

# EGNOS: KU WSCH

Antonio Tajani, unijny komisarz ds. transportu, 1 października 2009 r. ogłosił dostępność Serwisu Otwartego EGNOS. Mieszkańcy naszego kontynentu zyskują tym samym swobodny, bezpłatny dostęp do systemu wspomagania satelitarnego.

MARTA KRYWANIS

Zbudowanie darmowego, światowego systemu nawigacji satelitarnej (GNSS) jest kwestią najbliższych lat. Ponieważ parametry GPS i GLONASS nie są w stanie sprostać oczekiwaniom niektórych aplikacji związanych z bezpieczeństwem i zarządzaniem kryzysowym, rozwijane są systemy wspomagania, np. EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). EGNOS, który pierwotnie miał zastąpić w nawigacji przybrzeżnej stacje nadające poprawkę DGPS przez nadajniki UKF, stał się jednocześnie pierwszym krokiem ku Galileo – europejskiemu odpowiednikowi GPS.

GNSS-1 – zapoczątkowany w 1995 roku i opracowany przez specjalistów z ICAO/GNSS (International Civil Aviation Organization/Global Navigation Satellite System) – był zaplanowany jako system pierwszej generacji, oparty na sygnałach GPS, GLONASS i europejskim cywilnym systemie wspomagania satelitarnego EGNOS. Koncepcja EGNOS zakłada eliminację „niedomagań” GPS i GLONASS poprzez zwielokrotnienie źródeł informacji pozycyjnej, zapewnienie nieprzerwanego dopływu danych korekcyjnych oraz możliwość stałego monitorowania jakości danych pozycyjnych. Zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Organizacji Lotnictwa Cywilnego (ICAO), postanowiono nie czekać na

## PARAMETRY SYSTEMU

- **Ciągłość** – prawdopodobieństwo, że system będzie dostarczał prawidłowych danych przez okres trwania zaplanowanej operacji.
- **Dokładność** – miara błędu wyznaczenia pozycji użytkownika. Jest to różnica pomiędzy pozycją „prawdziwą” a pomierzoną – z reguły wyznaczana z 95% pomiarów (o rozkładzie normalnym).
- **Dostępność** – prawdopodobieństwo poprawnej pracy systemu w dowolnym momencie (system musi gwarantować wymaganą dokładność, ciągłość i wiarygodność). Inaczej mówiąc, jest to procent czasu, w którym poziom bezpieczeństwa (PL) jest mniejszy niż limit alarmu (AL).
- **Wiarygodność** – miara zaufania do poprawności informacji dostarczanych przez system. Błąd między pozycją prawdziwą a wyznaczaną jest mniejszy niż poziom bezpieczeństwa. Określa również zdolność do ostrzeżenia użytkownika (w odpowiednio krótkim czasie) o nieprawidłowym działaniu systemu.

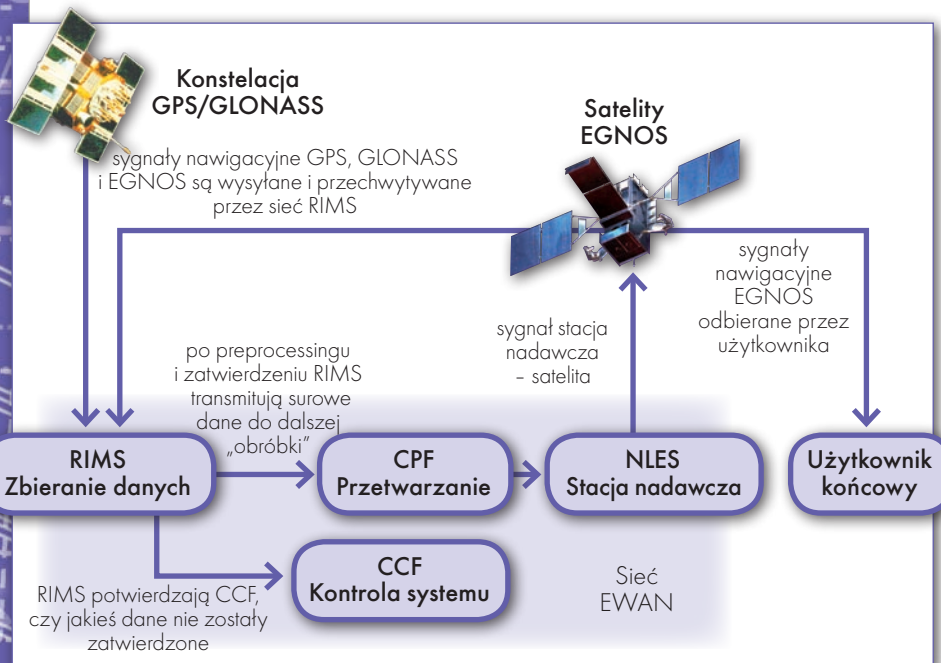
Galileo, lecz zaczęto wdrażać systemy regionalne rozszerzające GPS. W USA Federalny Urząd Lotnictwa zlecił opracowanie systemu o szerokim zasięgu WAAS, natomiast Japonia we współpracy z przemysłem europejskim opracowuje system różnicowy MSAS wykorzystujący satelity MTSAT.

