



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE  
AGH UNIVERSITY OF KRAKOW

# Globalny System Pozycyjny (GPS)

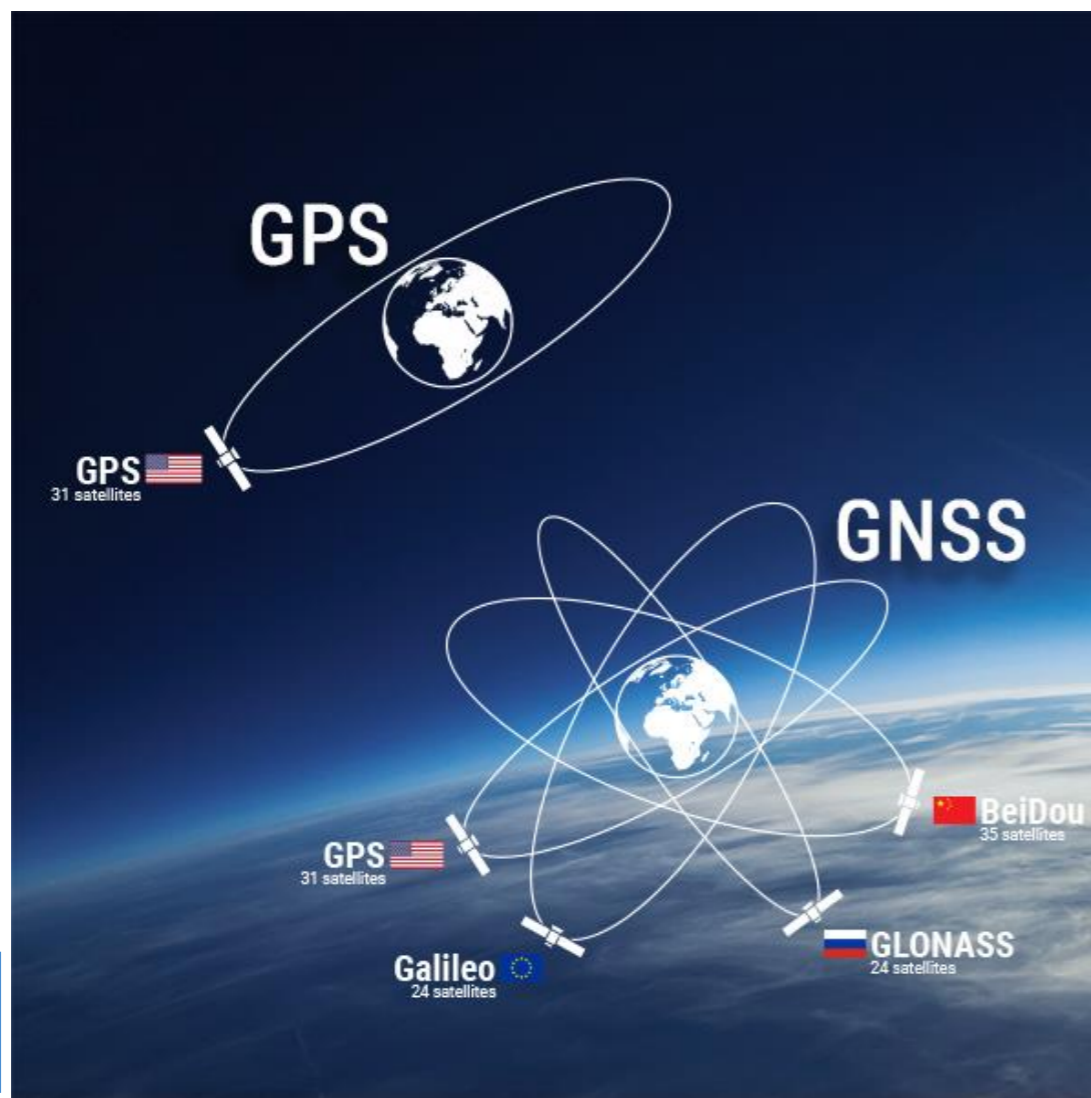
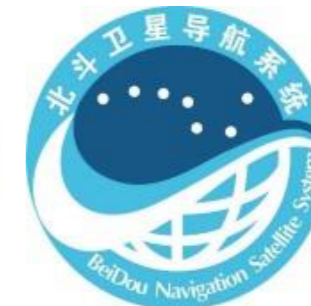
Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych

Tomasz Bartuś  
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska  
Katedra Geologii Ogólnej i Geoturystyki

## GPS-NAVSTAR



- **Globalny System Pozycyjny GPS** (ang. **GPS-NAVSTAR** (***G**lobal **P**ositioning **S**ystem – **N**avigation **S**ignal **T**iming **A**nd **R**anging*)) jest własnością Departamentu Obrony (*DoD-Department of Defense*) USA.
- Jest to system globalny, który przy pomocy konstelacji satelitów krążących po orbitach umożliwia uzyskanie informacji o pozycji i czasie.
- Dzięki niskim cenom odbiorników jest dziś powszechnie wykorzystywany w nawigacji lądowej, lotniczej i morskiej, w geodezji, ratownictwie, przemyśle, turystyce i innych.



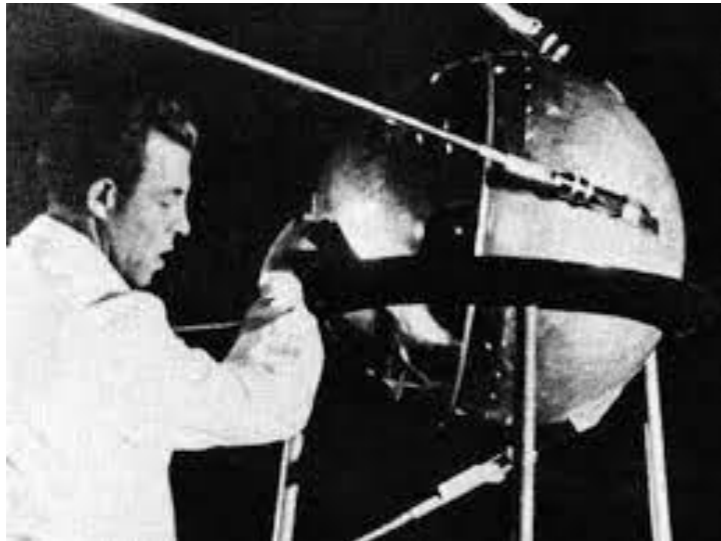
Ze względów historycznych największe znaczenie ma system GPS ale istnieją też inne:

- rosyjski **GLONASS**,
- europejski **Galileo**,
- japoński **QZSS** (**Q**uasi-**Z**enith **S**atellite **S**ystem),
- indyjski **NAVIC** (**NAV**igation with **I**ndian **C**onstellatio),
- chiński **BeiDou**.

Systemy, które mają charakter globalny nazywane są **GNSS** (**G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystems).

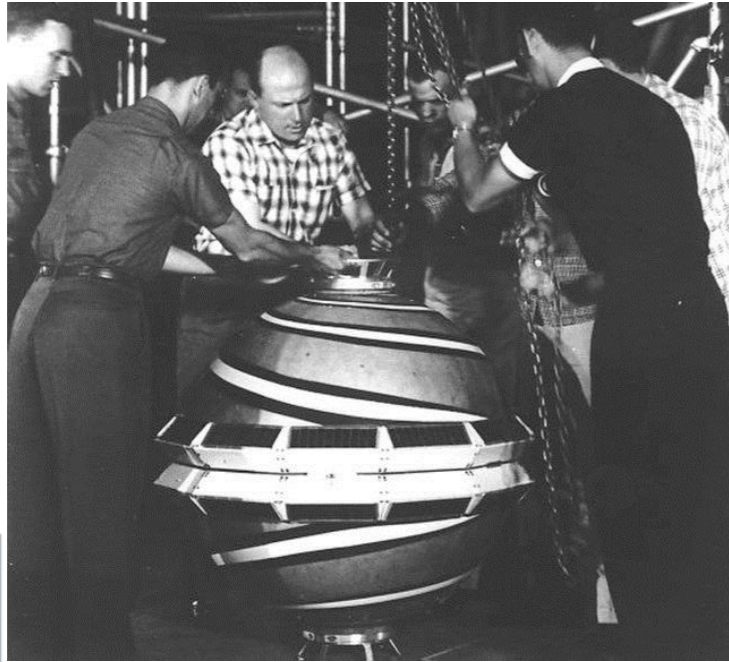
## Początki systemu GPS

Planetarium Toruń



- W 1957 r. w Laboratorium Fizyki Stosowanej na Uniwersytecie Johna Hopkinsa w Baltimore (USA) prowadzono nasłuch sygnałów nadawanych przez satelitę *Sputnik I* na częstotliwości 20MHz. Zwrócono uwagę na zmiany częstotliwości odbieranego sygnału. Wynikały one z przemieszczania się satelity względem odbiornika na Ziemi (efekt Dopplera).
- Naukowcy wykazali, że wykorzystując przesunięcie częstotliwości sygnałów odbieranych z satelity, są w stanie określić jego orbitę i położenie.

## TRANSIT



- 1958–64 – powstał pierwszy globalny, amerykański systemem pozycjonowania satelitarnego **TRANSIT** (NAVSAT, NNSS).
- System ten tworzony był z myślą o Marynarce Wojennej USA, jednak w 1967 roku udostępniono go także cywilom.

