

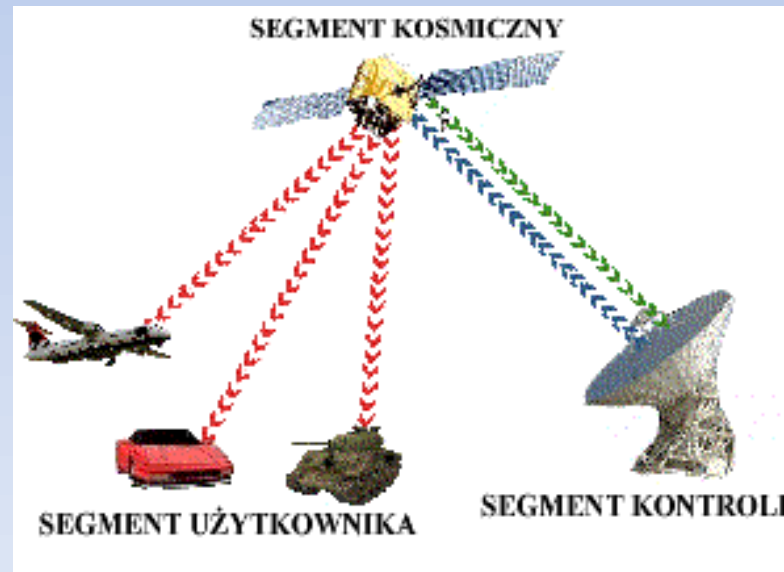
# Systemy nawigacji satelitarnej

Krzysztof Kamiński

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

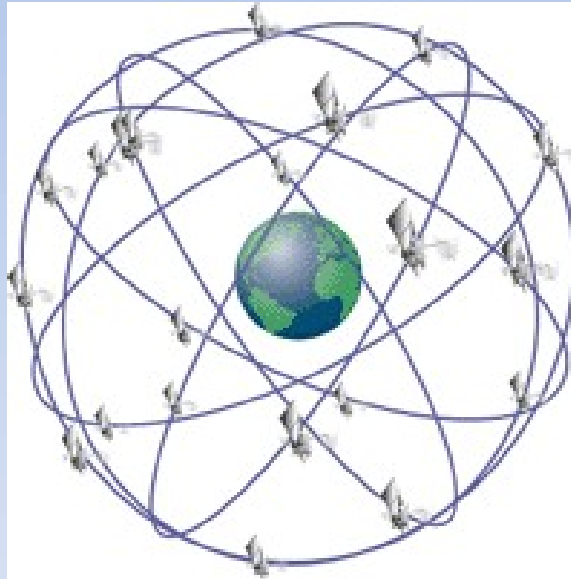
W nawigacyjnych systemach satelitarnych można wyróżnić trzy segmenty:

- segment **kosmiczny** (satelity nawigacyjne)
- segment **naziemny** (zespół stacji zlokalizowanych na lądzie)
- segment **użytkownika** (odbiorniki systemu)



# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych segment kosmiczny

Przez segment kosmiczny danego systemu należy rozumieć zbiór jego wszystkich satelitów, których liczba oraz parametry orbit okołoziemskich zależą od zasady działania systemu oraz od rozmieszczenia rozmieszczenia poszczególnych stacji segmentu naziemnego.



Przyjęto że minimalna wysokość orbity będzie wynosiła 1000 km.

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych segment kosmiczny

Do najważniejszych parametrów definiujących konfigurację segmentu kosmicznego można zaliczyć:

- wysokość orbity (a lub h),
- kąt nachylenia płaszczyzny orbity do płaszczyzny równika ( $i$ ),
- sfazowanie wewnątrzorbitalne, czyli kąt pomiędzy anomalią prawdziwą dwóch sąsiednich satelitów na tej samej orbicie,
- sfazowanie międzyorbitalne, czyli kąt między anomalią prawdziwą  $j$ -ego satelity na orbicie  $k$ , a anomalią prawdziwą  $j$ -ego satelity na orbicie  $k+1$ ,
- rozmieszczenie orbit (w długości geograficznej węzła wstępującego) i ich liczba,
- liczba satelitów operacyjnych i rezerwowych

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

## segment kosmiczny

Orbity satelitów Transit i Cikada o wysokości około 1000 km zalicza się do orbit niskich czyli LEO. Niskie orbity są lepsze niż wysokie do wykorzystania efektu Dopplera.

W systemie o tego rodzaju orbitach nieprzerwane określenie pozycji w dowolnym miejscu na Ziemi możliwe było pod warunkiem, że liczba jego satelitów wynosi co najmniej ok 55 (praktycznie maksymalnie było ich 7).

Z tego powodu wszystkie satelity działające obecnie w systemach GPS, GLONASS i Galileo znajdują się na orbitach MEO (h około 20 000km – pomiar odległości od satelity, minimalna liczba satelitów 20).

Satelity na orbitach GEO stosuje się obecnie w systemach wspomagających SBAS, które wykorzystywane są do transmisji poprawek oraz w systemie Beidou i systemach regionalnej nawigacji satelitarnej (QZSS, NavIC).

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

## segment kosmiczny

### 4 GNSS CONSTELLATIONS



#### GPS

6 Orbital planes  
24 Satellite  
55° Inclination Angle  
Altitude 20,200 km



#### Galileo

3 Orbital planes  
27 Satellite  
56° Inclination Angle  
Altitude 23,616 km



#### GLONASS

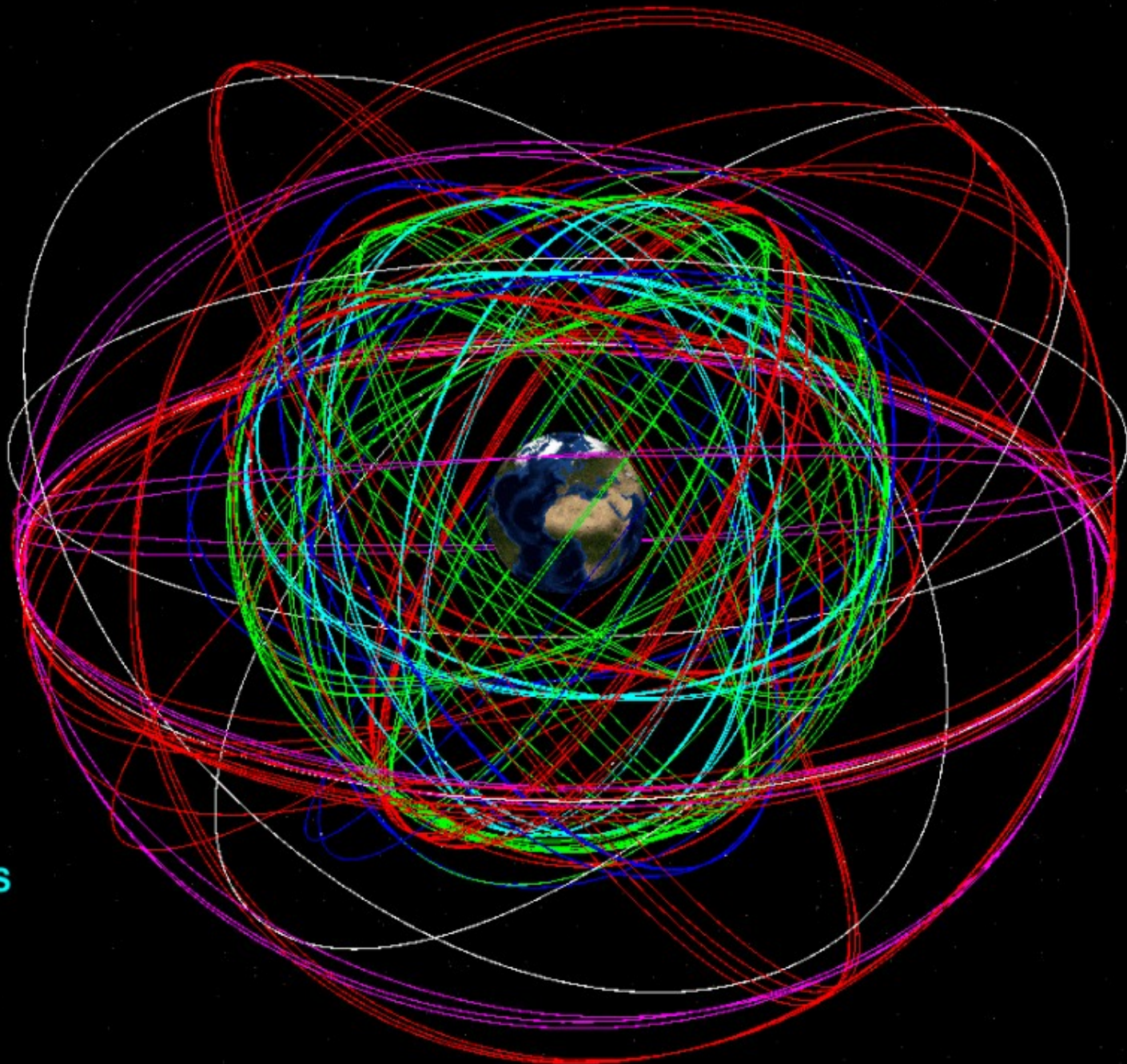
3 Orbital planes  
21 Satellite  
64.8° Inclination Angle  
Altitude 19,100 km