## ● BUDOWA EGNOS

EGNOS składa się z trzech głównych segmentów: kosmicznego, naziemnego i użytkownika. Segment kosmiczny wykorzystuje trzy satelity geostacyjne:

- INMARSAT III Wschodni Rejon Oceanu Atlantyckiego (PRN 120),
- INMARSAT III Region Oceanu Indyjskiego (PRN 126),
- ESA ARTEMIS (PRN 124).

Konstelacja ta gwarantuje podwójne pokrycie kontynentu europejskiego sygnałami wspomagającymi, a potrójne – dla prawie wszystkich europejskich rejonów lądowych, na których wymagania nawigacyjne stawiane systemowi są największe.

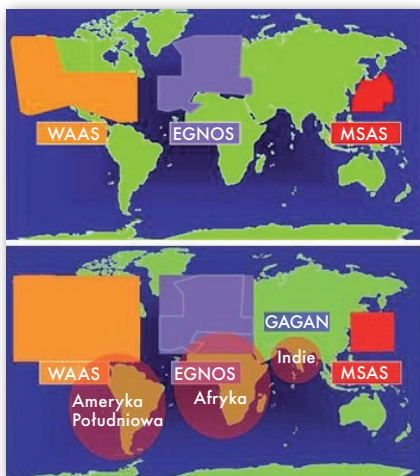


Rys. 1. Zasada działania EGNOS

## ODNIEJ EUROPIE

**TAB. 1. LOKALIZACJA RIMS**

Kod	Lokalizacja	Kraj
ALB	Aalborg	Dania
ACR	Azory	Portugalia
AUS	Aussaguel	Francja
BRN	Berlin	Niemcy
CIA	Ciampino	Włochy
CNR	Wyspy Kanaryjskie	Hiszpania
CTN	Katania	Włochy
CRK	Cork	Irlandia
DAB	El Daba	Egipt
DJA	Dżerba	Tunezja
EGI	Egilstadir	Islandia
GVL	Gavle	Szwecja
GLG	Glasgow	Wlk. Brytania
GOL	Golbasi	Turcja
HBK	Hartebeeshoek	RPA
KIR	Kirkenes	Norwegia
KOU	Kourou	Francja
LAP	Lappeenranta	Finlandia
LSB	Lizbona	Portugalia
MAD	Madera	Portugalia
MLG	Malaga	Hiszpania
MON	Moncton	Kanada
NDH	Nouakchott	Mauretania
PDM	Palma	Hiszpania
PAR	Paryż	Francja
RKK	Rejkiawik	Islandia
SDC	Santiago de Comp.	Hiszpania
SOF	Sofia	Bułgaria
SWA	Swanwick	Wlk. Brytania
TLS	Tuluza	Francja
TRD	Trondheim	Norwegia
TRO	Tromse	Norwegia
WRS	Warszawa	Polska
ZUR	Zurich	Szwajcaria



Rys. 2. Planowane poszerzenie SBAS

Segment naziemny EGNOS tworzą następujące elementy:

- 34 stacje monitorowania odległości i wiarygodności (RIMS – Range and Integrity Monitoring Station),

- 4 centra sterowania systemem (MCC – Mission Control Center), które ze względu na realizowane funkcje dzielą się na centra kontrolne (CCF – The Central Control Facility) i centra przetwarzania (CPF – The Central Processing Facility),

- 6 naziemnych stacji nawigacyjnych (NLES – Navigation Land Earth Station),
- 2 stacje kontrolno-testowe: Torrejón (DVP – Development Verification Platform, ASQF – Application Specific Qualification Facility), Tuluza (PACF – Performance Assessment and Check-out Facility),

- sieć telekomunikacyjna systemu EWAN (EGNOS Wide Area Network).