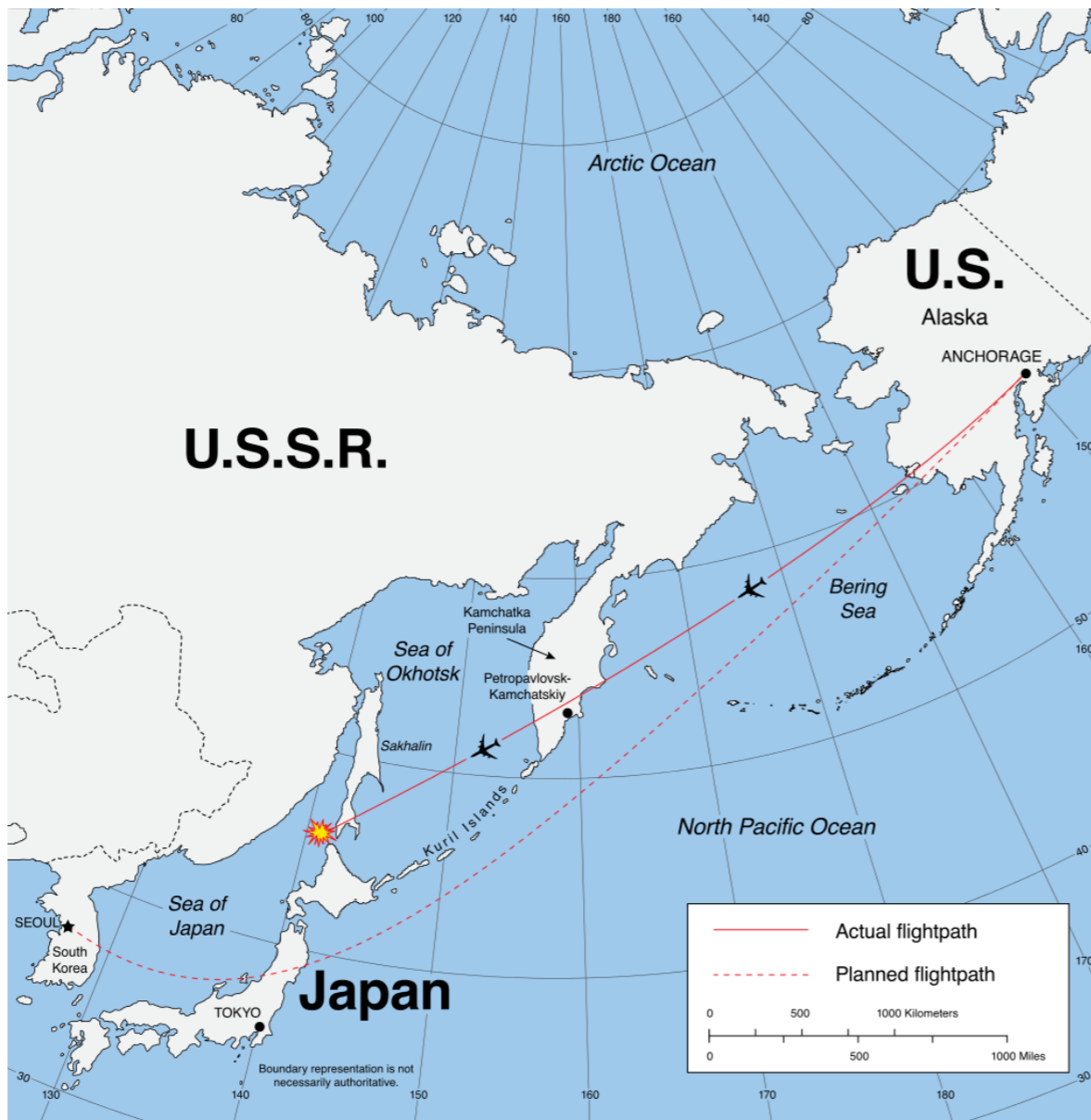
- Wykorzystywał efekt Dopplera, co wydłużało czas pomiaru pozycji do kilkunastu minut. Dokładność X00 m.
- Satelity umieszczone były na niskich orbitach (1100 km nad Ziemią).

## Kalendarium GPS



- **1973** – Podjęcie decyzji o zaprojektowaniu satelitarnego systemu pozycjonowania w oparciu o doświadczenia jakie zebrano przy projektowaniu systemów TRANSIT, TIMATION oraz 621 B. Nowo powstały system miał być wykorzystywany przez wszystkie rodzaje sił zbrojnych USA.
- **1978** – Pierwszy satelita systemu GPS został wyniesiony na orbitę.
- **1978–85** – Umieszczono na orbicie 11 satelitów **bloku I**.
- **1980–82** – Ze względu na problemy finansowe istniała groźba porzucenia projektu budowy systemu GPS.

## Lot KAL007 (1983)



[Wikipedia](#)

Boeing 747 nr rej. HL7442  
246 podróżnych

## Kalendarium GPS



- **1983** – Po zestrzeleniu nad Rosją samolotu Koreańskich Linii Lotniczych KAL007 postanowiono udostępnić system do zastosowań cywilnych.
- **1989–90** – Wystrzelono 9 satelitów **bloku II.**

## Kalendarium GPS

- **1990–91** – I wojna w Zatoce Perskiej, częściowo wyłączono **SA** aby do działań wojskowych można było wykorzystać także cywilne odbiorniki GPS.

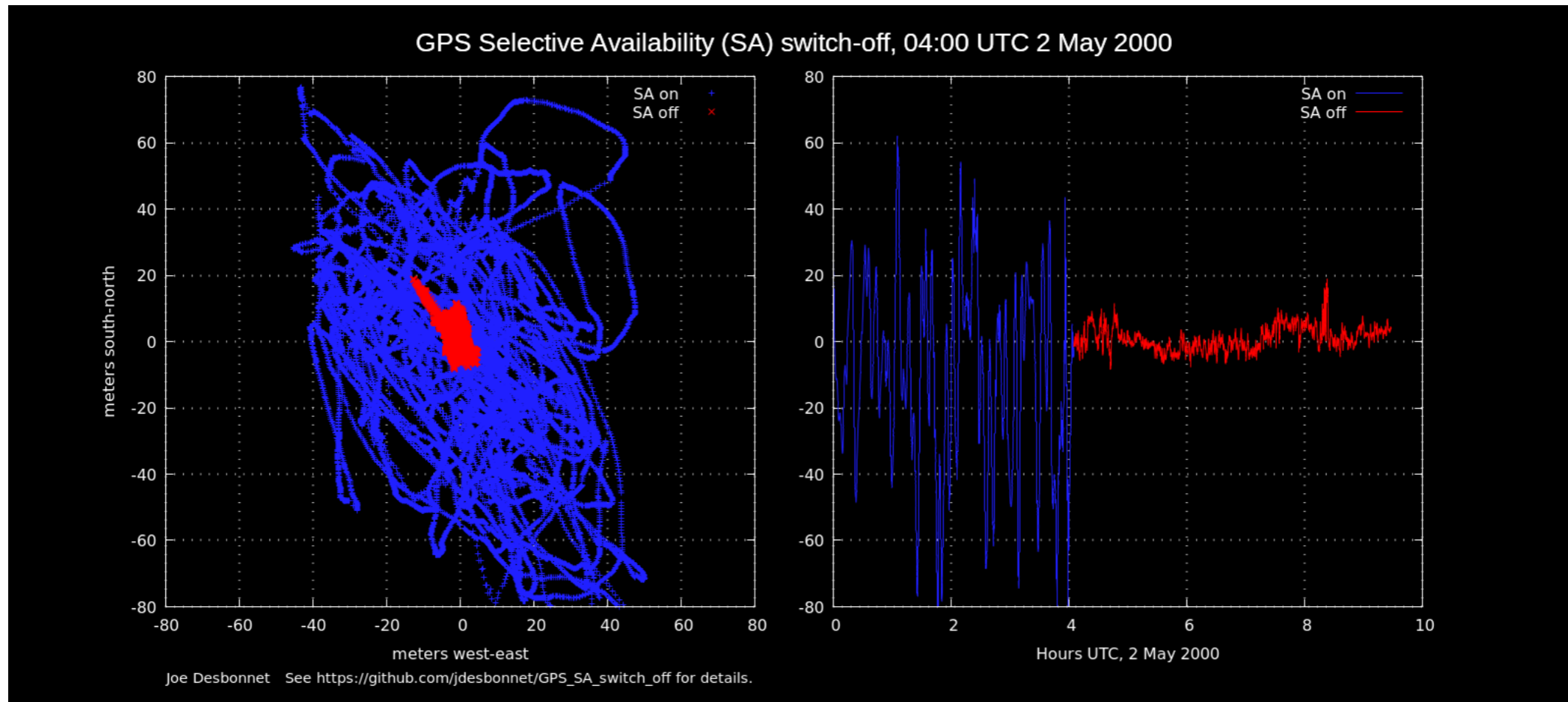


## Kalendarium GPS

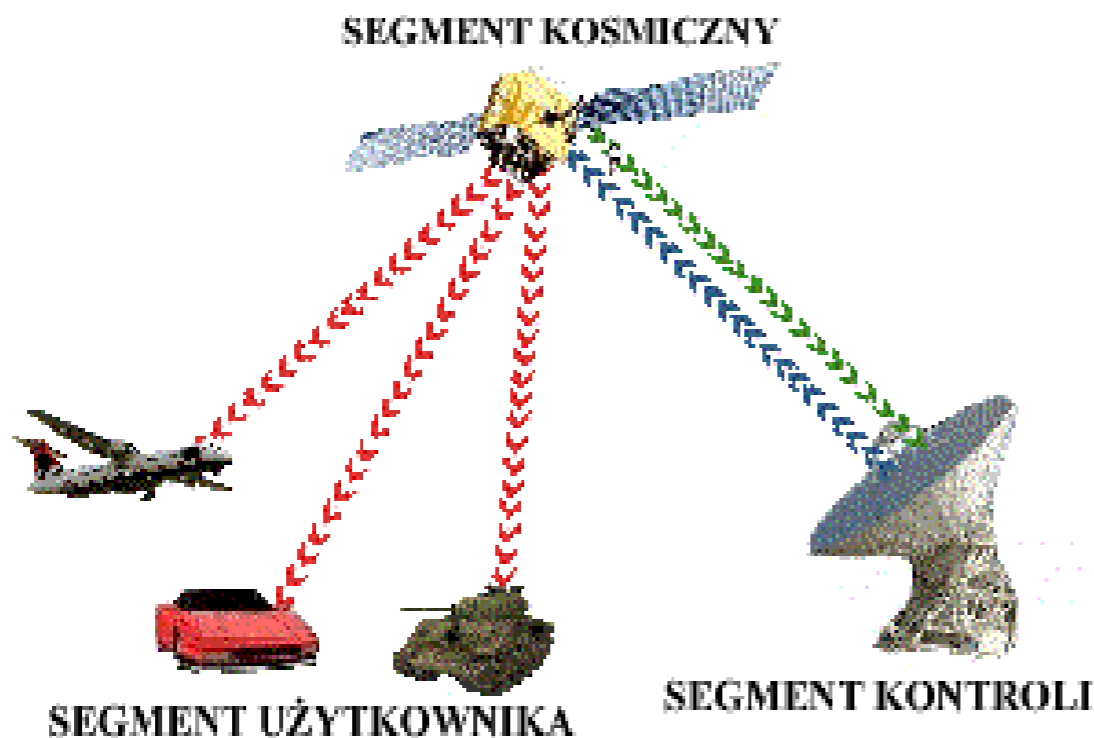
- **1990–97** – Wystrzelono 19 satelitów **bloku IIA** (obecnie żaden z tych satelitów nie jest sprawny).
- **1995** – Osiągnięto pełną operatywność systemu.
- **1997–2004** – wystrzelono 12 satelitów **bloku IIR** (obecnie wszystkie satelity tego bloku są sprawne).
- **2000** – wyłączono na stałe zakłócanie SA .
- **2005–09** – Wystrzelono 8 satelitów **bloku IIR-M** (obecnie 7 satelitów jest sprawna i przebywa na orbicie).
- **2010–16** – Na orbicie umieszczono 12 satelitów **bloku IIF** (wszystkie są sprawne).

