetlacze, które w połączeniu z komputerem pokładowym umożliwią nawigację, nawet w warunkach gęstej zabudowy miejskiej.

Nie wiadomo jeszcze, jakim rygorom będzie podlegało wyposażanie odbiorników (terminali) w nadajniki sygnału alarmowego 406 MHz, współpracujące z systemem ratowniczym SAR, co wpłynie na stopień upowszechnienia tej usługi.

Polska aktywnie włączyła się do współpracy w realizację systemu Galileo: uruchomiono w CBK PAN stację RAIMS systemu EGNOS, powstał Polski Punkt Informacyjny Galileo, są organizowane konkursy, konferencje oraz warsztaty na temat GPS, EGNOS i Galileo. Nawiązano też współpracę z francuską firmą FDC (*France Développement Conceil*), która spodziewa się, że zostanie dystrybutorem sygnału referencyjnego częstotliwości standardowej, wytworzonego w systemie Galileo. Instytut Łączności wykorzystuje system GPS i metodę *Common View* do śledzenia stabilności wzorców atomowych

oraz tworzenia europejskiej i światowej skali czasu. Uczestniczy również uczestniczy w pracach przygotowawczych nad realizacją programów (kierowanych przez ESA oraz komisje UE), podjętych przez PAN.

Rekapitulując, można stwierdzić, że system Galileo będzie lepszy od GPS i innych systemów nawigacyjnych, ponieważ zapewni większą szybkość transmisji (umożliwiając wprowadzenie efektywnej usługi poszukiwawczo-ratowniczej SAR), szersze pasmo częstotliwości zwiększy dokładność pomiarów pozycyjnych, a nieco większa moc nadajników poprawi odbiór sygnałów wewnątrz obiektów. Ponadto system ten poprawi, integralność, niezawodność i dostępność usług nawigacyjnych.

## Bibliografia

- [1] Arinc Research Corporation: *Draft Proposed Interface Revision Notice (DPIRN) to ICD-GPS-200C*, December 2000, [http://www.peterson.af.mil/usspace/gps\\_support/documents/ICD-GPS-200C](http://www.peterson.af.mil/usspace/gps_support/documents/ICD-GPS-200C)
- [2] Arinc Research Corporation: *ICD-GPS-200C: Navstar GPS space segment/navigation user interfaces*, [http://www.peterson.af.mil/usspace/gps\\_support/documents/ICD-GPS-200C](http://www.peterson.af.mil/usspace/gps_support/documents/ICD-GPS-200C)
- [3] Bedrich S.: *Hochgenaue satellitengestützte Zeitübertragung mit PRARE*. Scientific Report STR98/24. GeoForschungZentrum Potsdam, 1998
- [4] Benedicto J., Danvidy S. E., Gatti G.: *Galileo – Satellite System Design and Technology Developments*. ESA, November 2000
- [5] Bert J.: *The offset carrier modulation for GPS modernization*. W: *Proc. of ION 1999*, National Technical Meeting, San Diego, USA, January 1999
- [6] *Development of systems for Europe's global navigation satellite system, Galileo – 21 century navigation system*, 2002, <http://www.roke.co.uk/download/datasheet.asp>
- [7] ESA: *About ESTB*, [http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/esaEG/ASEF39UG0SC\\_estb\\_0.html](http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/esaEG/ASEF39UG0SC_estb_0.html)
- [8] ESA: *EGNOS for professional*. Last update: December 2003, <http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/egnos.pro.htmE> ([http://www.esa.int/esaNA/GGGYC650NDC\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/GGGYC650NDC_index_0.html))
- [9] ESA: *SISNeT*, <http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/sisnet/sisnet.htm>
- [10] ESA: *SISNeT (signal in space through the Internet), signals used by SISNeT*, <http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/sisnet/About%20Sisnet.htm>
- [11] ESA: *Strona główna ESA*, <http://www.esa.int/navigation1>
- [12] ESA: *What is EGNOS?* Last update: October 2004, [http://www.esa.int/esaNA/GGG63950NDC\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/GGG63950NDC_index_0.html)
- [13] Forrest W.: *Galileo. Thales ATM 40th CGSIC*, Portland, USA, September 2002, <http://www.navcen.uscg.gov/cgsic/meetings/summaryrpts/40thmeeting/27ForrestGalileo40Pres.ppt>
- [14] *Galileo, Europe's global satellite navigation system, in the making*. W: *The Asian GIS Portal*, <http://www.gisdevelopment.net/news/2001/jan/galileo.htm>
- [15] *Galileo support to the search and rescue programme (SAR/Galileo). Refinement of maritime users needs*. Brussels, December 2002, <http://www.nlr.nl/nin/SAR1.ppt>
- [16] Garcia M. J., Erhard P, Godet J.: *GPS/Galileo interference study*. W: *Proc. of ENC-GNSS 2002*, Copenhagen, Denmark, May 2002

