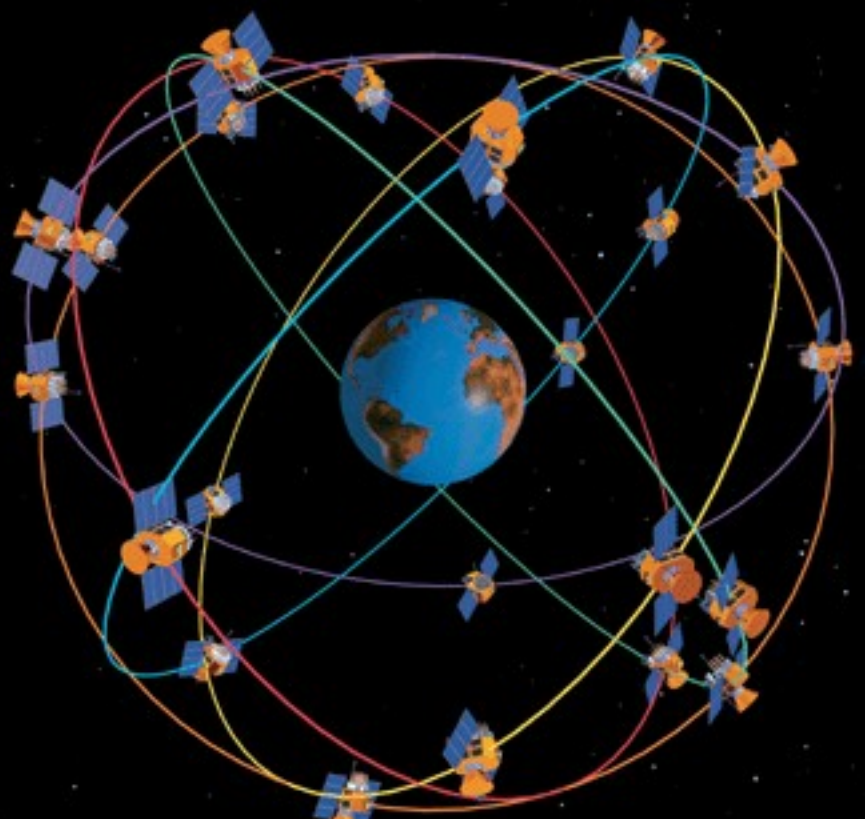


[GPS Navstar](#)
[Różnicowy GPS](#)
[Rosyjski system Glonass](#)
[Inicjatywy europejskie](#)
[Inne strony o nawigacji satelitarnej](#)



Konstelacja Navstar
rysunek ze strony [Aerospace Corporation](#)

Podstawowymi zadaniami systemu nawigacyjnych jest ustalanie pozycji terminali odbierających od nich sygnał i podawanie dokładnego czasu. Obecnie, terminale (odbiorniki) nawigacyjne pozwalają też obliczyć prędkość i pomagają zorientować się w terenie przy pomocy elektronicznej mapy.

GPS (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem) **Navstar**

Navstar (NAVigational Satellite Time And Ranging) został sfinansowany przez Departament Obrony USA. Jego kontrolą i zarządzaniem zajmuje się obecnie amerykańska komisja **PNT** (The National Space-Based Positioning, Navigation, and Timing Executive Committee). Pierwszy satelita tego systemu został wyszrzelony już w 1978 roku, lecz o w pełni działającym systemie można mówić dopiero od roku 1995.

Człon kosmiczny systemu stanowią co najmniej 24 satelity krążące po po 6 orbitach - po 4 na każdej. Zazwyczaj jest jeszcze kilka satelitów nadmiarowych - **bieżący status konstelacji** rejestruje m.in. [Obserwatorium Astronomiczne Marynarki Wojennej USA](#). Wysokość orbit to 20 200 km nad powierzchnią Ziemi, ich inklinacja jest równa 55°, satelity okrążają glob dwukrotnie w ciągu doby. Z każdego miejsca na Ziemi jest jednocześnie widocznych co najmniej 5 satelitów (ściślej: prawdopodobieństwo widoczności przynajmniej 5 satelitów wynosi 99.96%). Na Ziemi znajduje się główna stacja kontrolna (Master Control Station) w Colorado Springs, 4 stacje monitorujące (Monitor Stations) - Hawaje, Wyspy Wniebowstąpienia, Kwajalein i Diego Garcia - oraz 6 stacji NGA (National Geospatial Agency) - w Argentynie, Bahrajnie, Australii, Ekwadorze, Wielkiej Brytanii i USA. Segment naziemny sieci GPS jest odpowiedzialny za odbieranie sygnałów od satelitów i obliczanie na tej podstawie poprawek do ich pozycji (efemeryd). Poprawki te są odsyłane z powrotem do satelitów.