Stacje RIMS odgrywają w systemie EGNOS szczególnie ważną rolę. Większość z nich znajduje się w Europie, w tym jedna w Warszawie (tab. 1). Spełniają następujące zadania:

- przeprowadzają pomiary kodowe i fazowe sygnałów pseudoodległościowych przekazywanych przez monitorowane satelity (GPS, GLONASS);

- demodulują/dekodują sygnały nawigacyjne – SIS;

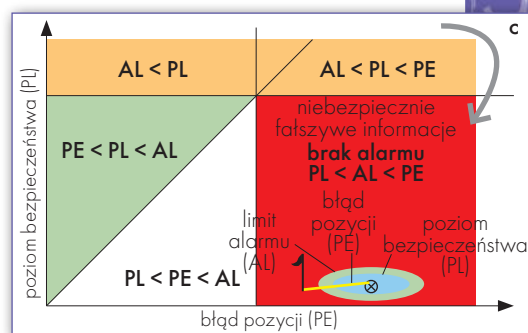
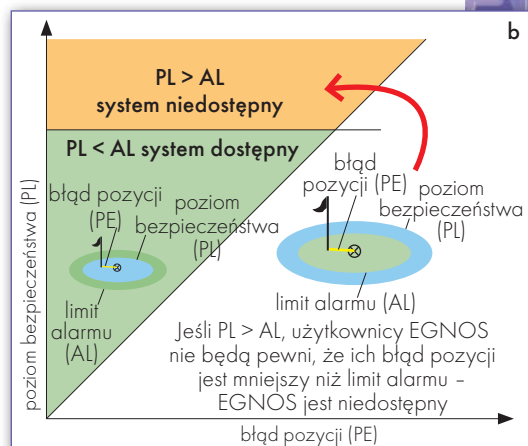
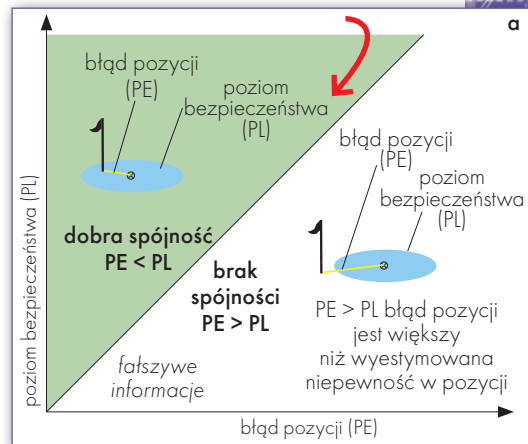
- tworzą meldunki i przesyłają je do centrum przetwarzania (CPF);

- określają rozbieżności sygnałów czasu w stosunku do wzorca;

- wykrywają anomalie sygnału GPS i informują o tym CPF.

### ● POSZERZANIE ZASIĘGU EGNOS

Poza Europą system EGNOS obecnie pokrywa tereny: Maroka, Algierii, Tunezji, Egiptu, Izraela, Jordanii, Palestyny, Syrii, Turcji i Libanu. Przewiduje się poszerzenie go na wschodnią część regionu

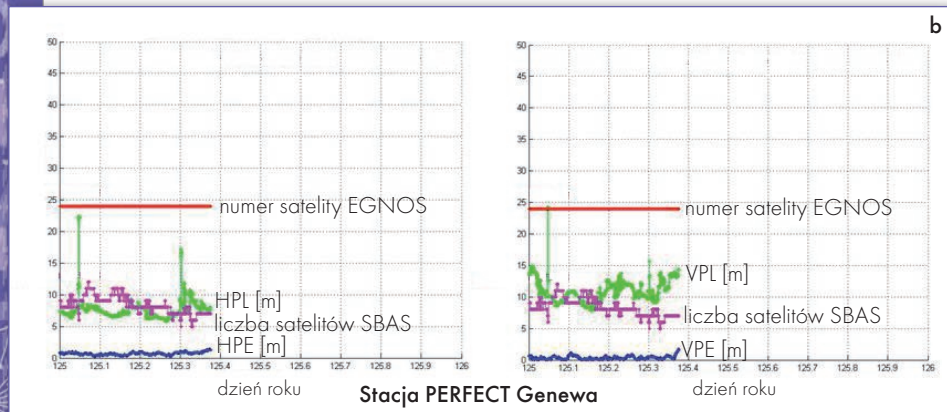
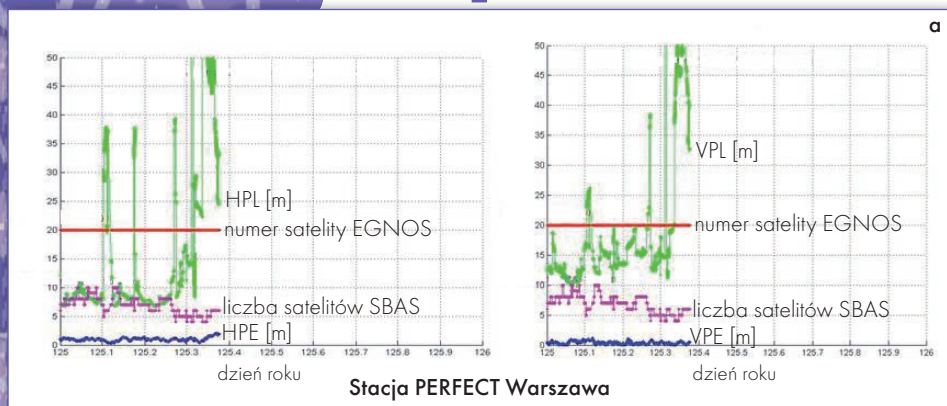