#### BeiDou

6 Orbital planes  
30 Satellite  
55° Inclination Angle  
Altitude 38,300 km, 21,500 km

Orbity czterech globalnych systemów nawigacyjnych.



**GPS**  
**GLONASS**  
**Galileo**  
**BeiDou**  
**QZSS**  
**IRNSS**

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych segment kosmiczny

Sterowanie orientacją satelity (ang. attitude control) ma dwa główne cele, które muszą być spełnione jednocześnie:

1. utrzymanie kierunku anten w stronę Ziemi,
2. utrzymanie paneli skierowanych w stronę Słońca.

Aby to uzyskać sieci GNSS stosują dwie metody:

Beczka – Yaw Steering (YS)

(preferowana gdy Słońce jest pod dużym kątem do płaszczyzny orbity)

GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou

Prostopadła do orbity – Orbit Normal (ON)

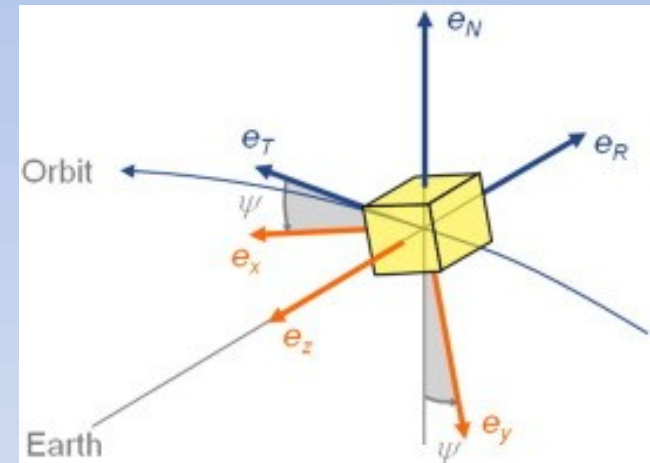
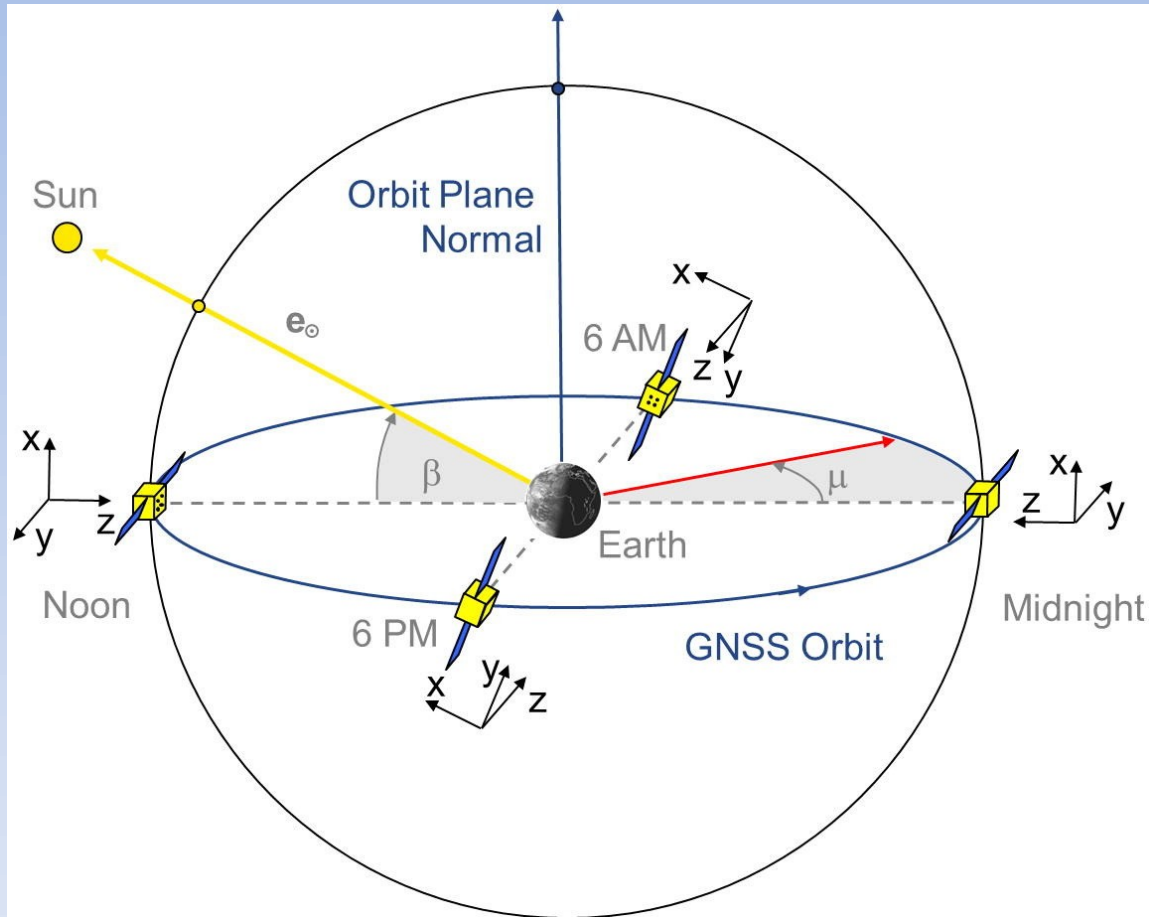
(preferowana gdy Słońce jest pod niewielkim kątem do płaszczyzny orbity, np. na orbitach GEO)