Segment kontrolny systemu Navstar - rysunek ze strony internetowej [Kowoma](#)

Istnieją dwie wersje systemu Navstar.

PPS (*Precise Positioning System*) jest dostępny dla wojska USA i NATO oraz wybranych organizacji. Jest on dokładniejszy niż druga wersja - SPS (*Standard Positioning System*). Korzystanie z systemu SPS było i jest bezpłatne i powszechnie dostępne. Konieczny jest oczywiście zakup odbiornika, ale może to zrobić każdy i nie trzeba płacić za odbiór sygnału satelitarnego.

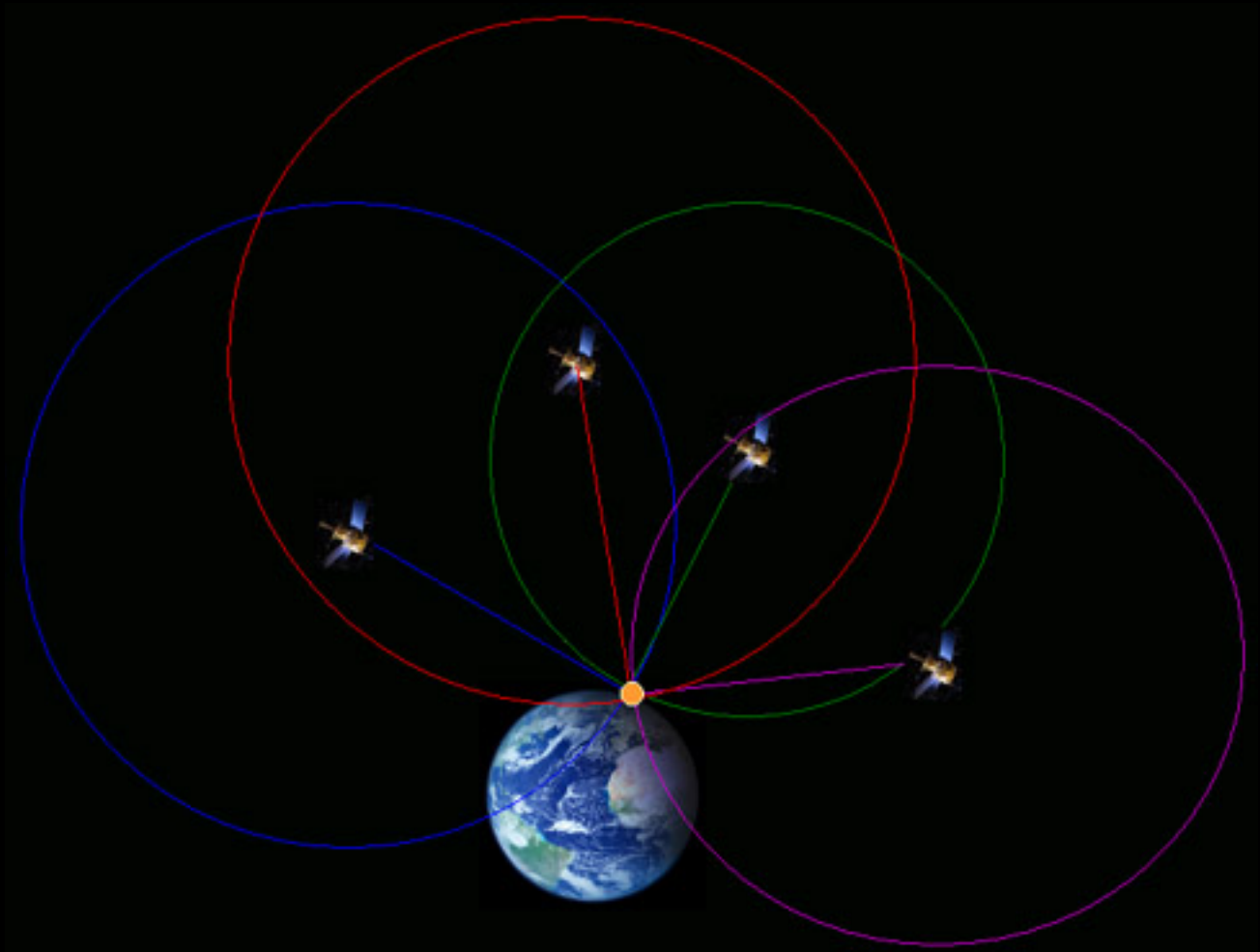
Odbiorniki GPS, na podstawie sygnałów z satelitów obliczają swoje położenie, prędkość i dokładny czas. Większość z nich obecnie zaopatrzona jest w cyfrowe mapy i oprogramowanie wspomagające przetwarzanie tych danych w nawigacji morskiej i lotniczej, geodezji czy prowadzeniu pojazdów w miastach. Należy tutaj zauważyć, że informacja w systemie GPS przesyłana jest jednokierunkowo, odbiorniki pozostają biernie i nie wysyłają żadnych sygnałów do satelitów.