Rys. 3. Diagramy Stanforda

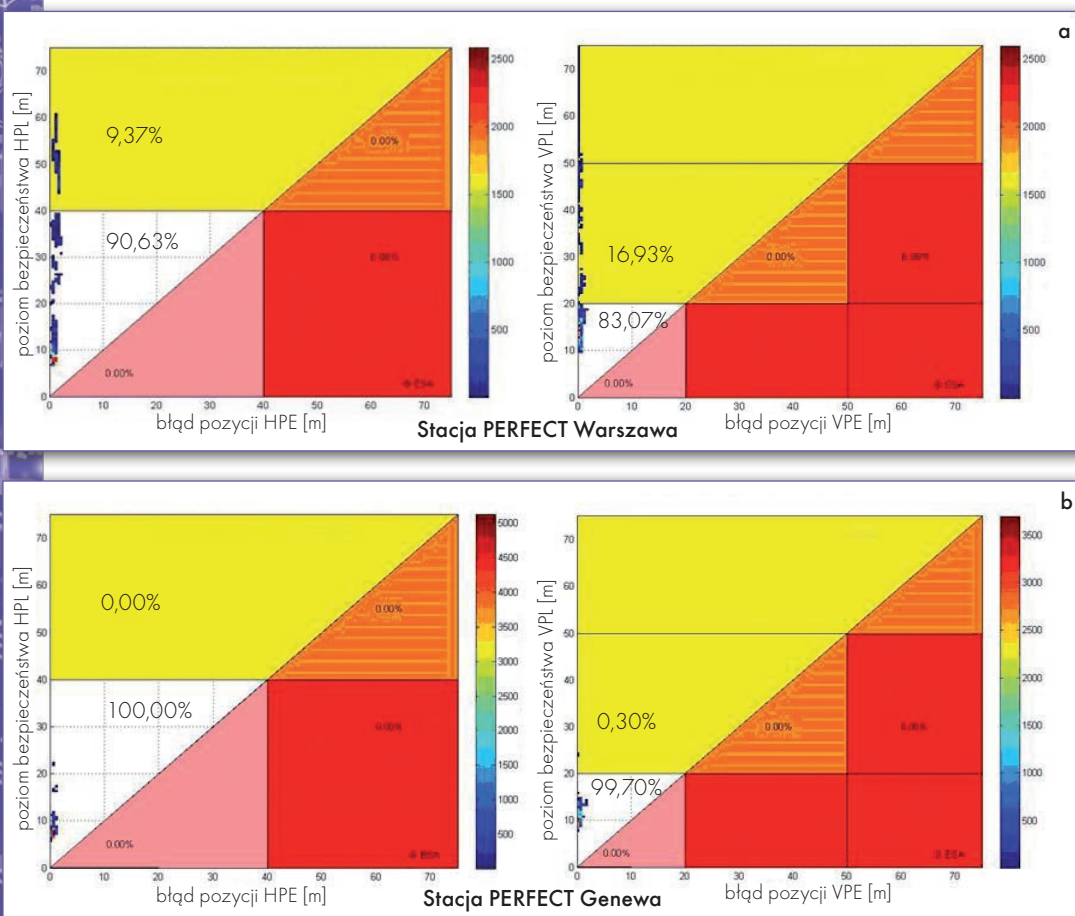
### TAB. 2. WYMAGANE PARAMETRY SYSTEMU DLA LOTNICTWA

	Dokładność (95%)		Dostępność	Ciągłość*	Spójność danych		
	H	V			Limit alarmu w poziomie	Limit alarmu w pionie	Czas do alarmu
APV I	40 m	50 m	0,99 do 0,99999	$1.8 \times 10^{-6}$	40 m	50 m	10 s
APV II	16 m	20 m	0,99 do 0,99999	$1.8 \times 10^{-6}$	20 m	20 m	6 s

APV – Approach Procedures with Vertical guidance (podejścia wykorzystujące prowadzenie pionowe z systemu SBAS); \* w każdych 15 s



Rys. 4. Horyzontalny i wertykalny błąd oraz poziom bezpieczeństwa pozycji wyznaczonej ze stacji PERFECT w Warszawie (a) i w Genewie (b). Dane z 5 maja 2009 r.