BeiDou



# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

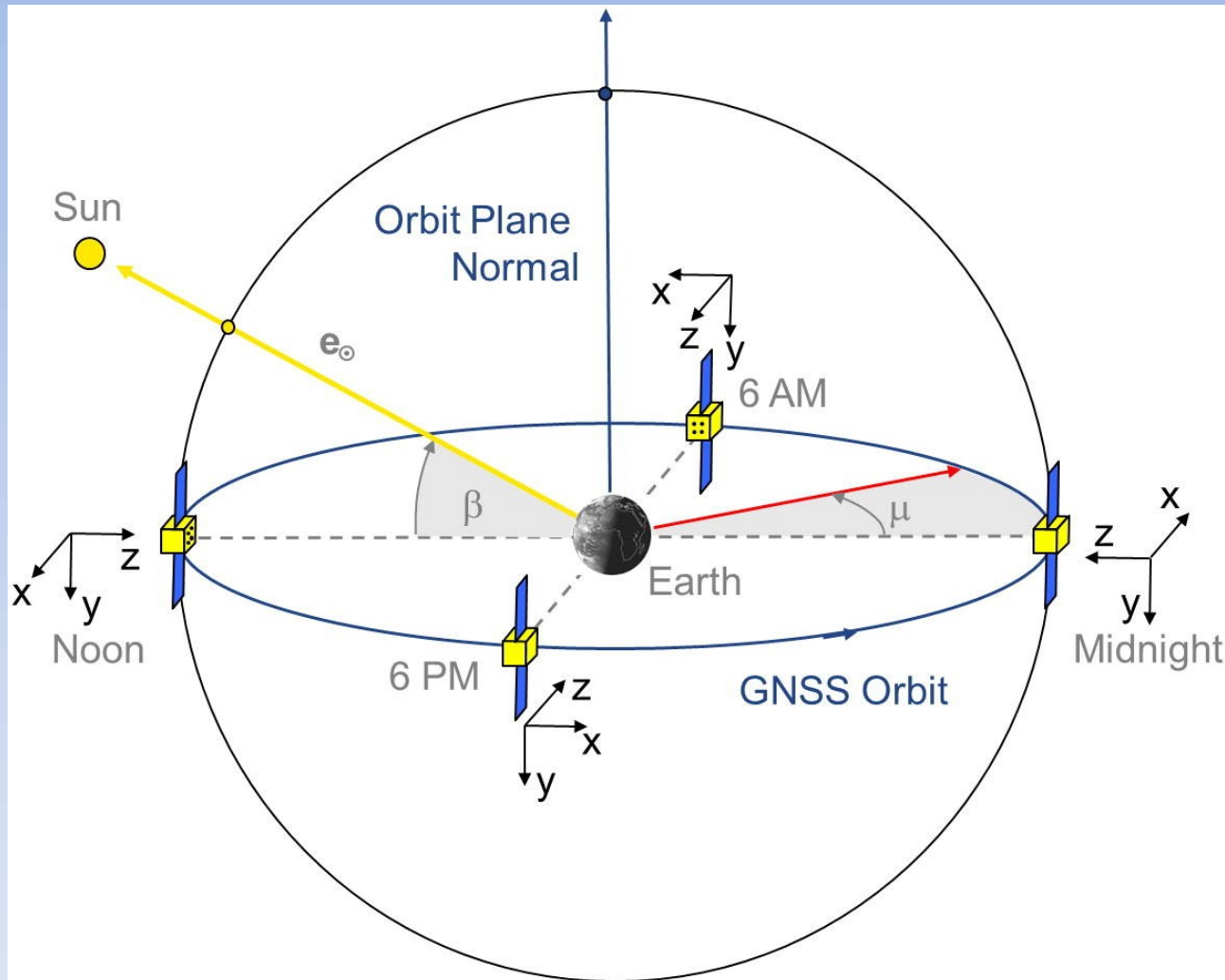
## segment kosmiczny



Sterowanie typu Beczka (YS, yaw-steering).

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

## segment kosmiczny



Sterowanie typu prostopadłe do orbity (Orbit Normal).

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

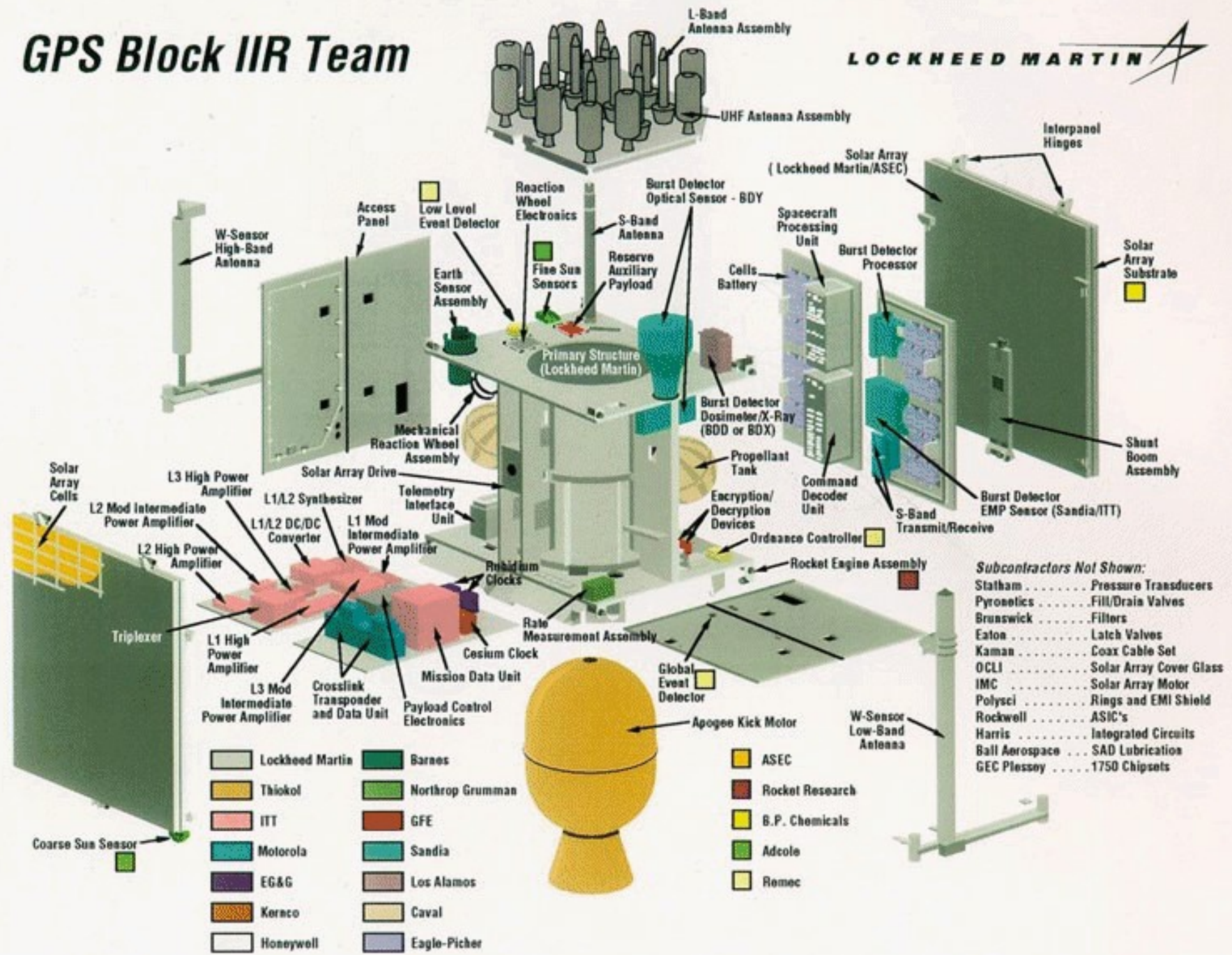
## segment kosmiczny

Satelita operacyjny systemu nawigacyjnego powinien być wyposażony w odpowiedni zestaw urządzeń i podsystemów, z których najważniejsze to:

- blok nadawczy zapewniający nieprzerwaną emisję sygnałów nawigacyjnych,
- blok odbiorczy umożliwiający odbiór sygnałów przekazywanych przez segment naziemny,
  - antena o odpowiednio dobranej charakterystyce, stanowiące integralną całość z blokiem nadawczym oraz z blokiem odbiorczym,
  - blok kontroli i sterowania pracą wszystkich podzespołów,
    - odpowiednio zaprogramowany komputer pokładowy,
  - blok zapewniający właściwe zorientowanie satelity względem Ziemi i jego położenie na orbicie (czujniki, koła zamachowe, silniki korekcyjne itp.),
    - bloki kontroli czasu, temperatury itp.,
- źródło i magazyn energii zapewniające stałe funkcjonowanie wszystkich podzespołów satelity.