Satelity nadają dwa rodzaje sygnałów: C/A na nośnej L1 = 1575.42 MHz (pasmo sygnału - 1.023 MHz) odbierany przez wszystkie urządzenia GPS (SPS i PPS) oraz sygnał P na nośnej L2 = 1227.60 MHz (pasmo sygnału 10.23 MHz) odbierany tylko przez urządzenia PPS. Odseparowanie sygnałów pochodzących od poszczególnych satelitów następuje przy pomocy techniki CDMA - każdy satelita nadaje sygnał stosując inny ciąg rozpraszający PRN (*Pseudo random Noise*).

Teoretycznie do ustalenia trójwymiarowej pozycji obiektu i dokładnego czasu wystarczyłyby sygnały z czterech satelitów. Zazwyczaj odbiornik GPS śledzi co najmniej 5 satelitów, dla większej dokładności obliczeń i na wypadek utraty sygnału od jednego z nich. Sygnały zawierają informacje, od którego satelity pochodzą i kiedy zostały nadane, przesyłana jest także poprawka ich aktualnej pozycji obliczona przez naziemne stacje kontrolne. Na tej podstawie odbiornik GPS, znając teoretyczne pozycje satelitów, może obliczyć :

- prawdziwe pozycje satelitów w danym momencie czasu,
- odległości odbiornik-satelita, na podstawie czasu transmisji sygnału od satelity do odbiornika,
- swoją pozycję.

Szczegółowy algorytm obliczeniowy oparty jest na technice trilateracji, odmianie triangulacji.



Trilateracja w nawigacji satelitarnej. Kolorowe odcinki symbolizują znane przez odbiornik odległości do satelitów. Okręgi wskazują zbiór punktów równo odległych od danego satelity. Punkt przecięcia się wszystkich okręgów jest rozwiązaniem - pozycją odbiornika.

Zaraz po włączeniu odbiornika GPS konieczna jest jeszcze synchronizacja z zegarami satelitów (ustalenie dokładnego czasu), stąd konieczność odbioru sygnału nie z trzech lecz z czterech satelitów (dla ustalenia czterech niewiadomych - trzy współrzędne przestrzenne i czas - konieczne są cztery informacje).

Odbiorniki PPS odbierają dodatkowo drugi sygnał P - na innej częstotliwości. Pozwala to na obliczenie poprawki i zniwelowanie błędu pomiaru wynikającego z zaburzeń sygnałów radiowych w jonosferze (podstawowa przyczyna błędów pomiaru).