- [17] *Global positioning system – standard positioning service – signal specification*, June 1995, [http://www.peterson.af.mil/vsspace/gps\\_support/documents/Spsmain](http://www.peterson.af.mil/vsspace/gps_support/documents/Spsmain)
- [18] Godet J., de Mateo J. C., Erhard P., Nouyel O.: *Assessing the radio frequency compatibility between GPS and Galileo*. W: *Proc. of ION GPS 2002*, Portland, USA, September 2002
- [19] Guenter W., Godet J., Issler J. L., Martin J. C., Erhard P. R., Lucas-Rodriguez R., Pratt T.: *Status of Galileo frequency and signal design. The Galileo signal task force of the European Commission*. Brussels, 2002, [http://ivvgeo.unimuenster.de/Vorlesung/GPS\\_Script/kapitel7/galileo\\_frequencies\\_2002.pdf](http://ivvgeo.unimuenster.de/Vorlesung/GPS_Script/kapitel7/galileo_frequencies_2002.pdf)
- [20] Hein G. W., Godet J., Issler J.-L., Martin J.-C., Lucas-Rodriguez R., Pratt T.: *The Galileo frequency structure and signal design*. W: *Proc. of ION GPS 2001*, Salt Lake City, USA, September 2001, s. 1273–1282
- [21] ITU-R: *Handbook on Selection and Use of Precise Frequency and Time Systems*, Subscription Circular, no. 222, Geneva, May 1997
- [22] ITU-R Recommendations, TF Series: *Time Signals and Frequency Standards Emissions*
- [23] Lewandowski W., Azoubib J., Klepczyński W.: *GPS: Primary tool for time transfer*. Proc. of the IEEE, vol. 87, no. 1, 1999
- [24] Lewandowski W., Thomas C.: *GPS time transfer*. Proc. of the IEEE, vol. 79, no. 7, 1991
- [25] Martin J. C.: *A software receiver for GPS IIF-L5 signal*. W: *Proc. of ION GPS 2002*, Portland, USA, September 2002
- [26] *News Alcatel Space*. Red. S. Bielecki, October 2001, [www.alcatel.com/space/pdf/news/letters/october\\_2001.pdf](http://www.alcatel.com/space/pdf/news/letters/october_2001.pdf)
- [27] O’Neil K.: *Galileo – European satellite navigation system*. Advanced Aviation Technology, <http://www.aatl.net>
- [28] Pacal Campagne.: *Galileo services*. Origin Workshop, February 2001, [http://www.fdc.fr/oregin/workshop/Galileo\\_Services\\_P\\_CAMPAGNE.pdf](http://www.fdc.fr/oregin/workshop/Galileo_Services_P_CAMPAGNE.pdf)
- [29] Palacios M., Blesa F., Calvo C.: *Improving geostationary orbits by the TWSTFT*. Experience Grupo de Mecánica Espacial. Dept. Matemática Aplicada Universidad de Zaragoza, 2003, [http://gme.unizar.es/docum/01PalBC\\_03\\_jaca.pdf](http://gme.unizar.es/docum/01PalBC_03_jaca.pdf)
- [30] Pany T., Irsigler M., Eissfeller B., Winkel J.: *Code and carrier phase tracking performance of a future Galileo RTK receiver*. W: *Proc. of ENC-GNSS 2002*, Copenhagen, Denmark, May 2002
- [31] Ries L., Lestarquit L., Erhard P., Legrand F., Maccabiau C., Jeandel Q., Bourgat C.: *Software simulation tools for GNSS2 BOC signal analysis*. W: *Proc. of ION GPS 2002*, Portland, USA, September 2002
- [32] Spilker J.: *GPS signal structure and theoretical performance*. W: Parkinson W., Spilker J.: *GPS Positioning System Theory and Applications*, vol. 1, Progress in Astronautics and Aeronautics, vol. 163, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996
- [33] Squire, Sanders, Dempsey L. L. P.: *The Galileo satellite navigation system*, Brussels, June 2003, <http://www.ssd.com/newsletter/Communications/062003/Galileo.pdf>
- [34] *State policy on GLONASS civil use*, [http://www.europa.eu.int/comm/space/russia/activities/docs/moscow\\_anfmov\\_galileo.pdf](http://www.europa.eu.int/comm/space/russia/activities/docs/moscow_anfmov_galileo.pdf)
- [35] Torán F., Traveset J. V.: *SISNeT user interface document*. ESA-GNSS-1, Project Office, May 2002, [http://t2esamulti.r3h.net/docs/egnos/estb/Publications/SISNET/SISNET\\_UID\\_2.1.pdf](http://t2esamulti.r3h.net/docs/egnos/estb/Publications/SISNET/SISNET_UID_2.1.pdf)



- [36] Weber T.: *Das Europäische Satellitennavigationssystem Galileo-Konzepte und Stand der Systemdefinition*. Astrium GmbH, München, Int. Mitt. DVW Bayern, 2002, <http://www.gps-netz.at/Galileo-GALA-System&Architecture.pdf>
- [37] Winkel J.: *Modeling and simulating generic GNSS signal structures and receiver in a multipath environment*. Ph.D. thesis, University FAF Munich, Neubiberg, 2002
- [38] Wormley S.: *Global positioning system (GPS) resources at ISU*. Educational Observatory Institute Inc. Updated February 2004, <http://www.edu-observatory.org/gps/gps.html>

### Andrzej Stachnik



Mgr inż. Andrzej Stachnik (1944) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1968); długoletni pracownik naukowy Instytutu Łączności w Warszawie (od 1968); autor licznych publikacji naukowych; współautor wielu patentów; zainteresowania naukowe: systemy przesyłania sygnałów wzorcowych częstotliwości i czasu, synchronizacja sieci telekomunikacyjnych.

e-mail: A.Stachnik@itl.waw.pl

### Wojciech Skonieczny



Mgr inż. Wojciech Skonieczny (1935) – absolwent Wydziału Łączności Politechniki Warszawskiej (1961); długoletni pracownik naukowy Instytutu Łączności w Warszawie (od 1955); zainteresowania naukowe: badania jonosferyczne, zagadnienia propagacji mikrofal i wpływu parametrów meteorologicznych na tę propagację, synchronizacja urządzeń transmisyjnych i centralowych (szczególnie w systemach SDH), technika sieci ATM.

e-mail: redakcja@itl.waw.pl