# GPS Block IIR Team

LOCKHEED MARTIN



**Subcontractors Not Shown:**

- Statham . . . . . Pressure Transducers
- Pyrotechs . . . . . Fill/Drain Valves
- Brunswick . . . . . Filters
- Eaton . . . . . Latch Valves
- Kaman . . . . . Coax Cable Set
- OCLI . . . . . Solar Array Cover Glass
- IMC . . . . . Solar Array Motor
- Polysci . . . . . Rings and EMI Shield
- Rockwell . . . . . ASIC's
- Harris . . . . . Integrated Circuits
- Ball Aerospace . . . . . SAD Lubrication
- GEC Plessey . . . . . 1750 Chipsets

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych segment kosmiczny

Satelity GPS posiadają kilka rodzajów anten radiowych:

- pasmo L: 1-2 GHz, 30-15 cm (sygnał nawigacyjny i czasowy)
- pasmo S: 2-4 GHz, 15-7.5 cm (sygnał telemetryczny i kontrolny)
- pasmo UHF: 300 MHz – 3 GHz, 1m – 1dm (komunikacja pomiędzy satelitami)

uplink: 1783.74 MHz

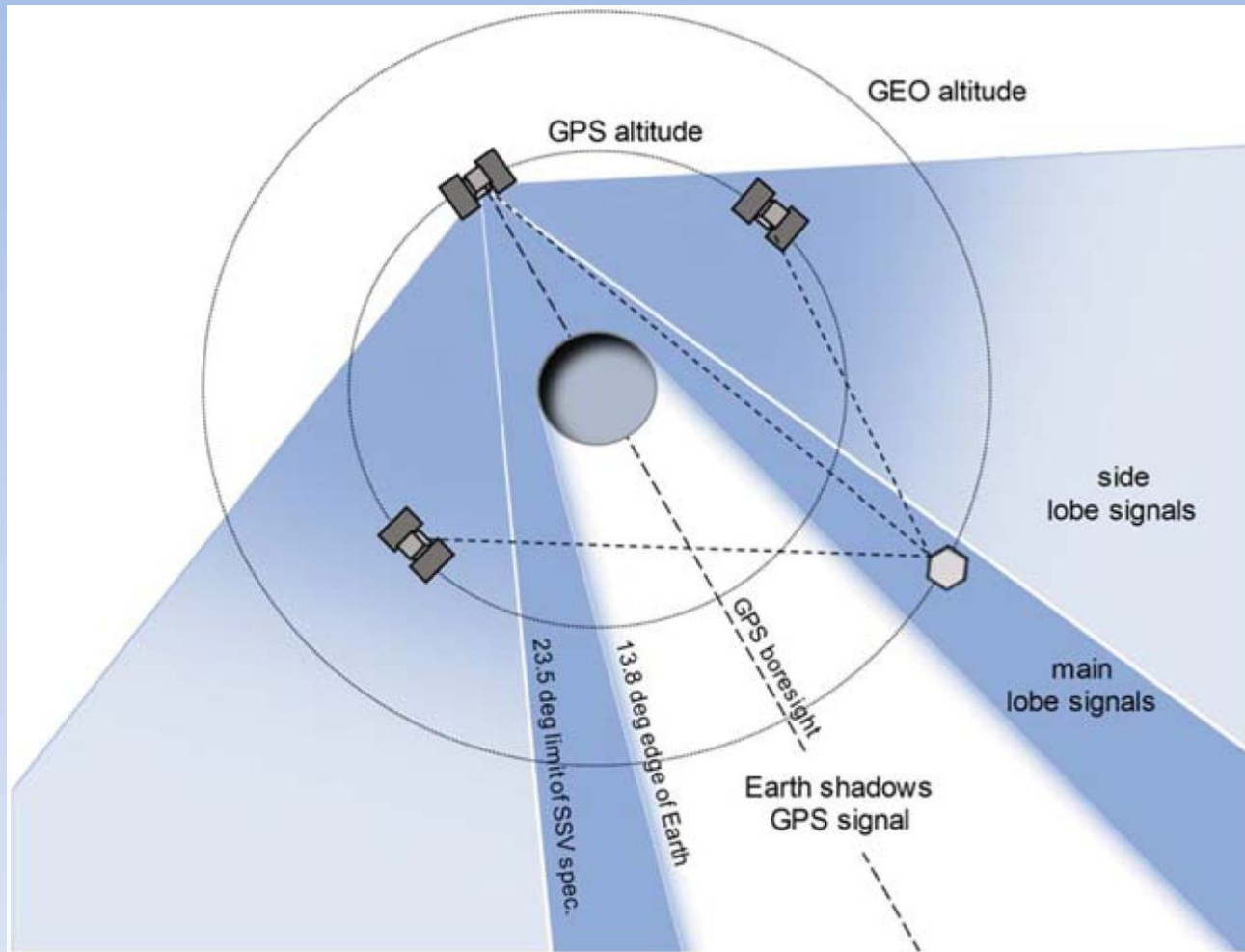
downlink: 2227.50 MHz

Satelity GPS pełnią też funkcję wykrywania detonacji jądrowych:

- bhangmeter (radiometr nieobrazujący wykrywający charakterystyczny podwójny impuls światła niebieskiego),
- detektor promieniowania X,
- dozymetr (detektor promieniowania wysokoenergetycznego),
- detektor impulsu radiowego EMP (tzw. W-sensor).

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

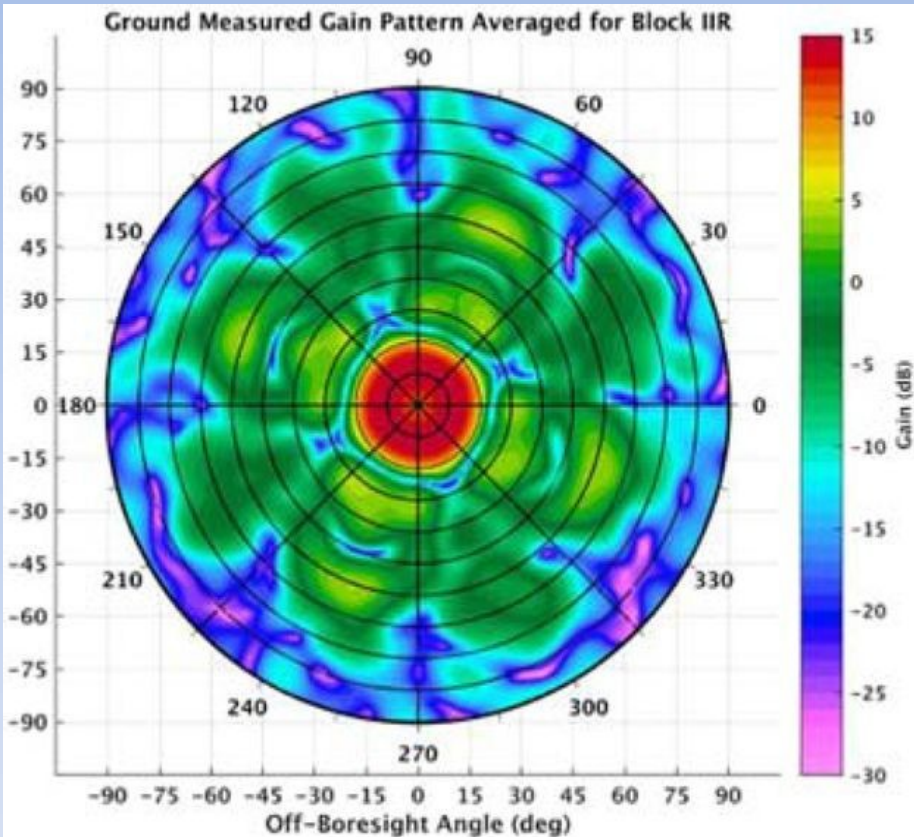
## segment kosmiczny



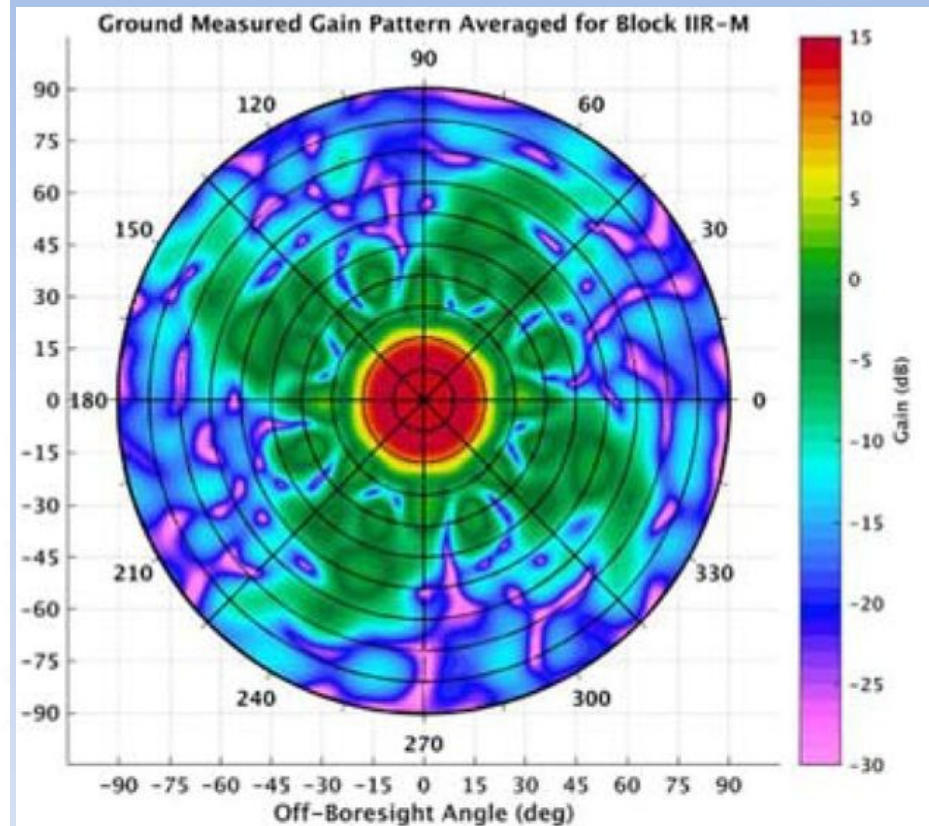
Przybliżone pokrycie sygnałem GPS w kosmosie dla sygnału L1.