W celu zmniejszenia dokładności odbiorników SPS, do sygnału C/A wprowadzane były zaburzenia określane mianem *Selective Availability* (SA). Odbiorniki PPS potrafiły niwelować zakłócenia SA. Zaburzenia te **zostały jednak wyłączone** 1 maja 2000 roku i pozostały wyłączone po 11 września 2001 roku. Poza tym, na błąd pozycji i czasu podawanych przez odbiorniki GPS wpływ mają :

- opóźnienie jonosferyczne - zaburzenia w prędkości rozchodzenia się sygnałów z satelit w jonosferze (błąd około 7 m),
- opóźnienie troposferyczne - analogiczne zjawisko w troposferze wywołane zmianami wilgotności, temperatury i ciśnienia powietrza (± 0.5 m),
- błąd efemeryd - różnice między teoretyczną a rzeczywistą pozycją satelitów (± 2.5 m),
- niedokładności zegara satelitów (± 2 m),
- odbiór sygnałów odbitych, docierających do odbiornika innymi drogami niż bezpośrednio od satelity (± 1 m),
- błędy odbiornika - szumy zakłócające transmisję, niedokładności procedur obliczeniowych w oprogramowaniu (± 1 m).

Drugi sygnał (P) o niższej częstotliwości pozwala odbiornikom PPS zniwelować opóźnienia jonosferyczne, które są różne dla różnych częstotliwości. Dzięki temu precyzja odbiorników tych jest większa. Sygnał P jest czasem zakodowywany w tzw. sygnał Y, co ma uniemożliwić fałszywe nadawanie go przez osoby niepowołane.

Do maja 2000 r. system SPS podawał pozycję z dokładnością (w 95 % przypadków) do 100 metrów - w praktyce było to 20-40 metrów - w przypadku pomiarów w dwóch wymiarach. Dla pomiarów w trzech wymiarach dokładność wynosiła 160 metrów. Pomiar czasu miał dokładność 340 nanosekund. Dla systemu PPS te wartości wynosiły odpowiednio: 10 metrów, 30 metrów i 100 nanosekund. Obecnie, odbiorniki cywilne śledzą większą liczbę satelitów (zazwyczaj nawet 12) i przy braku zakłóceń SA błąd pomiaru jest nie większy niż 15 metrów. Dodatkowo, dostępne obecnie odbiorniki GPS często korzystają z **poprawek różnicowych** systemów WAAS/EGNOS, co dodatkowo zwiększa dokładność do 3-5 metrów. Dokładne wartości błędów pomiarów zależą od parametrów odbiornika.

System Navstar jest cały czas modernizowany. Planowana jest rozbudowa naziemnego segmentu kontrolnego o back-up'ową główną stację kontrolną, dodatkowe stacje monitorujące i zwiększenie częstotliwości wysyłania poprawek do satelitów.

Wysztrzeliwywane są satelity nowszych generacji (ostatnio satelita IIR-M w sierpniu 2005 roku). Przewiduje się też wprowadzenie sygnału cywilnego na częstotliwości L2 oraz trzeciego sygnału GPS na częstotliwości L5 = 1176.45 MHz.

GPS różnicowy - **DGPS** (*Differential GPS*)

Dokładność systemu GPS jest niewystarczająca do wielu zastosowań, takich jak pomiary geodezyjne czy nawigacja lądujących samolotów. W sytuacjach wymagających większej precyzji pomiarów stosuje się system DGPS korzystający z poprawek różnicowych do danych z satelitów GPS. System ten bazuje na fakcie, że większość czynników powodujących niedokładności pomiaru położenia w cywilnym GPS jest właściwie taka sama na niewielkim obszarze geograficznym. Tak więc odbierając sygnał GPS w miejscu o znanym i niezmiennym położeniu można wyznaczyć niedokładności pomiaru i przesać je do odbiorników GPS znajdujących się w pobliżu. Na tej zasadzie działają stacje różnicowe (referencyjne) GPS. Odbierają sygnały z satelitów Navstar, obliczają błędy pomiaru i taką poprawkę przesyłają do znajdujących się w pobliżu odbiorników GPS. Oczywiście odbiorniki GPS muszą być przystosowane do odbioru takich poprawek. Możliwe jest też wykonanie serii pomiarów bez poprawek różnicowych i późniejsza ich obróbka przy pomocy danych uzyskanych ze stacji różnicowej. Ta druga technika, zwana "*post-processing*" jest bardzo popularna w pomiarach geodezyjnych. Przy długich pomiarach, wykorzystujących co najmniej 2 odbiorniki GPS jednocześnie i poprawki różnicowe, możliwe jest wyznaczanie punktów geodezyjnych z dokładnością centymetrową a nawet milimetrową.