## Kalendarium GPS

Ze względów strategicznych sygnał cywilny był zakłócany (ang. ***Selective availability*** – **SA**) i dokładność pomiarów ograniczono do około 100 m.



## Architektura systemu GPS

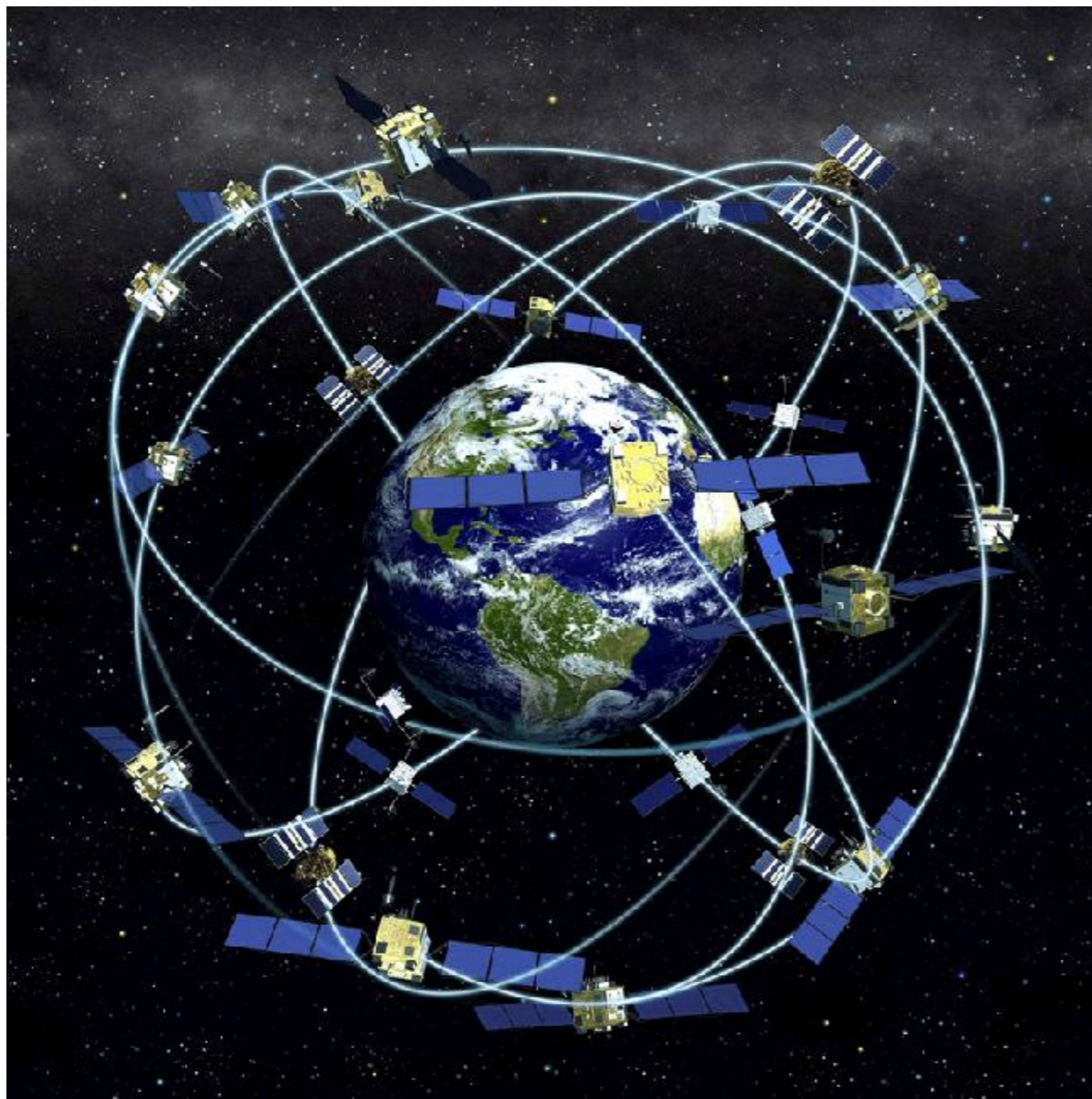


- Architektura systemu GPS oparta jest o:
- **segment kosmiczny** (sieć satelitów),
- **segment kontroli** (urządzenia naziemne),
- **segment użytkownika** (odbiorniki).

## Segment kosmiczny

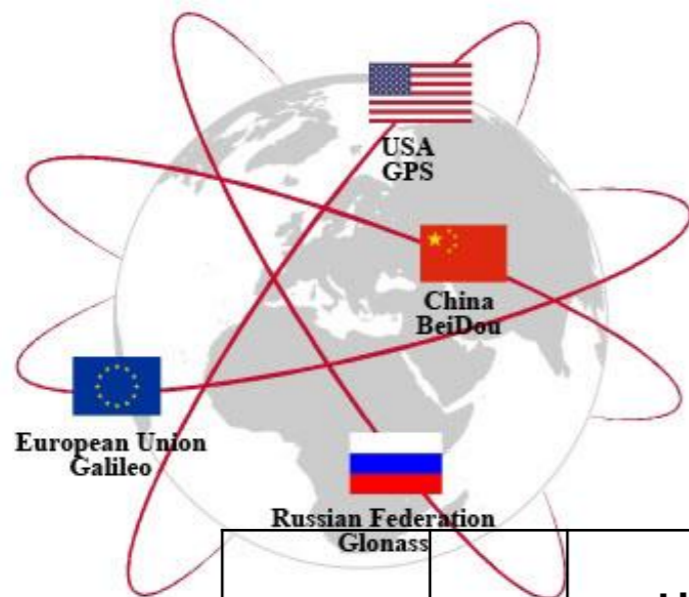


## GPS



- System tworzy sieć obecnie **31** satelitów krążących po **6** średnich orbitach (nieco ponad **20 183 km** ponad Ziemią).
- Liczba czynnych satelitów zmienia się, **min. 24**.
- Czas okrążenia Ziemi przez satelitę wynosi:  
**11 h 57 min i 58,3 sek.**

## Inne systemy określania pozycji

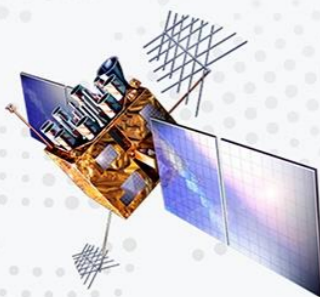


System	Liczba orbit	Liczba satelitów		Wysokość orbit [km]	Okres orbitalny	Obszar pokrycia Ziemi przez jednego satelitę	
		na jednej orbicie	łącznie			[km <sup>2</sup> ]	% pow. Ziemi
<b>GPS</b>	6	4–6	31 (77)	20 183	11 h 57 min. 58,3 sek.	193 705 518	38,0
<b>GLONASS</b>	3	8	24 (26)	19 100	11 h 15 min. 44 sek.	191 117 254	37,5
<b>Galileo</b>	3	10	24 (30)	23 222	14 h 4 min. 45 sek.	199 969 523	39,2
<b>BeiDou</b>	3	9	35 (35)	21 500	12 h 56 min. 16,05 sek.	196 773 430	38,6

## Satelite Lockheed Martin

# GPS HERITAGE

Lockheed Martin has a strong heritage in designing, building and sustaining the U.S. Air Force's Global Positioning System (GPS). The backbone of today's GPS constellation, our GPS IIR/IIR-M satellites continue to deliver well beyond their design life. With GPS III/IIIF, we are helping modernize today's GPS with flexible, new technology and advanced capabilities to help the Air Force address the changing mission needs of the future.



### GPS IIR

Since the launch of the first GPS IIR satellite, GPS has become completely woven into all aspects of modern life – delivering sustained, reliable capabilities to meet the needs of billions of GPS users worldwide.

- 12 satellites launched 1997-2004
- Frequencies: L1, L2
- Increased signal reliability
- Reprogrammable processors onboard
- Original design life: 7.5 years



### GPS IIR-M

To enhance operations and navigation, eight GPS-R satellites were modernized. Perhaps most important, GPS IIR-M satellites included new Civil and Military signals providing additional capabilities.

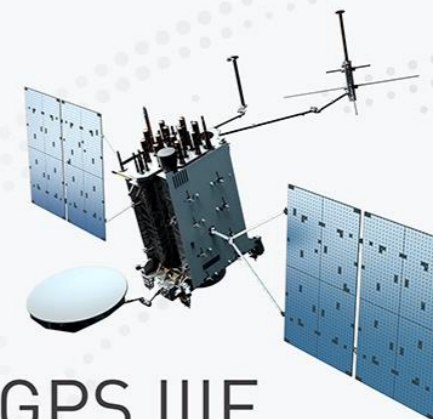
- 8 satellites launched 2005-2009
- L2C Civilian signal added
- L1M and L2M Military signals added
- Anti-jam flex power
- Original design life: 7.5 years



### GPS III

GPS III will meet users' emerging needs and respond to tomorrow's threats with improved safety, signal integrity and unbelievable accuracy.

- On contract for 10 GPS III satellites
- Doubled design life of 15 years
- 3 times more accurate
- 8 times improved anti-jam capability
- L1C Global Navigation Satellite Systems (GNSS) compatibility
- Proven compatible with the current GPS constellation and the OCX ground control segment
- Designed to evolve to incorporate new technology and changing mission needs



### GPS IIIF

The GPS III Follow On (GPS IIIF) program, builds off of GPS III's flexible design to bring new capabilities to the constellation.