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

## segment kosmiczny



(A)

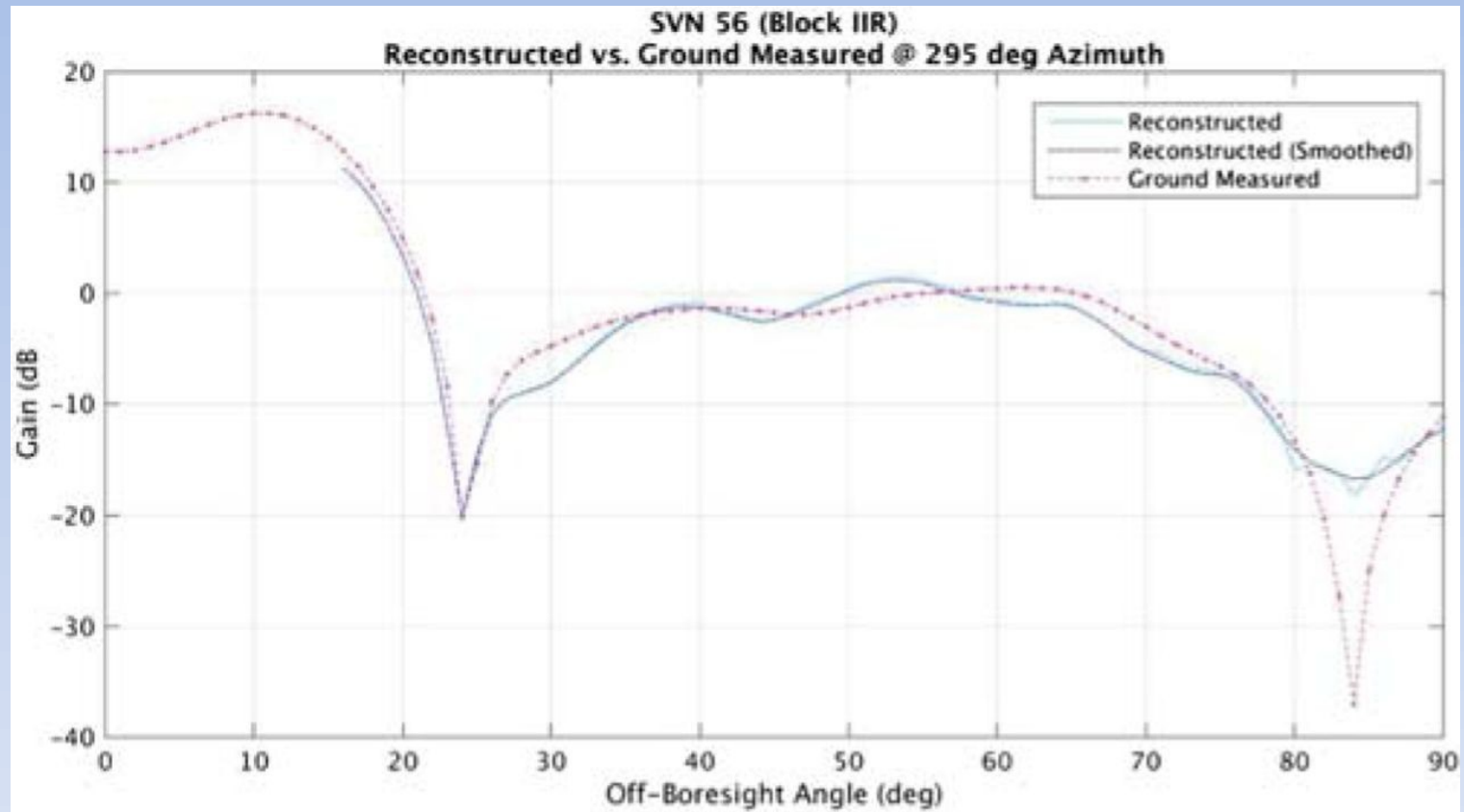


(A)

Charakterystyka kierunkowa anten pasma L: blok IIR (lewy) i blok IIR-M (prawy).

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

## segment kosmiczny

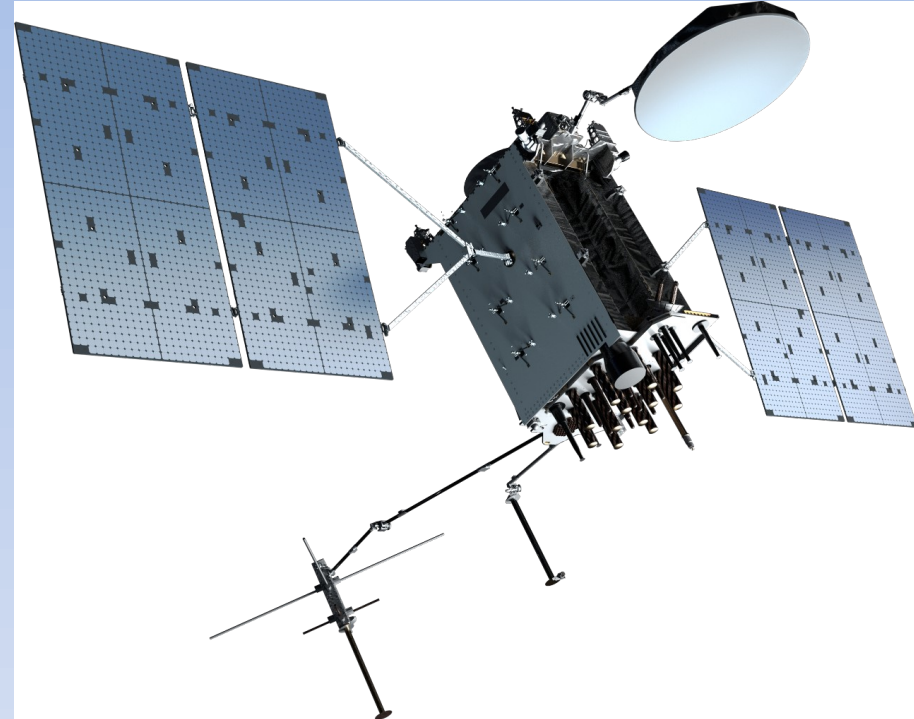
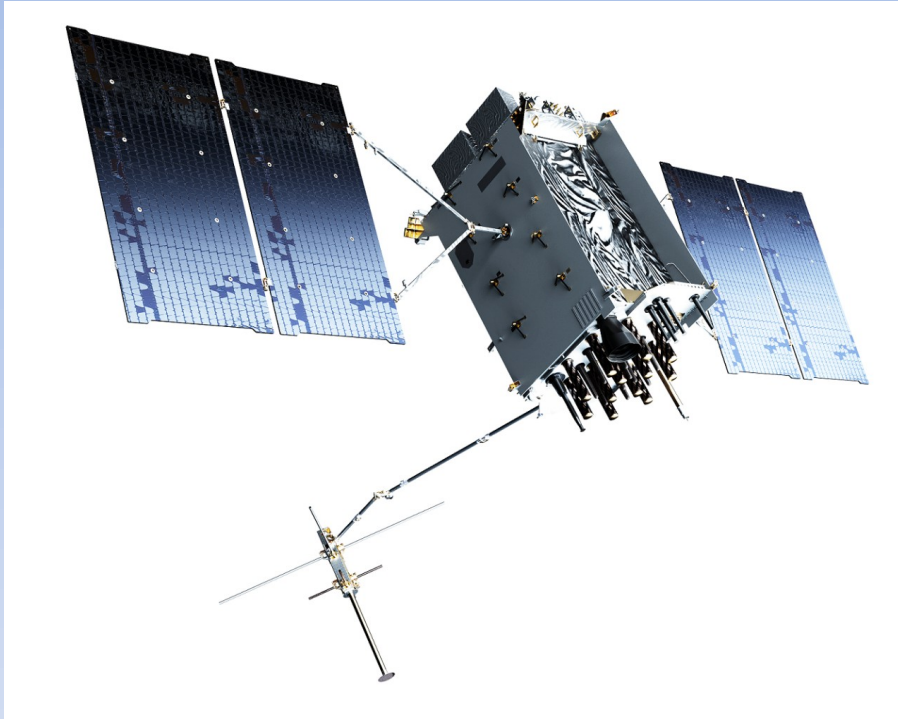