Jako stacje różnicowe, korygujące dane z sieci GPS, można też wykorzystywać satelity geostacjonarne. Europejski system **EGNOS** opiera się na trzech takich satelitach, które nie tylko wysyłają korekty pozycji i czasu od odbiorników GPS, ale także informują je o ewentualnych przerwach i awariach systemu Navstar lub rosyjskiego systemu Glonass. Również w Stanach Zjednoczonych istnieje system WAAS (Wide Area Augmentation System) składający się zarówno z satelitów geostacjonarnych jak i naziemnych stacji referencyjnych. Sieci stacji różnicowych powstają m.in. w Niemczech (sieć SAPOS), Szwecji (SWEPOS), Japonii (MSAS z satelitą geostacjonarnym) i wielu innych państwach. W Polsce istnieją sieci stacji referencyjnych na Śląsku i w okolicach Warszawy o zasięgu nadajników około 25 kilometrów. Są również stacje w Dziwnowie i na Rozewiu (zasięg około 100 km) wykorzystywane głównie przez jednostki morskie do celów nawigacyjnych.

Glonass

Glonass (*Globalnaja Nawigacionnaja Satelitarnaja Sistemma*) to rosyjski odpowiednik systemu Navstar. Technicznie działa on na zasadach bardzo podobnych do systemu amerykańskiego. Z początku miał być on dostępny tylko dla wojska, najprawdopodobniej dlatego w systemie w ogóle nie ma błędów typu SA. Występują jednak również dwa kanały: standardowy i precyzyjny. Kanał standardowy ma dokładność 60 metrów dla pomiarów dwuwymiarowych i 75 metrów dla trójwymiarowych. Nie stosuje się CDMA, każdy satelita nadaje w innym paśmie częstotliwości. Satelitów miało być docelowo 24, tak jak w systemie Navstar, ale krążćy miały na 3 orbitach - po 8 na każdej. Liczba ta nigdy jednak nie została osiągnięta - wysztrzeliwvano nowe satelity, ale jednocześnie te już działające szybko ulegały awariom.

Stan systemu Glonass nadal nie jest dobry, jako że Rosja nie ma pieniędzy na utrzymywanie go. Nawiązano współpracę z Unią Europejską, która jest zainteresowana istnieniem ogólnoswiatowych systemów nawigacyjnych, z którymi mógłby współpracować projektowany w Europie system [Galileo](#). ***Obecnie***, w systemie Glonass pracuje około dziesięciu satelitów.

Inicjatywy europejskie

"When you get a GPS navigation signal, how do you know you can trust it?"