- Selected to build up to 22 additional GPS IIIF satellites
- Regional Military Protection capability
- Fully digital navigation payload
- Further enhanced resiliency
- Search and rescue payload
- Accuracy-enhancing Laser Retro-Reflector array

## Rodzaje sygnałów GPS

Istnieją dwie kategorie dostępu do urządzeń GPS:

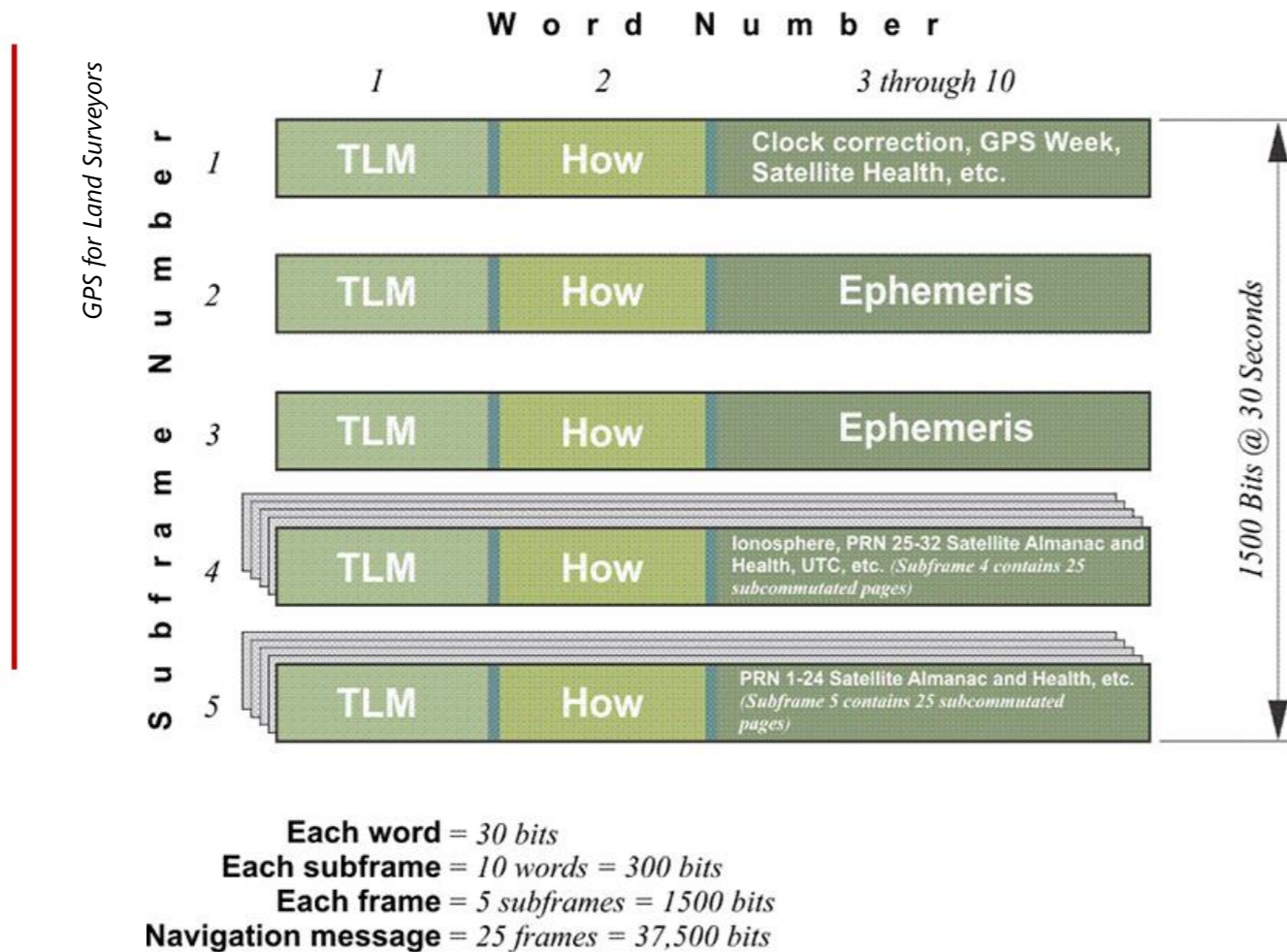
- **PPS** – zastosowania militarne USA & NATO (sygnał szyfrowany), używana też do niwelacji błędów.
- **SPS** – zastosowania cywilne (niższa dokładność)



sygnał C/A  
1575,42 MHz  
(odbiorniki PPS i SPS)

sygnał P  
1227,6 MHz  
(odbiorniki PPS)

## Depesza nawigacyjna



Satelity stale nadają informacje:

- numerze satelity i orbicie.
- położenie i czas.
- **almanach** – stan konstelacji satelitów oraz **efemerydy** (parametry lotu satelity).
- poprawki do orbit otrzymane z *Master Control Station (MCS)*.

TLM – telemetria

How – handover word

## Almanach – informacja periodyczna

- Almanach satelitów jest to kompletna informacja o wszystkich przewidywanych orbitach satelitów.
- Dane almanachu są odbiornikowi potrzebne do oceny dostępności satelitów i wyświetlania ich położenia.
- Almanach nadawany jest przez satelity razem z sygnałem czasu.
- Odbiornik GPS automatycznie wczytuje almanach za każdym razem, kiedy włączony jest przez czas dłuższy niż 15 min.
- Dane almanachu są aktualne ok. 30 dni. Odbiornik nieużywany przez dłuższy czas pozostawić przez kilka min. w miejscu gdzie widoczna jest większość nieba.

## Struktura sygnału GPS – protokół NMEA

```
$GPRMC,183729,A,3907.356,N,12102.482,W,000.0,360.0,080301,015.5,E*6F  
  
$GPRMB,A,,,,,,,,,,,,,V*71  
  
$GPGGA,183730,3907.356,N,12102.482,W,1,05,1.6,646.4,M,-24.1,M,,*75  
  
$GPGSA,A,3,02,,,07,,09,24,26,,,,,1.6,1.6,1.0*3D  
  
$GPGSV,2,1,08,02,43,088,38,04,42,145,00,05,11,291,00,07,60,043,35*71  
$GPGSV,2,2,08,08,02,145,00,09,46,303,47,24,16,178,32,26,18,231,43*77  
$PGRME,22.0,M,52.9,M,51.0,M*14 $GPGLL,3907.360,N,12102.481,W,183730,A*33  
$PGRMZ,2062,f,3*2D $PGRMM,WGS 84*06 $GPBOD,,T,,M,,*47 $GPRTE,1,1,c,0*07  
$GPRMC,183731,A,3907.482,N,12102.436,W,000.0,360.0,080301,015.5,E*67  
  
$GPRMB,A,,,,,,,,,,,,,V*71
```

- GP – Global Positioning System (GPS)
- GGA – Fix information
- GSA – Overall Satellite data

## Satelitarne zegary atomowe



[Sharda A.](#)



[sciencealert](#)

- Pomiar czasu jest w GPS sprawą kluczową. Od tego zależy dokładność tego systemu.
- Każdy satelita jest wyposażony w precyzyjne, zsynchronizowane ze sobą zegary atomowe. To one umożliwiają dokładne pomiary odległości.
- Najczęściej to zegary cezowe lub nieco tańsze rubidowe.
- Działanie zegarów atomowych opiera się na zliczaniu okresów atomowego wzorca częstotliwości (naturalnie przemieszczanie się atomów z jednego poziomu energetycznego na drugi).

## Satelitarne zegary atomowe



[Sharda A.](#)



[sciencealert](#)

- Dokładność **1 ns/dobę (1 sek. na 100 000 lat)**.

$$1 \text{ ns} = 0,000000001 \text{ s}$$

- Najlepsze zegarki kwarcowe mają dokładność **1 ms/dobę**.

$$1 \text{ ms} = 0,001 \text{ s} \text{ (milion razy gorsze)}$$

## SEGMENT KONTROLI



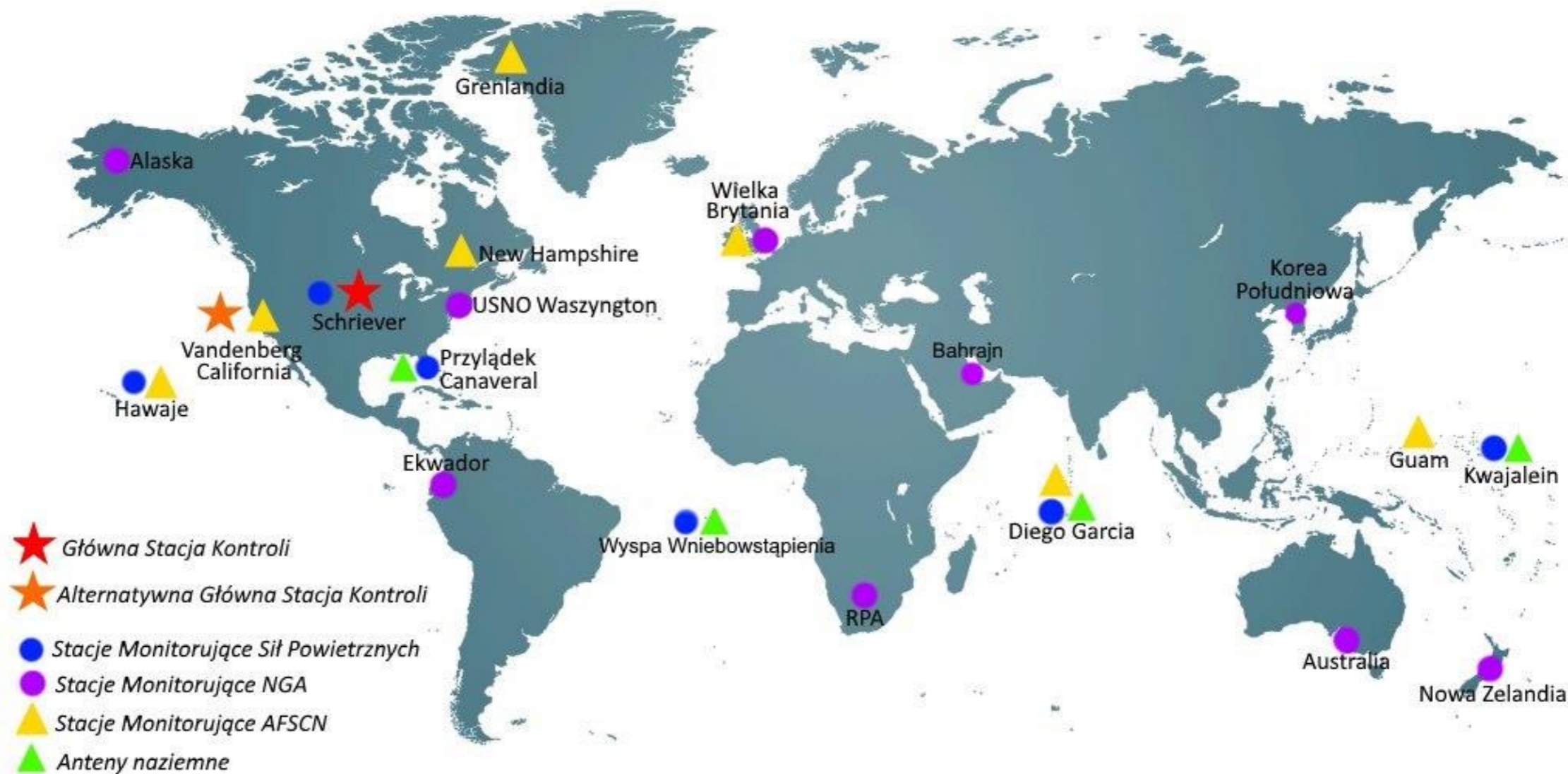
*Master Control Station (Główne Centrum Kontroli)*

Baza Sił Powietrznych Schriever (Colorado Springs, USA)

## Infrastruktura segmentu kontroli

- **Centrum Kontroli Satelitów Sił Powietrznych Stanów Zjednoczonych (AFSCN)** – sprawuje nadzór nad wszystkimi amerykańskimi satelitami.
- **Narodowa Agencja Wywiadu Satelitarnego (NGA)** – agencja Departamentu Obrony Stanów Zjednoczonych.
- **Obserwatorium Marynarki Wojennej USA** – Instytucja ta wylicza wzorce czasu UTC.
- **Laboratorium Napędu Odrzutowego (*Jet Propulsion Laboratory*)** – zadaniem tej instytucji jest obserwacja ciał niebieskich (Słońca, Księżyca), które poprzez swoją grawitację wpływają na położenie satelitów nawigacyjnych GPS, obliczają **poprawki efemeryd**.