Rys. 5. Diagramy Stanforda dla stacji PERFECT w Warszawie (a) i Genewie (b). Dane z 5 maja 2009 r.

azjatyckiego obejmującego: Bahrajn, Arabię Saudyjską, Katar, Oman, ZEA, Jemen, Kuwejt i Irak.

Z kolei na terenach: Mauretanii, Somalii, Sudanu i Dżibuti prowadzone są analizy i pomiary mające na celu sprawdzenie warunków i możliwości poszerzenia systemu EGNOS. Analizowane są również aspekty polityczne i finansowe.

### ● DIAGRAMY STANFORDA

Realizacja kolejnych faz budowy EGNOS dla obszaru Europy wymusiła stworzenie mechanizmu monitorowania parametrów działania systemu. W czerwcu 2005 roku rozpoczęła pracę sieć stacji permanentnych PERFECT (PERformance-website For Egnos Continuous Tracking). Stacje te prowadzą ciągłą rejestrację danych GPS i EGNOS i w interwale godzinnym przesyłają na serwer WWW zlokalizowany w ESA przetworzone syntetyczne wyniki. Jedną z czternastu stacji PERFECT mieści się w Warszawie w budynku Centrum Badań Kosmicznych PAN. Dla każdej ze stacji prezentowane są w postaci graficznej:

- zmiany HPL/HPE w czasie,
- zmiany VPL/VPE w czasie,
- diagramy Stanforda dla składowych horyzontalnych,
- diagramy Stanforda dla składowej pionowej.

Diagramy Stanforda służą zilustrowaniu zależności między błędem wyznaczonej pozycji a poziomem bezpieczeństwa. Odczytać z nich można, kiedy dane są spójne, kiedy system jest dostępny, kiedy otrzymujemy fałszywe informacje. Jeśli błąd pozycji (Position Error – PE) jest mniejszy niż poziom bezpieczeństwa (Protection Level – PL), to dane są spójne (rys. 3a). By system był dostępny, poziom bezpieczeństwa PL musi być mniejszy niż limit alarmu (Alarm Limit – AL) – rys. 3b. Jeśli błąd pozycji PE jest większy niż poziom alarmu AL, a jednocześnie poziom bezpieczeństwa PL jest mniejszy niż limit alarmu, użytkownik otrzyma fałszywe informa-

cje (Hazardously Misleading Information – HMI) – rys. 3c.

EGNOS już wkrótce ma być certyfikowany jako system służący lotnictwu, a więc powinien spełniać określone kryteria (tab. 2). Jednak na terenie wschodniej Europy wymagań tych nie spełnia. Łatwo zauważyć, że parametry systemu na terenie Warszawy i Genewy znacznie się różnią (rys. 4). Porównując diagramy Stanforda (rys. 5), zarówno dla składowych poziomych, jak i pionowych, widzimy, że w Warszawie system nie jest jeszcze w pełni operacyjny. Tylko 90,63% pomiarów składowej horyzontalnej spełnia warunek dokładności dla APV I (błąd poniżej 40 m), a zaledwie 83,66% mieści się w kryteriach dostępności dla APV II (błąd poniżej 16 m). Biorąc pod uwagę składową pionową, 91,58% pomiarów spełnia warunek dostępności dla APV I (błąd poniżej 50 m), a 83,07% dla APV II (błąd poniżej 20 m).

Poziom bezpieczeństwa (PL) silnie zależy od liczby użytych satelitów. Im mniej satelitów wziętych do rozważań, tym wyższe wartości poziomu bezpieczeństwa, co sprawia, że system jest mniej wiarygodny i stabilny.

## ● WSPÓŁPRACA Z ROSYJSKIM SYSTEMEM SDCM

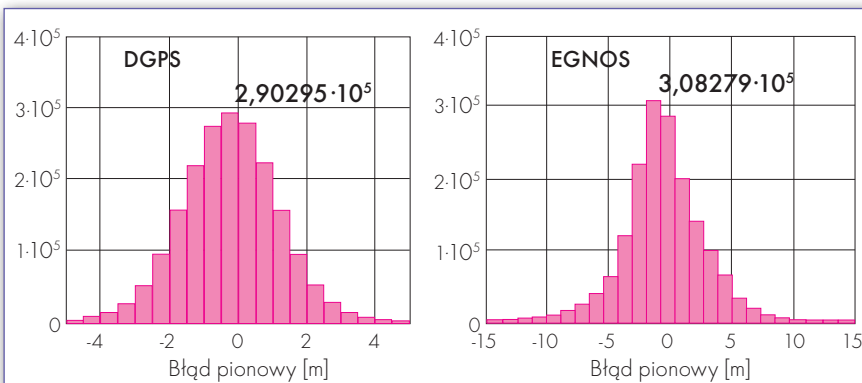
Wraz z udoskonalaniem GLONASS Rosjanie rozpoczęli budowę własnego systemu wspomagającego SDCM (System for Differential Corrections and Monitoring) i zaproponowali jego współdziałanie z EGNOS. Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) rozpoczęła z grupą Roskosmos współpracę nad licznymi projektami związanymi z lotnictwem. Projekty te mają na celu przeprowadzenie testów na obszarze Europy, które sprawdziłyby korzyści wynikające ze współdziałania systemów SDCM i EGNOS. Rozwiązanie to poprawiłoby pokrycie sygnałem wspomagającym systemy GPS i GLONASS (a w przyszłości także Galileo) na obszarze Europy Wschodniej.