Charakterystyka kierunkowa anten pasma L: blok IIR.



# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

## segment kosmiczny



GPS blok III i IIIIF

Dodatkowe anteny kierunkowe wzmacniająca sygnał o ok. 20db  
w wybranym regionie Ziemi (o promieniu kilkuset km).

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych segment kosmiczny

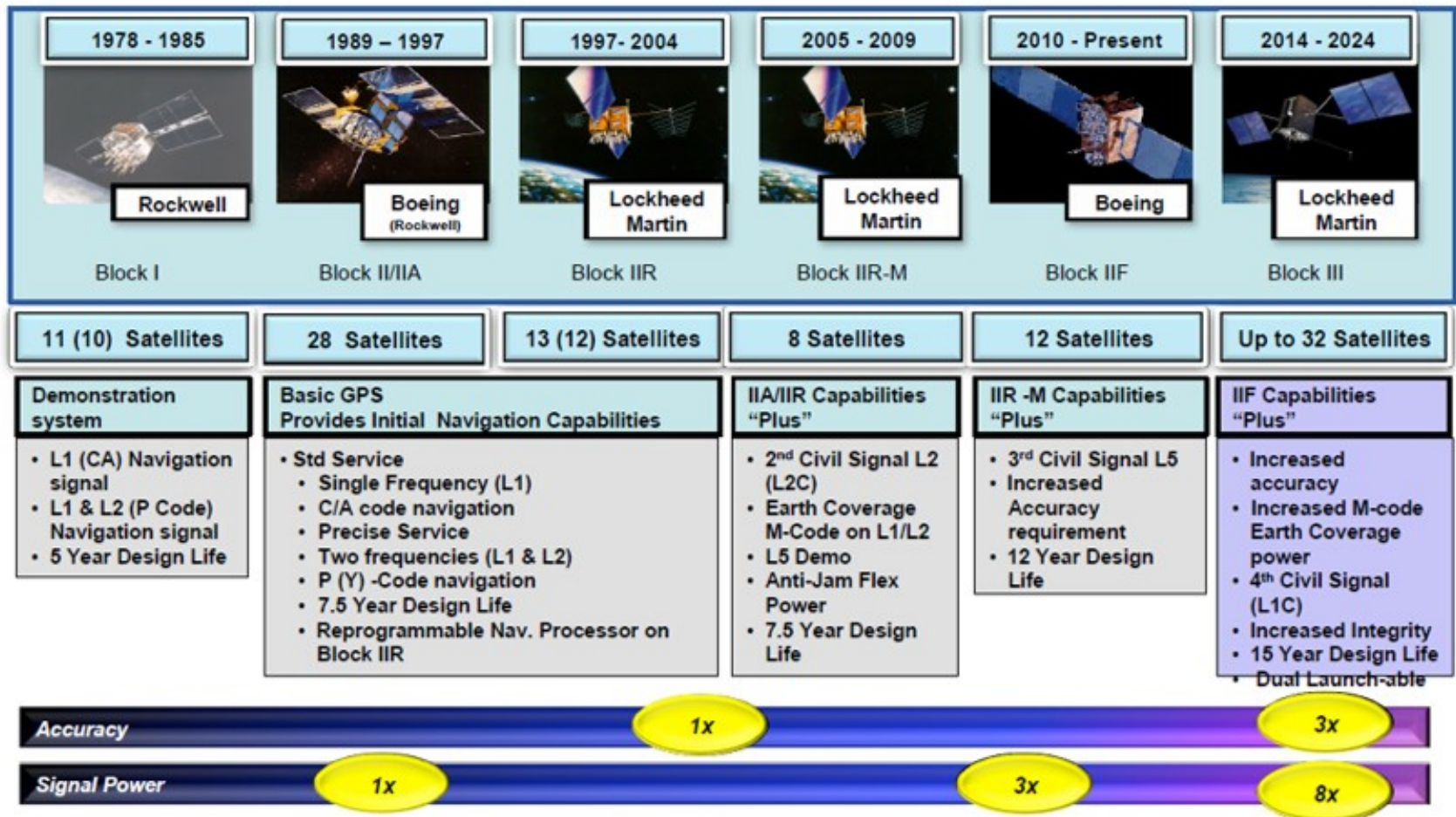


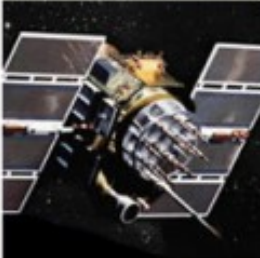

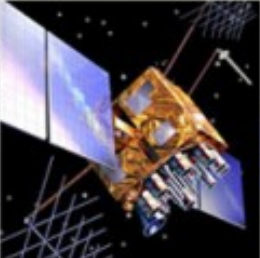
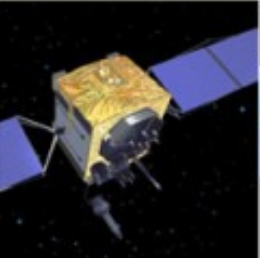
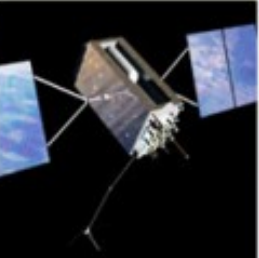
GPS blok II w muzeum (Qualification Test Vehicle).

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

## segment kosmiczny

## GPS Evolution—Space Segment



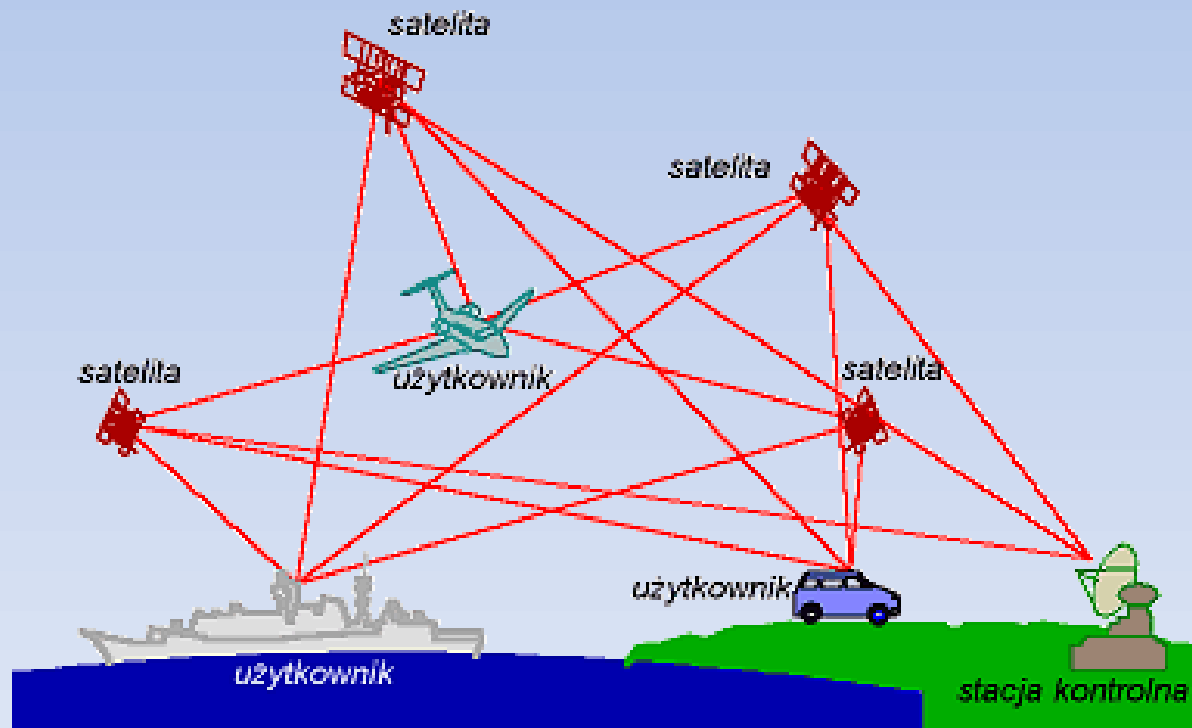
LEGACY SATELLITES		MODERNIZED SATELLITES		
				