## Infrastruktura segmentu kontroli



## Segment użytkownika



## Segment użytkownika

- Tworzą go odbiorniki GPS (cywilne i wojskowe).
- Odbiorniki różnią się kształtem, oprogramowaniem oraz poziomem dokładności.
- Odbiorniki umożliwiają odbiór sygnałów z segmentu kosmicznego, który następnie wykorzystywany jest do wyznaczania pozycji.
- Ważnym parametrem charakteryzującym odbiornik jest **liczba posiadanych kanałów**. Każdy z nich umożliwia śledzenie jednego, niezależnego sygnału. Już w 2007 roku zaczęły pojawiać się urządzenia 12-kanałowe. Obecnie standardem są już urządzenia 64 kanałowe.

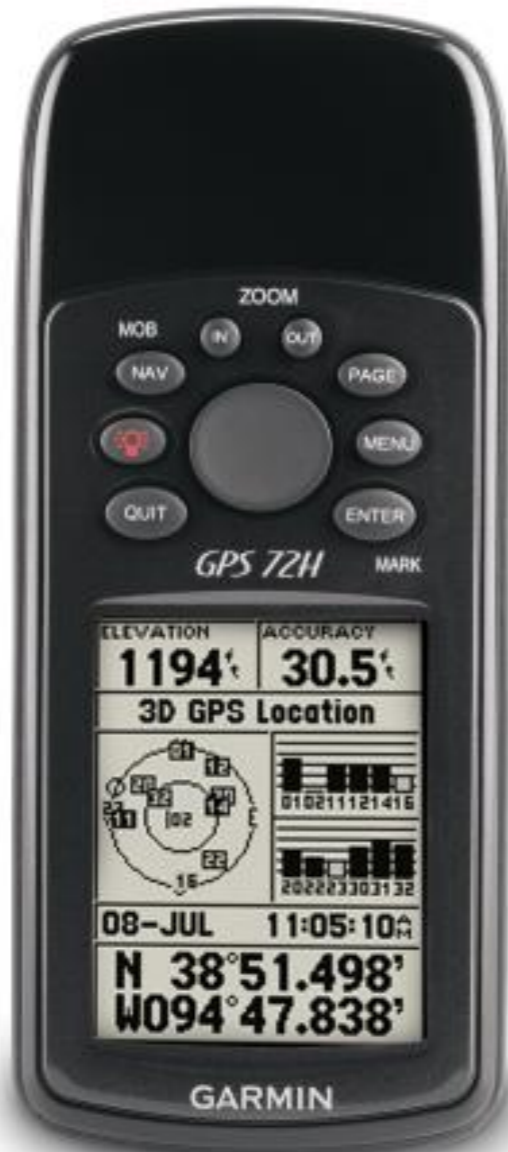
## Rodzaje odbiorników GPS



- dedykowane nawigacje GPS
- moduły GPS
- dataloggery GPS
- urządzenia z wbudowanymi odbiornikami



## Zadania odbiorników GPS

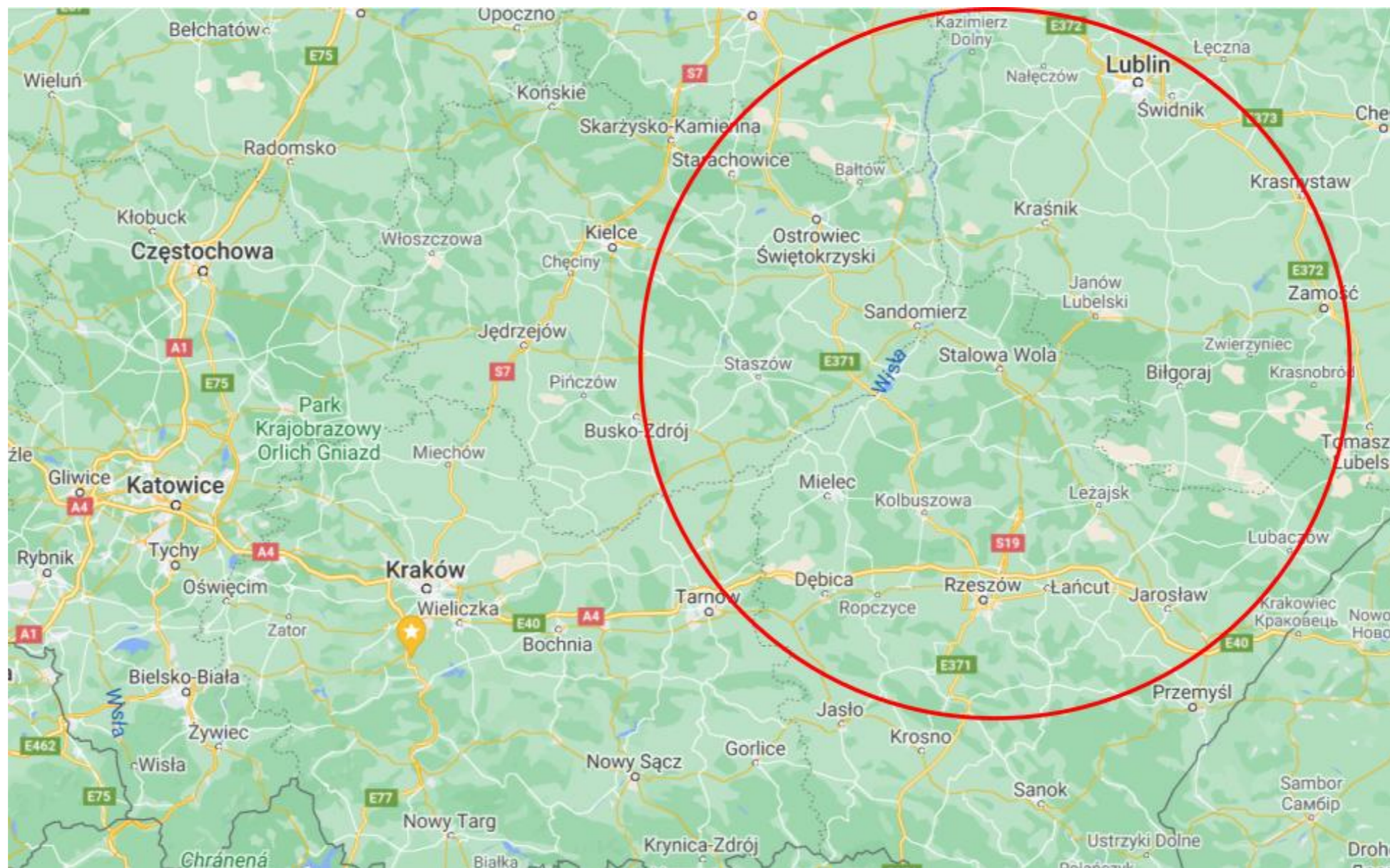


- Odbiór sygnału satelitarnego,
- Identyfikacja poszczególnych satelitów,
- Obliczanie ***pseudoodległości***.
- Niektóre mierzą też ciśnienie barometryczne w celu kompensacji wysokości.