## ● POMIARY STATYCZNE W GDYNI

Kampania przeprowadzona w Gdyni w 2005 roku miała na celu ustalenie horyzontalnej i wertykalnej dokładności EGNOS podczas długotrwałych pomiarów statycznych. Równolegle wykonywano pomiary DGPS i porównano otrzymane wyniki. Długość sesji pomiarowej wynosiła 2 tygodnie (wyznaczono około 2 mln pozycji i są to najświeższe dane o tej wiarygodności zrealizowane na te-

**TAB. 3. PORÓWNANIE WYNIKÓW DGPS I EGNOS Z KAMPANII POMIAROWEJ W GDYNI**

Liczba wyznaczeń	RMS ( $p = 0,65$ ) [m]	2 RMS ( $p = 0,95$ ) [m]	95% populacji [m]
DGPS - 2 mln	1,4332	2,8654	2,8009
EGNOS - 1,7 mln	6,2108	12,4216	6,9754



Rys. 6. Porównanie błędu pionowego wyznaczonego z DGPS i EGNOS, Gdynia

renie Polski). Wykonano pomiary kodowe do satelitów powyżej 5 stopni nad horyzontem. Do transmisji danych wykorzystano standard NMEA-0183 (GGA co 1 sekundę).

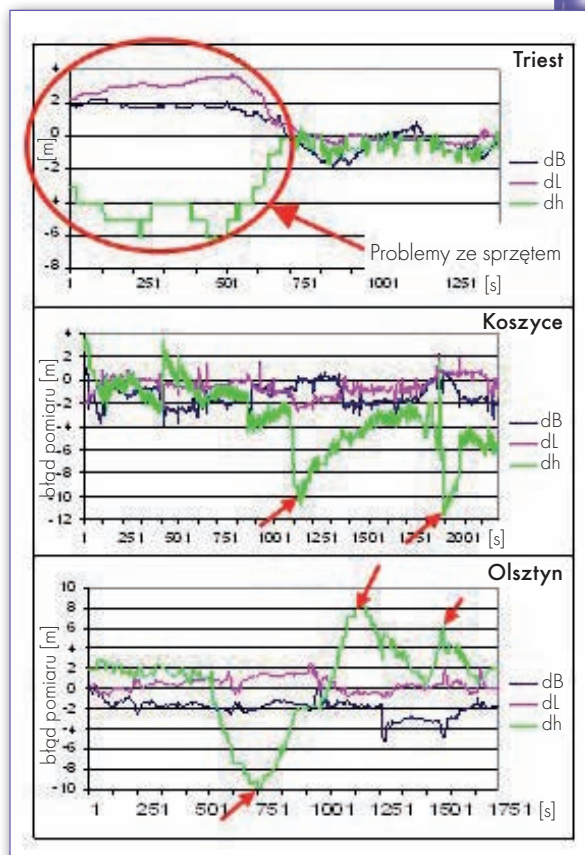
Ostateczne rezultaty pokazują znaczące różnice między błędami EGNOS wyznaczonymi dwiema metodami:

- z założeniem rozkładu normalnego błędów,
- z liczeniem indywidualnych błędów w celu znalezienia elementów, których wartość jest powyżej wartości dla 95% populacji.

Podczas pomiarów zaistniały duże błędy wyznaczenia pozycji z wykorzystaniem EGNOS (tab. 3 i rys. 6). Osiągnięte dokładności znacznie różnią się od zakładanych. Średni błąd (2 RMS,  $p = 0,95$ ) składowej pionowej wyniósł aż 12,422 m. Przy pomiarach DGPS błąd wyznaczenia składowej pionowej i poziomej był mniejszy niż 3 m. Jednym z praktycznych wniosków jest to, że do błędów EGNOS nie powinno stosować się rozkładu Gaussa ze względu na tzw. ciężkie ogony.