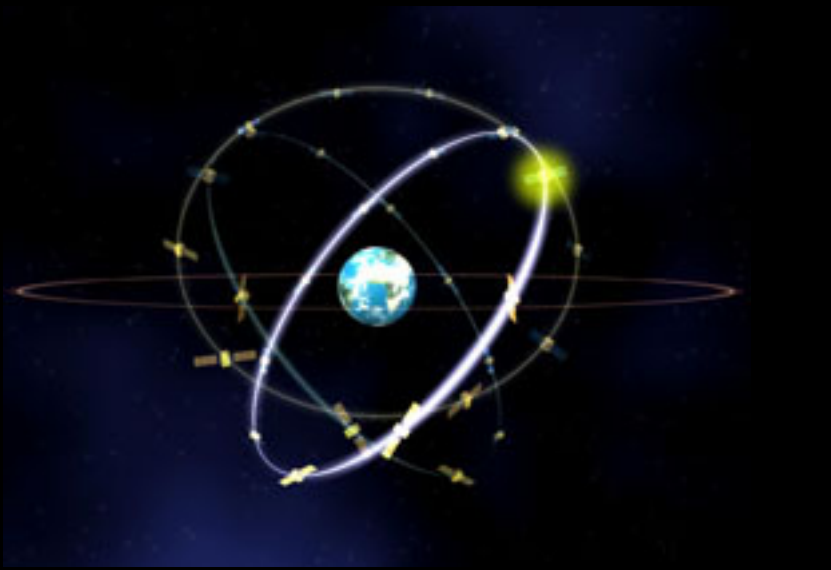
Laurent Gauthier, EGNOS project manager

Pomysł cywilnej sieci satelitów nawigacyjnych pojawił się z kilku powodów. Potrzebny jest system dokładniejszy od już istniejących, z którego można by korzystać na skalę międzynarodową, m.in. w nawigacji lotniczej i podczas akcji ratunkowych. System ten nie powinien być zależny od jednego państwa i jego polityki. Powinien też cechować się większą odpornością na zakłócenia i uszkodzenia satelitów. Koncepcję takiego systemu zaproponowała Unia Europejska. Cały projekt początkowo nosił nazwę GNSS (*Global Navigation Satellite System* - akronim analogiczny do Clonass). W pierwszej kolejności powstał EGNOS, weryfikujący i korygujący dane z sieci Navstar (i ewentualnie Glonass). Trwa projektowanie i budowa systemu Galileo.

Europejski system **EGNOS** (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) wspomaga działanie istniejących systemów nawigacji satelitarnej (głównie sieci Navstar). Do odbiorników GPS współpracujących z EGNOS wysyłane są sygnały korekcyjne pochodzące z satelitów geostacjonarnych znajdujących się nad Europą. Sygnały te zawierają korekty pozycji podawanych przez sieć Navstar, co kilkukrotnie zwiększa ich dokładność. Przede wszystkim jednak, EGNOS weryfikuje dane pochodzące z sieci Navstar, sprawdzając, czy nie doszło do awarii tych satelitów lub błędów podczas transmisji. Dzięki temu, dane z sieci Navstar/EGNOS mogą być zastosowane tam, gdzie ze względów bezpieczeństwa, muszą być w pełni wiarygodne. Są to tzw. aplikacje typu "*Safety of Life*", np. precyzyjna nawigacja samolotów, sterowanie ruchem pociągów czy niektóre akcje ratunkowe. EGNOS opiera się na trzech satelitach geostacjonarnych (15.5°W, 21.5°E i 25°E). Na Ziemi znajdują się stacje pomiarowe i kontrolne, które prowadzą ciągłe testy sieci Navstar i satelitów EGNOS. Obliczają poprawki danych GPS, wykrywają nieprawidłowości w transmisji i sprawdzają, czy nie doszło do awarii któregos z satelitów. Poprawki i dane o stanie sieci GPS są transmitowane do satelitów EGNOS, które z kolei wysyłają je do odbiorników GPS. Jedna ze stacji kontrolnych sieci EGNOS znajduje się w Warszawie, w [Centrum Badań Kosmicznych](#).

Nad projektem [Galileo](#) rozpoczętym w 1998 roku, kontrolę sprawują Komisja Europejska i Europejska Agencja Kosmiczna (**ESA**). Docelowo, Galileo ma być cywilnym systemem nawigacji satelitarnej, zupełnie niezależnym od wojskowych sieci Navstar i Glonass. Segment kosmiczny ma stanowić 30 satelitów (27 operacyjnych i 3 zapasowe aktywne), krążących po trzech orbitach o wysokości 23 616 kilometrów i inklinacji 56°. Poza danymi o pozycji i dokładnym czasie, do odbiorników użytkowników będą transmitowane informacje o wiarygodności tych danych i ewentualnych awariach systemu. Dzięki temu, możliwe będzie zastosowanie danych z sieci Galileo w aplikacjach "*Safety of Life*", podobnie jak ma to miejsce w systemie EGNOS. Koszt budowy całej sieci został oszacowany na 3.2 G€, a jej roczne utrzymanie - na około 200 M€.

W grudniu 2005 roku wysztrzelono pierwszego testowego satelitę Galileo, o nazwie Giove-A, a dwa tygodnie później odebrano jego **pierwsze sygnały**. Planowany start systemu ma nastąpić w roku 2012.



Konstelacja Galileo. © [ESA](#)