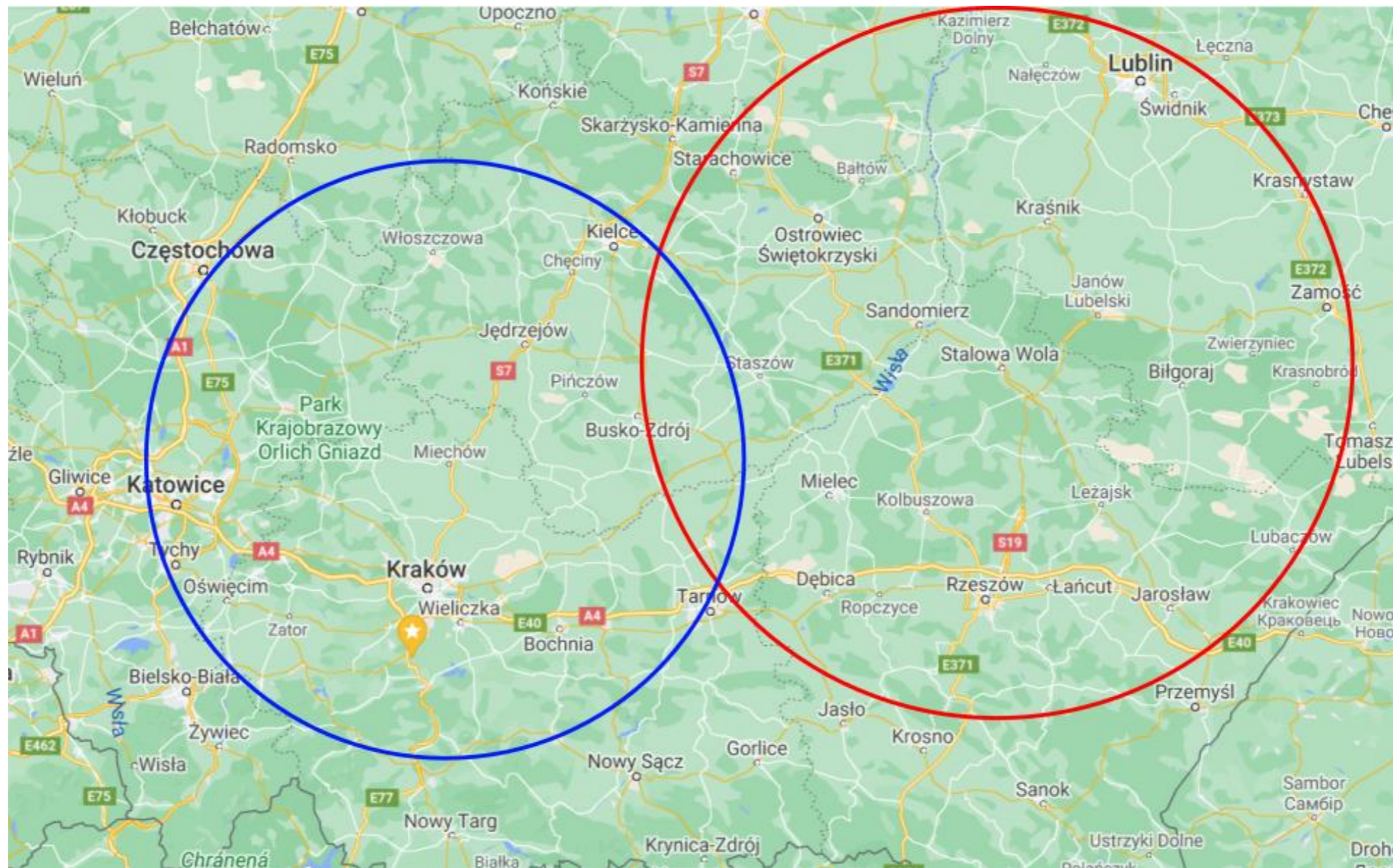
## Zasada działania



## Zasada działania – krok 1



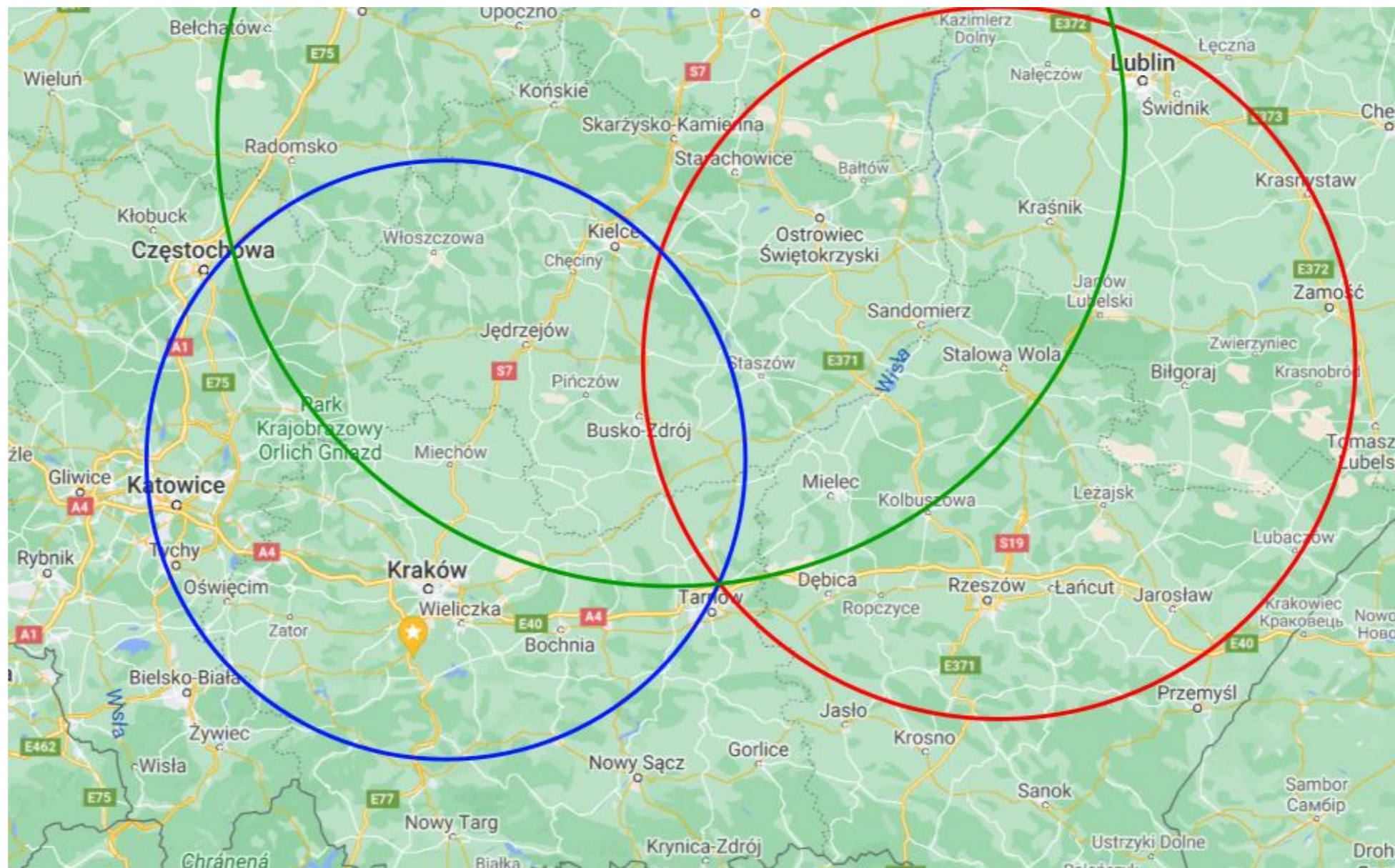
## Zasada działania – krok 2



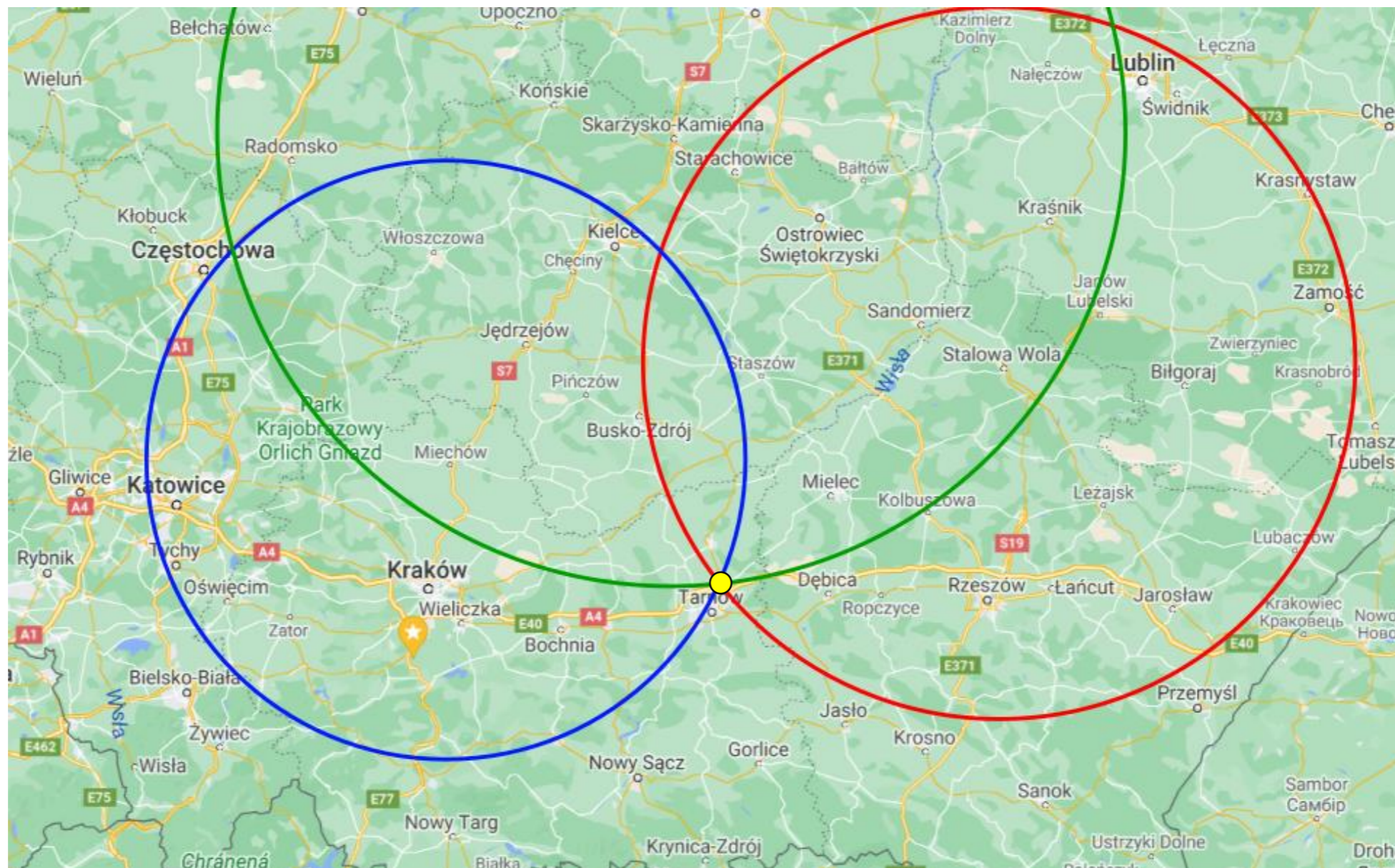
## Zasada działania – krok 2



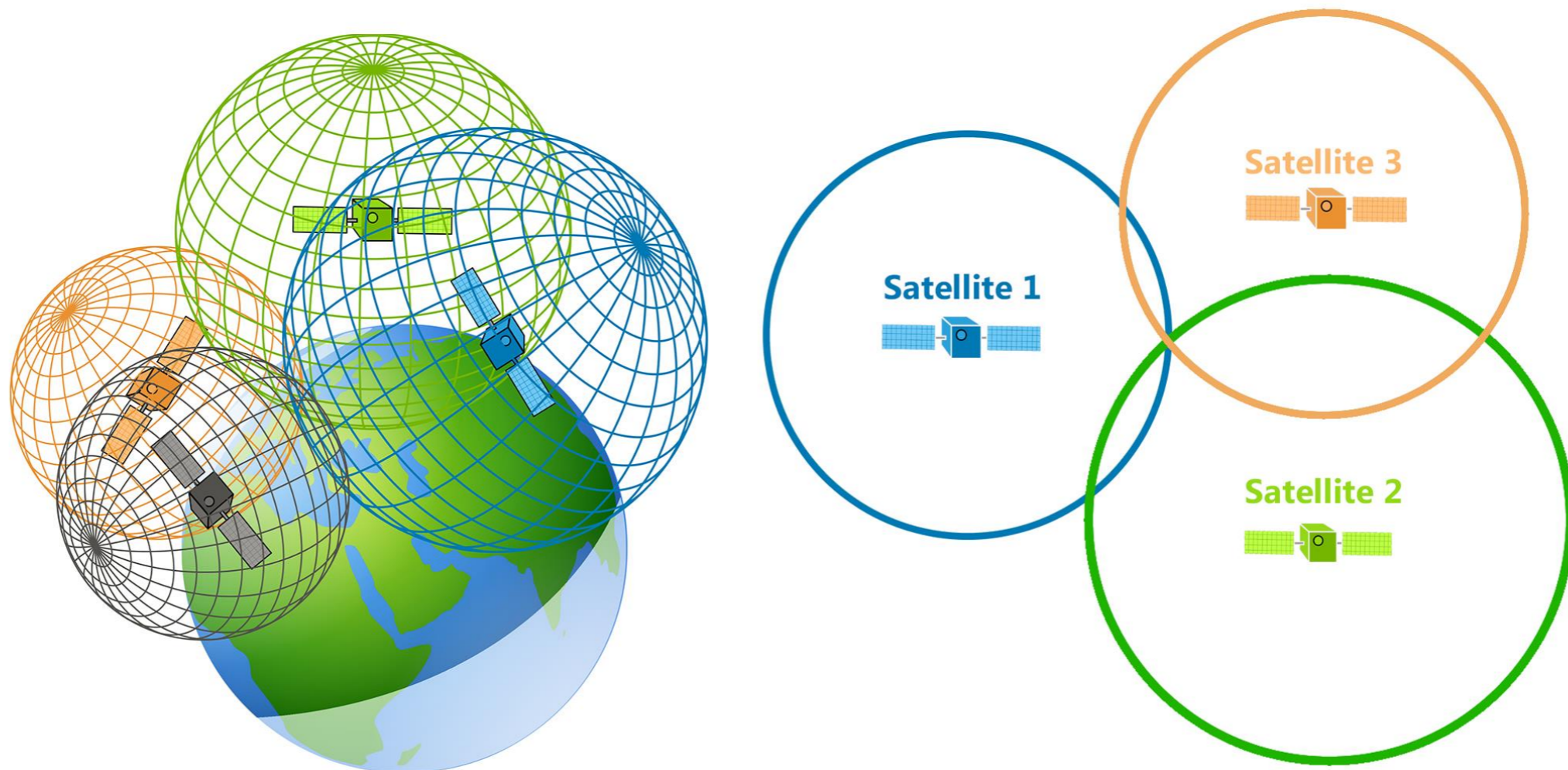
## Zasada działania – krok 3



## Zasada działania – krok 3

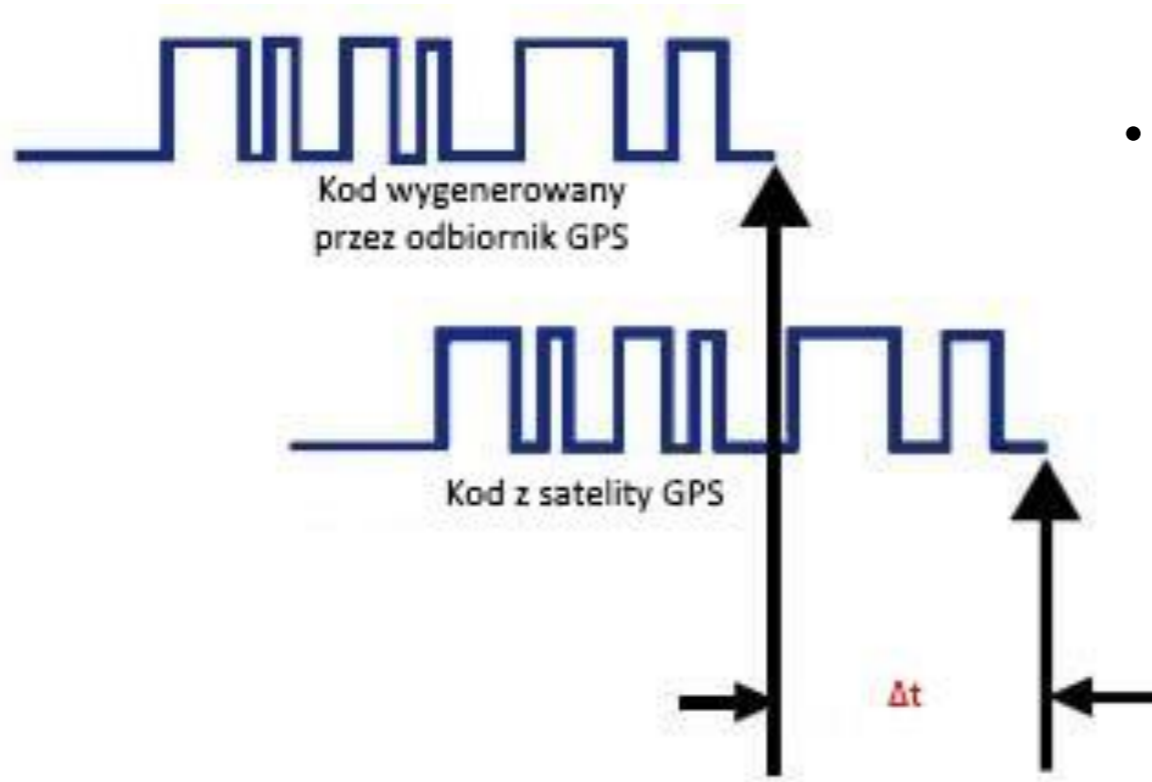


## Zasada działania



## Jak określamy odległość od satelitów?

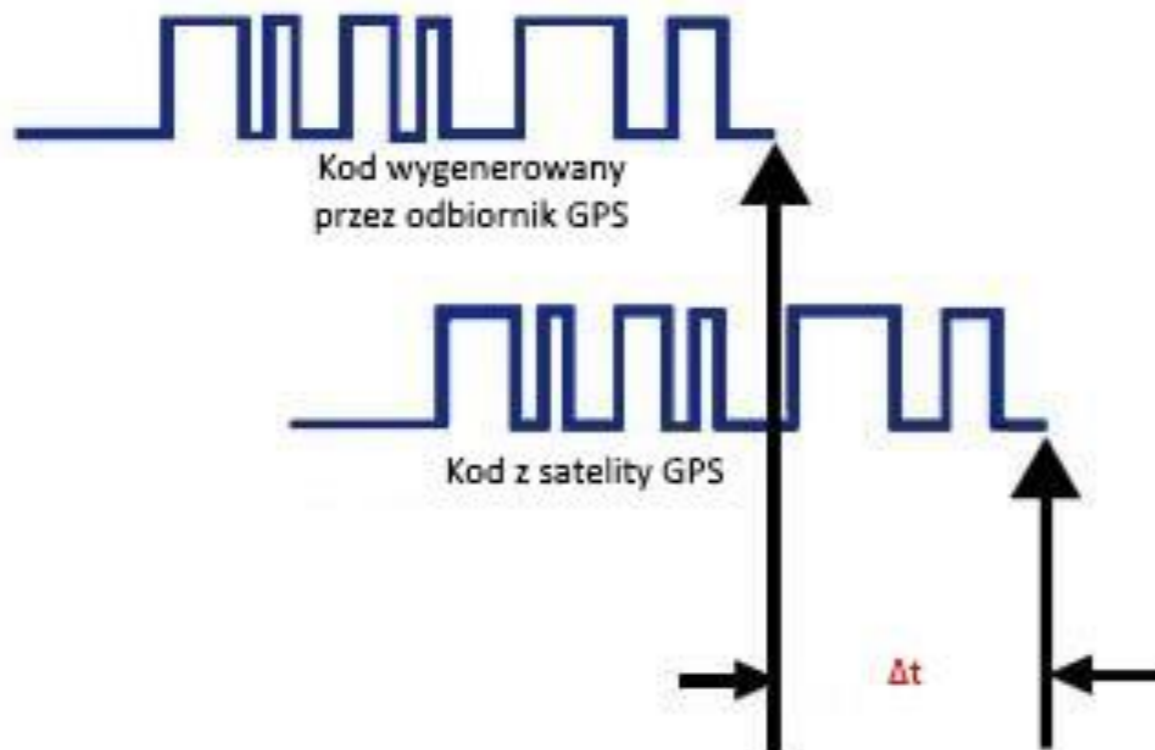
- Zegary satelitów są dokładnie zsynchronizowane.
- Satelity i odbiorniki generują ten sam pseudolosowy szum (ang. *Pseudo-Random-Noise* – PRN).



- Z przesunięcia kodu własnego i kodu otrzymanego z satelity odbiornik może obliczyć odległość do satelity.

## Jak określamy odległość od satelitów?

- Znamy prędkość rozchodzenia się fal radiowych jest równa prędkości światła (ok. 300 000 km/s)
- Aby obliczyć odległość wystarczy, że poznamy czas w jakim sygnał dociera od satelitów do odbiornika.