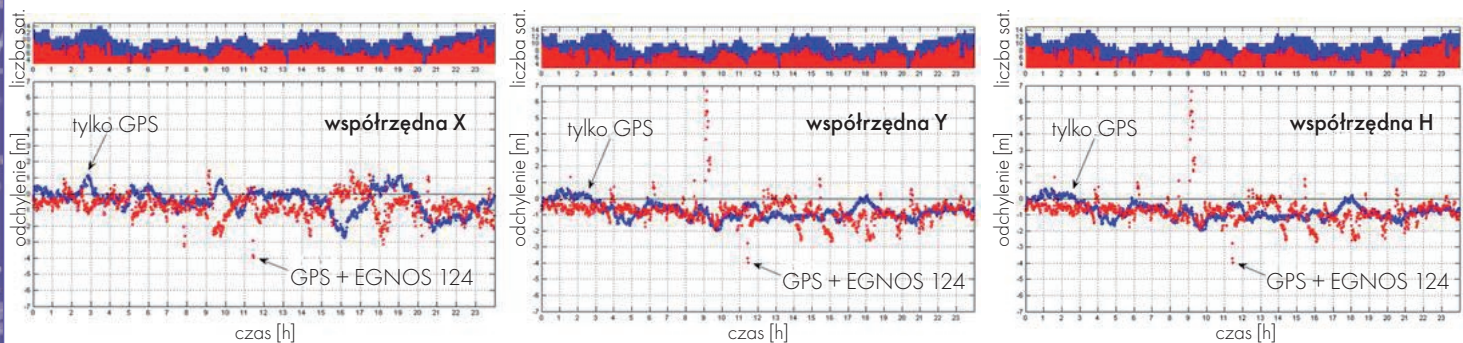
## ● KAMPANIA W OLSZTYNIE, TRIEŚCIE I KOSZYCACH

Wcześniej, bo w 2004 roku, porównawcze sesje pomiarowe przeprowadzono w Olsztynie, Trieście i Koszycach.



Rys. 7. Zestawienie wyników z kampanii pomiarowych w Trieście, Koszycach i Olsztynie

Wynika z nich, że im bardziej posuwamy się z pomiarami na wschód, tym gorsze uzyskujemy dokładności systemu EGNOS. Jak widać na rysunku 7., pomiary w Trieście (pomijając błędy wynikające ze złej konfiguracji sprzętu) wykazują się najmniejszym błędem i największą



Rys. 8. Zestawienie wyników kampanii pomiarowej w Warszawie

stabilnością. Rozpatrując wyniki pomiarów z Koszyc i Olsztyna, łatwo zauważyć, że błąd (szczególnie dla składowej H) jest duży i sięga nawet 10 metrów. Poza tym pomiary wykonane w miastach wschodniej Europy są mniej stabilne, o czym świadczą liczne piki.

### • KAMPANIA W WARSZAWIE

W 2007 roku przeprowadzone zostały w Warszawie pomiary mające na celu sprawdzenie dokładności poprawek systemu EGNOS (dla satelity PRN 126) względem sygnału GPS. Kolejnym celem badań było sprawdzenie dostępności sygnału systemów GPS i EGNOS. Na rysunku 8. przedstawiono wyniki pomiarów statycznych przeprowadzonych 22 maja 2007 r. dla składowej X, Y i H.

Z analizy 10 dni pomiarów statycznych wynika, że EGNOS był dostępny przez 98% czasu obserwacji. System ten

zwiększa dokładność pomiarów, jednak niektóre obserwacje GPS nie otrzymały poprawek EGNOS. Czasami odbiornik używał mniej satelitów do rozwiązania, gdy uwzględniał EGNOS. Bierze się to stąd, że minimum trzy stacje RIMS muszą monitorować satelitę GPS, by ten otrzymywał poprawki.

### • EGNOS POTRZEBUJE STACJI NA WSCHODZIE

Na rysunku 9. przedstawiono niebo nad Kijowem 1 maja 2009 r. o godzinie 9:14:30. Widocznych jest 11 satelitów, ale przy założeniu „elevation mask” na poziomie 15 stopni widocznych pozostaje tylko 7. Tyle wykorzysta GPS do obliczenia pozycji użytkownika. Natomiast EGNOS obliczy pozycję użytkownika tylko z 5 satelitów, gdyż PRN 22 i PRN 31 są obserwowane przez mniej niż 3 stacje RIMS. PRN 31 będzie obserwowana

ny przez 2 stacje – Sofia i Golbasi, natomiast PRN 22 przez stacje Lappeenranta i Kirkenes.

Oczywiście takich przykładów można by znaleźć o wiele więcej. System EGNOS osiągnąłby zdecydowanie lepsze parametry, gdyby stacje RIMS postawiono na wschód od Warszawy (np. na Ukrainie). Poprawiłaby się wówczas geometria satelitów użytych do rozwiązania EGNOS, a przez to podniósłby się poziom bezpieczeństwa i dostępność systemu.