BLOCK IIA	BLOCK IIR	BLOCK IIR-M	BLOCK IIF	GPS III/IIF
0 operational	9 operational	7 operational	12 operational	2 operational
<ul style="list-style-type: none"> <li>Coarse Acquisition (C/A) code on L1 frequency for civil users</li> <li>Precise P(Y) code on L1 &amp; L2 frequencies for military users</li> <li>7.5-year design lifespan</li> <li>Launched in 1990-1997</li> <li>Last one decommissioned in 2019</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C/A code on L1</li> <li>P(Y) code on L1 &amp; L2</li> <li>On-board clock monitoring</li> <li>7.5-year design lifespan</li> <li>Launched in 1997-2004</li> </ul> <p><a href="#">LEARN MORE ABOUT GPS IIR AT AF.MIL</a> ➔</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>All legacy signals</li> <li>2nd civil signal on L2 (L2C) <a href="#">LEARN MORE</a> ➔</li> <li>New military M code signals for enhanced jam resistance</li> <li>Flexible power levels for military signals</li> <li>7.5-year design lifespan</li> <li>Launched in 2005-2009</li> </ul> <p><a href="#">LEARN MORE ABOUT GPS IIR-M AT AF.MIL</a> ➔</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>All Block IIR-M signals</li> <li>3rd civil signal on L5 frequency (L5) <a href="#">LEARN MORE</a> ➔</li> <li>Advanced atomic clocks</li> <li>Improved accuracy, signal strength, and quality</li> <li>12-year design lifespan</li> <li>Launched in 2010-2016</li> </ul> <p><a href="#">LEARN MORE ABOUT GPS IIF AT AF.MIL</a> ➔</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>All Block IIF signals</li> <li>4th civil signal on L1 (L1C) <a href="#">LEARN MORE</a> ➔</li> <li>Enhanced signal reliability, accuracy, and integrity</li> <li>No Selective Availability <a href="#">LEARN MORE</a> ➔</li> <li>15-year design lifespan</li> <li>IIF: laser reflectors; search &amp; rescue payload</li> <li>First launch in 2018</li> </ul> <p><a href="#">LEARN MORE ABOUT GPS III AT AF.MIL</a> ➔</p>

Rodziny satelitów systemu GPS

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

## segment naziemny

Przez segment naziemny systemu satelitarnego należy rozumieć zlokalizowane na powierzchni Ziemi i uczestniczące w funkcjonowaniu systemu stacje śledzące, kontrolne, centrum obliczeniowe oraz stacje przesyłające informacje do satelitów, zwane inaczej stacjami uaktualniającymi bądź korygującymi.



# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych segment naziemny

Liczba tych stacji i ich rozmieszczenie uzależnione jest od:

- Wielkości i położenia geograficznego państwa sprawującego bezpośrednią kontrolę nad danym systemem oraz usytuowania terytoriów, wysp lub baz do niego należących bądź od niego zależnych,
- Zasad działania systemu
- Segmentu kosmicznego (liczby satelitów i ich orbit).

Prawidłowy rozkład poszczególnych stacji segmentu naziemnego pozwala bowiem na ciągłą kontrolę sygnałów wysyłanych przez satelity, szybkie wykrycie ewentualnych nieprawidłowości w ich działaniu oraz możliwość natychmiastowego nawiązania z nimi łączności.

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

## segment naziemny

Do zadań segmentu naziemnego należy:

- Ustalanie i utrzymywanie orbit satelitów.

Decydującą rolę odgrywają tu odpowiednio rozmieszczone na Ziemi stacje śledzące ruch satelitów, których powinno być co najmniej trzy. Stacje te odbierają sygnały na wszystkich częstotliwościach emitowanych przez satelitę dokonując jednocześnie wszelkich możliwych pomiarów. Centrum obliczeniowe systemu na podstawie tych pomiarów ekstrapoluje elementy orbity poszczególnych satelitów na najbliższe kilka lub kilkanaście godzin i przesyła je do stacji korygujących, a te z kolei do satelitów.

Trajektorie (orbity) satelitów są stale perturbowane przez siły grawitacyjne Ziemi, Słońca, Księżyca, innych planet, ciśnienie promieniowania słonecznego, efekt Yorp itp.

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

## segment naziemny

Do zadań segmentu naziemnego należy:

- Kontrola „kondycji” technicznej satelity.

Celem tej kontroli jest nieprzerwane utrzymywanie we właściwym stanie wyposażenia technicznego, sensorów, wszystkich anten nadawczo odbiorczych i wszelkich innych urządzeń zamontowanych na satelicie.

Elementy te bowiem są narażone na oddziaływanie czynników zakłócających takich jak: wysokoenergetyczne promieniowanie słoneczne, promieniowanie kosmiczne, wiatr słoneczny, cząstki w pasach van Alena.



# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych segment naziemny

Do zadań segmentu naziemnego należy:

- Zebranie danych telemetrycznych.

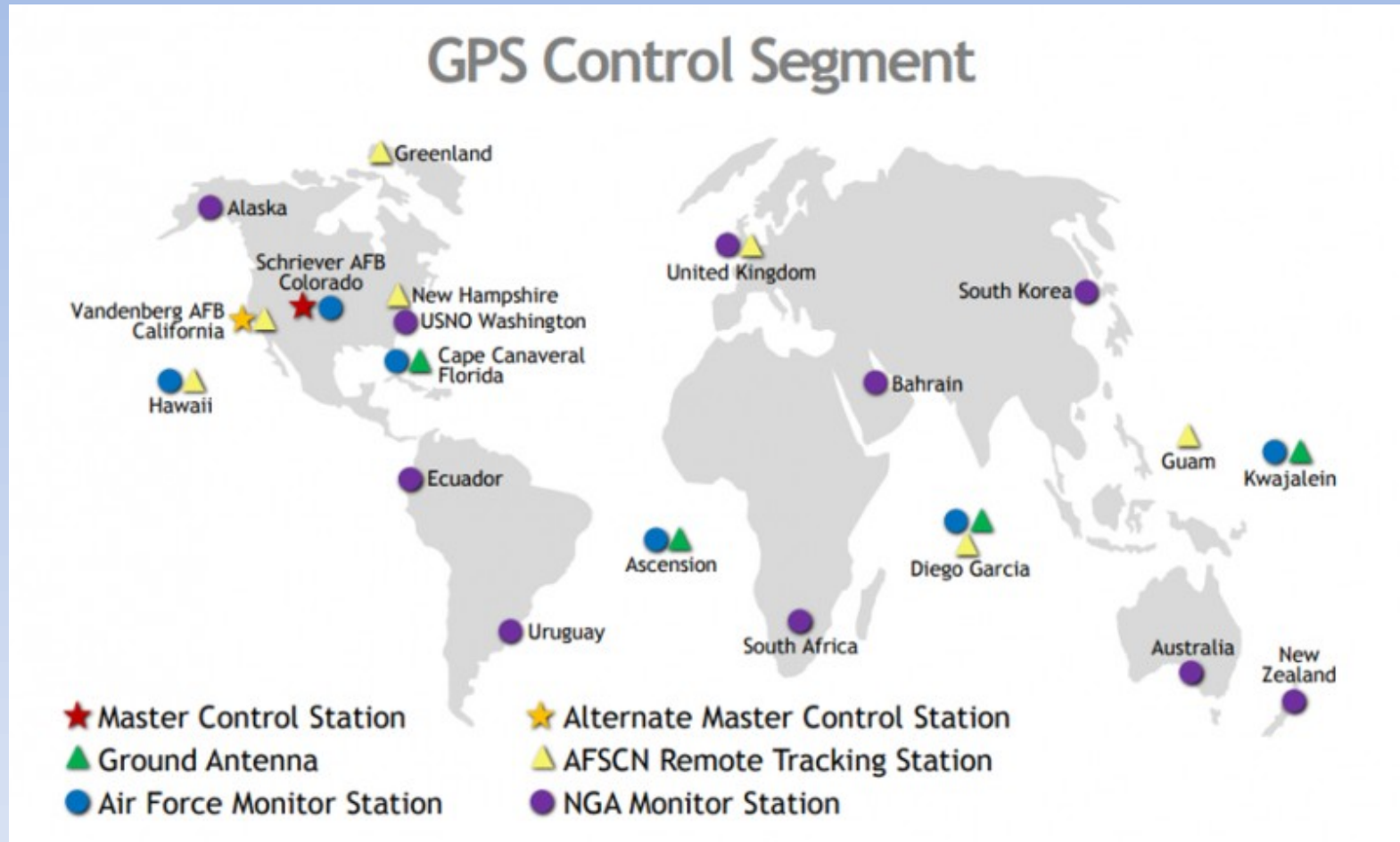
Polega ona na pomiarze i zbieraniu danych z satelity służących do dokładnej jego oceny.