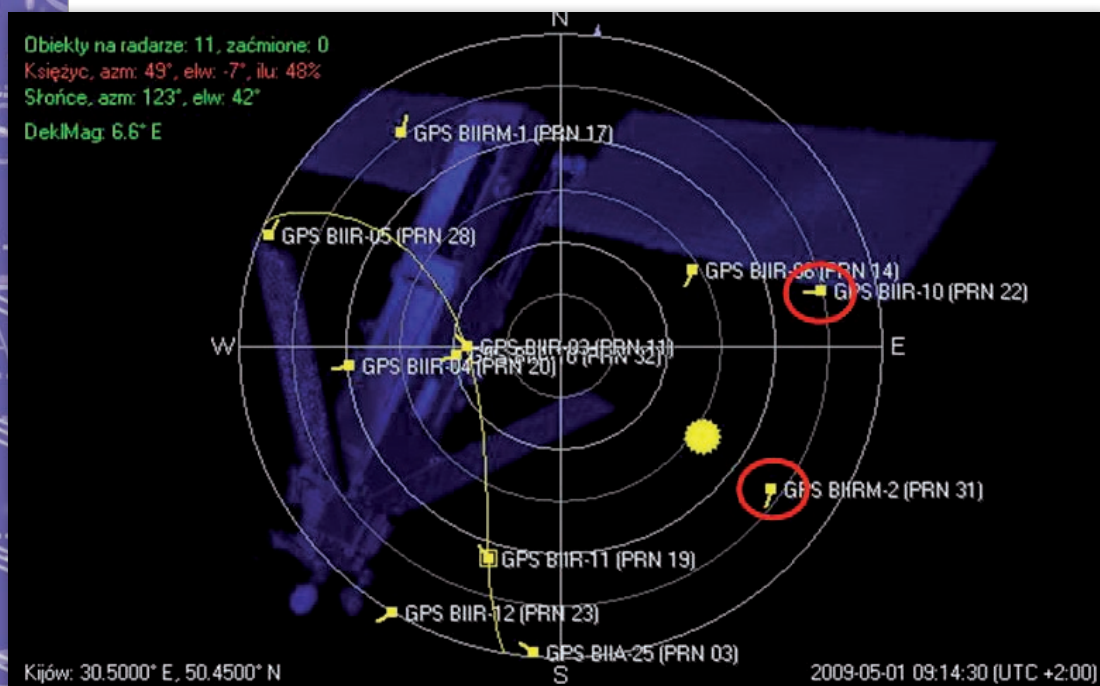
MARTA KRYWANIS

(pracownik Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk)

### Źródła:

- Specht C., 2007: System GPS, Wydawnictwo Bernardinum, Pelplin;
- Galileo, Academie de Marine, Bureau des Longitudes, Academie Nationale de l'Air et de l'Espace, 2006;
- NAWI nr 1 (11), styczeń 2006;
- NAWI nr 5, maj 2005;

- Kinematic positioning using EGNOS system test bed (ESTB) in Central European Countries in 2002, „Reports on Geodesy”, 2003;
- EGNOS – Accuracy Performance in Poland, Proceedings of the XV-th International Scientific and Technical Conference „The Role of Navigation in Support of Human Activity on the Sea”, Gdynia, listopad 2006;
- Wykorzystanie w Polsce europejskiego systemu nawigacyjnego Galileo oraz współdziałanie w jego wdrożeniu do powszechnego użytku na rzecz szeroko pojętej informatyki, telekomunikacji i ratownictwa, raport końcowy 2006;
- EGNOS SIS-2 test configuration and preliminary results, 13th EDCN Meeting, Barcelona 2005;
- Lannelongue S., Levy J.C., Derambure X., Delfour H., Flament D., 2002: EGNOS Performance at System CDR, Francja;
- Mięsikowski M., Nowak A., Oszczak B., Specht C., 2004: Wyniki kampanii pomiarowej w Gdyni;
- Ciećko A., Oszczak S., Popielarczyk D., Bakula M., Cefalo R., Manzoni G. i Balint J., 2005: Wyniki kampanii pomiarowej w Olsztynie, Trieście i Koszycach;
- Jaworski L. i Kolodziejczak M., 2007: Wyniki kampanii pomiarowej w Warszawie;
- [www.galileo.kosmos.gov.pl](http://www.galileo.kosmos.gov.pl);
- [www.heading.enter.net.pl](http://www.heading.enter.net.pl).



Rys. 9. Widok satelitów nad horyzontem Kijowa. Aparaty PRN 22 i PRN 31 nie otrzymują poprawek EGNOS