- Analiza danych telemetrycznych.

Czynnikiem decydującym o ocenie działania systemu przez segment naziemny jest analiza odebranych danych telemetrycznych, mająca na celu wykazanie, w jakim stopniu poszczególne elementy całego systemu wywiązują się z powierzonych im zadań.

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

## segment naziemny

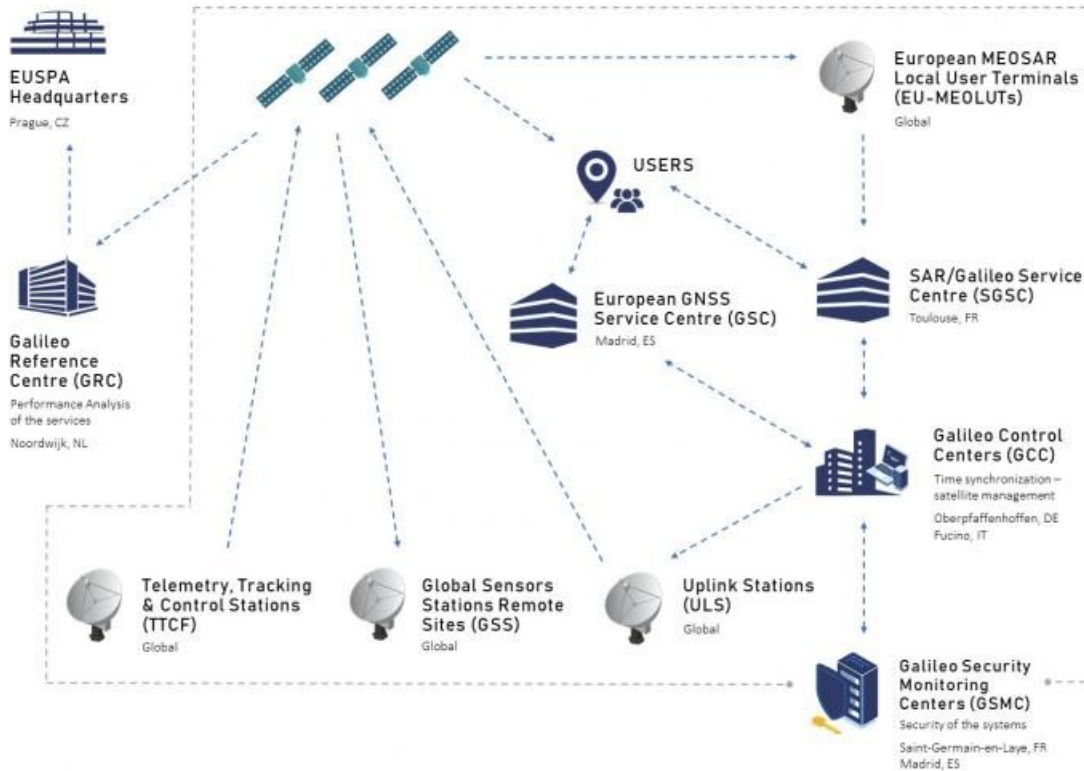


Stan z 2017

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych



## Galileo Signal Processing



### EUSPA Headquarters

From its Prague headquarters, EUSPA manages the Galileo and EGNOS programmes, develops markets for Copernicus services and data, coordinates user-related aspects of the GOVSATCOM programme, and carries out work in various areas targeted at Security, Research and Development and increasing space's contribution to the EU Market. The Agency is also responsible for the security accreditation of all the components of the EU Space Programme.



### Galileo ILS Centre (GILSC)

The Galileo ILS Centre is the Galileo Central Warehouse, aimed to support an efficient spare part and repair provisioning service for Galileo ground infrastructure, and to hold the spare part stock for corrective and preventive maintenance, especially for the Remote Sites.



### Remote sites around the world

The Galileo Ground Mission Segment (GMS) consists of the Galileo Control Centres (GCC) in Italy and Germany and a worldwide network of ground stations, including Galileo Sensor Stations (GSS), which collect Galileo signal in space measurements, Galileo Uplink Stations (ULS), which distribute and uplink mission data to the Galileo constellation, Telemetry, Tracking & Control stations (TT&C), which collect and forward telemetry data generated by the Galileo satellites, and European MEOSAR Locator User Terminals (EU-MEOLUTS).



### Galileo Security Monitoring Centre (GSMC)

The Galileo Security Monitoring Centre (GSMC) undertakes Galileo Security Monitoring, which involves monitoring and taking action regarding security threats, security alerts and the operational status of system components. It acts as well as the interface to the PRS users.



### Galileo Control Centres (GCC)

The Galileo Control Centres - GCC-D Germany and GCC-I in Italy - operate and manage the Galileo constellation. The main mission of the GCC-D is to control the satellites in space, while GCC-I main mission is to be responsible for the overall navigation mission, but the centres are fully interchangeable.



### European GNSS Service Centre (GSC)

The European GNSS Service Centre (GSC) provides the single interface between the Galileo system and the users of the Galileo services (OS/OSNMA/HAS) and contributes to SAR/Galileo service. Its mission is to provide general information and expertise, performance assessment, GNSS data, Service Notifications and support Galileo services provision.



### SAR/Galileo Service Centre (SGSC)

The SAR/Galileo Service Centre (SGSC) is operating SAR Ground Segment (SGS) and Return Link Service Facility (RLSP) contributing to Forward and Return Link Services. This centre monitors SAR/Galileo Service and acts as the main interface towards SAR users.



### Galileo Reference Centre (GRC)

The Galileo Reference Centre (GRC) monitors, assesses and reports on all GNSS's performance and provides EUSPA with an independent means of evaluating the quality of the signals in space and the performance of the Galileo Service.

# Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych

#EUSpace



- HQ: Headquarters
- GCC: Galileo Control Centre
- GSMC: Galileo Security Monitoring Centre
- SGSC: SAR/Galileo Service Centre
- GSC: GNSS Service Centre
- GRC: Galileo Reference Centre
- GILSC: Galileo Integrated Logistic Support Centre
- TTTC: Telemetry, Tracking and Command
- ULS: Uplink Station
- BSS: Ground Sensor Station
- MEOLUT: Medium Altitude Earth Orbit Local User Terminal
- REFBE: Galileo/SAR Reference Beacons
- IOT: In-Orbit Testing station