$$d = c \times \Delta t$$

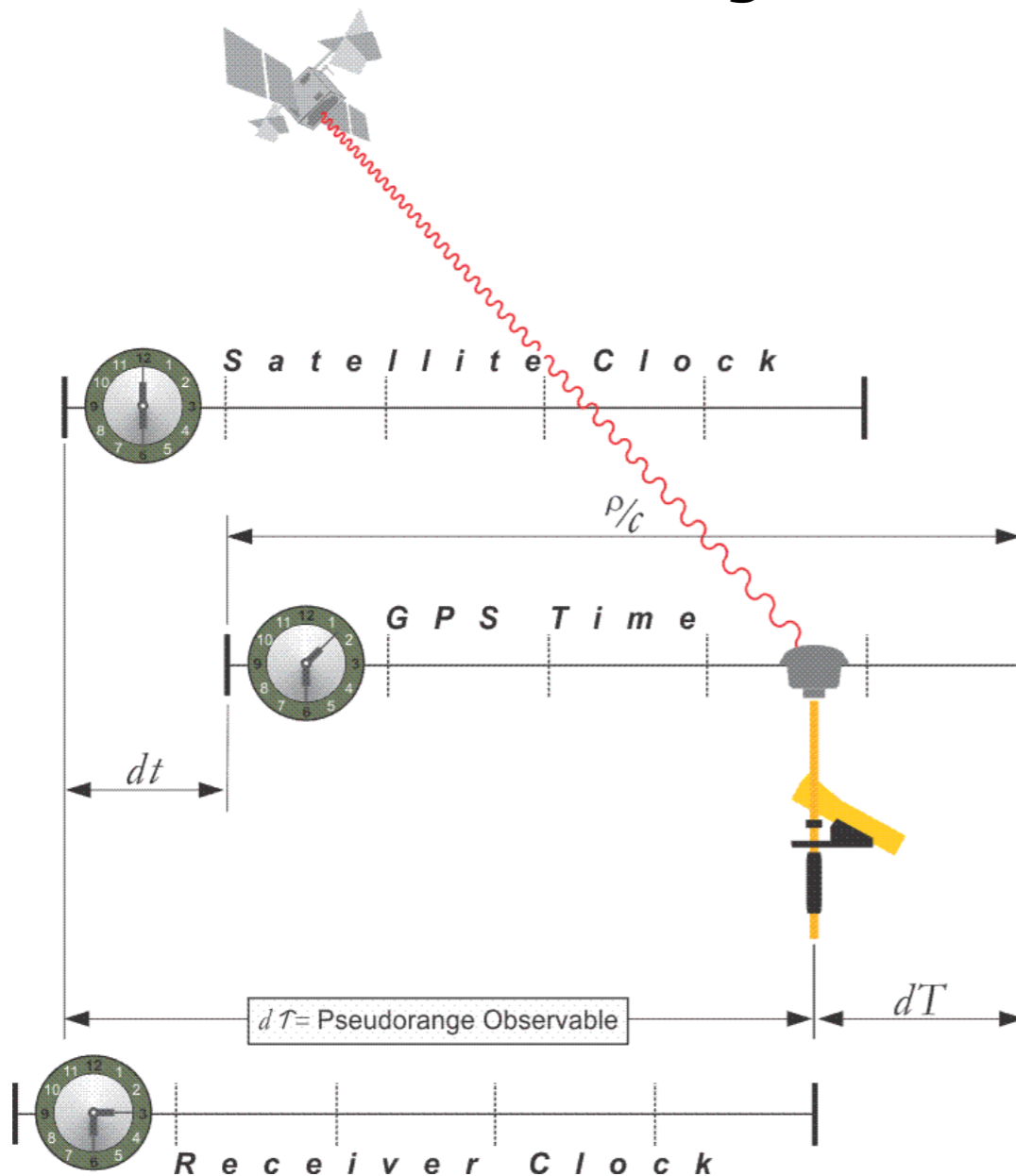
Gdzie:

$d$  – pseudoodległość,

$c$  – prędkość fali elektromagnetycznej,

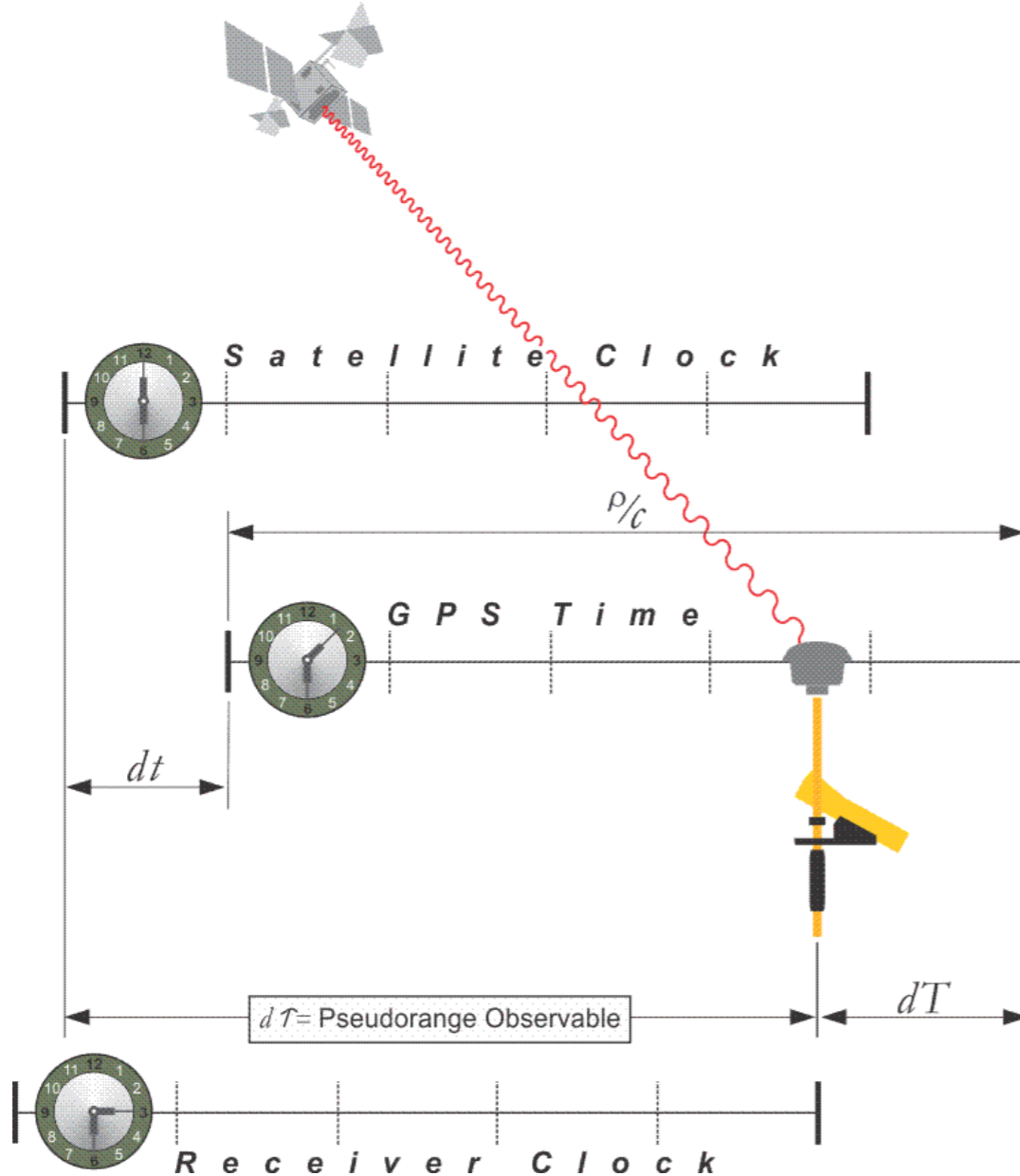
$\Delta t = t_2 - t_1$  (czas otrzymania sygnału - czas nadania sygnału).

## Problem zegara odbiornika



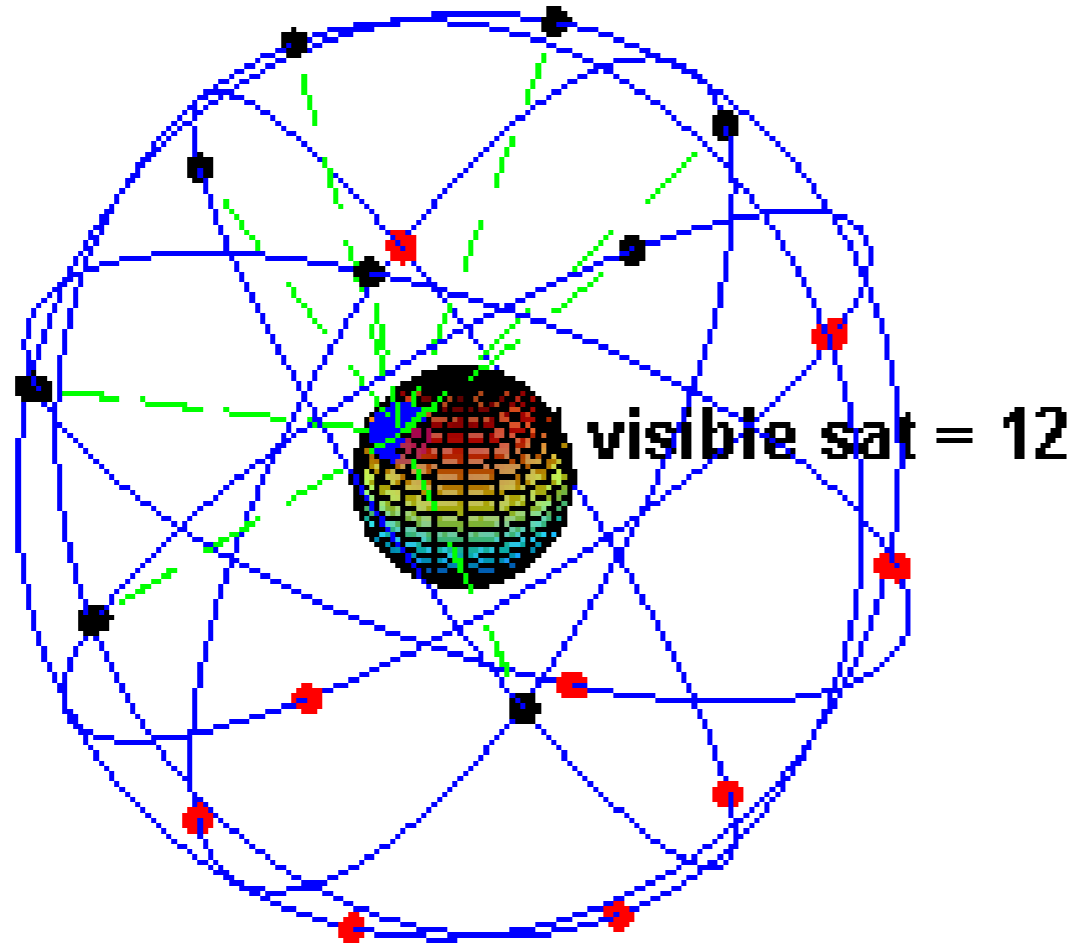
- Porównanie czasu wygenerowania sygnału przez satelitę jest porównywany ze źle zsynchronizowanym z nim czasem odbiornika ( $dt$ ).
- Z obliczeń dostajemy więc wyniki **BŁĘDNE!** – dlatego nazywane są **pseudoodległościami**.
- Aby umożliwić poprawne pomiary odległości czas zegara odbiornika GPS jest korygowany.

## Problem zegara odbiornika



- Zegary satelity (atomowy) i odbiornika (kvarcowy) są niesynchronizowane
- Wiedząc jakie były czasy dotarcia sygnałów do odbiornika z różnych orbit, a jakie powinny być można dokonać pewnych korekcji czasu odbiornika

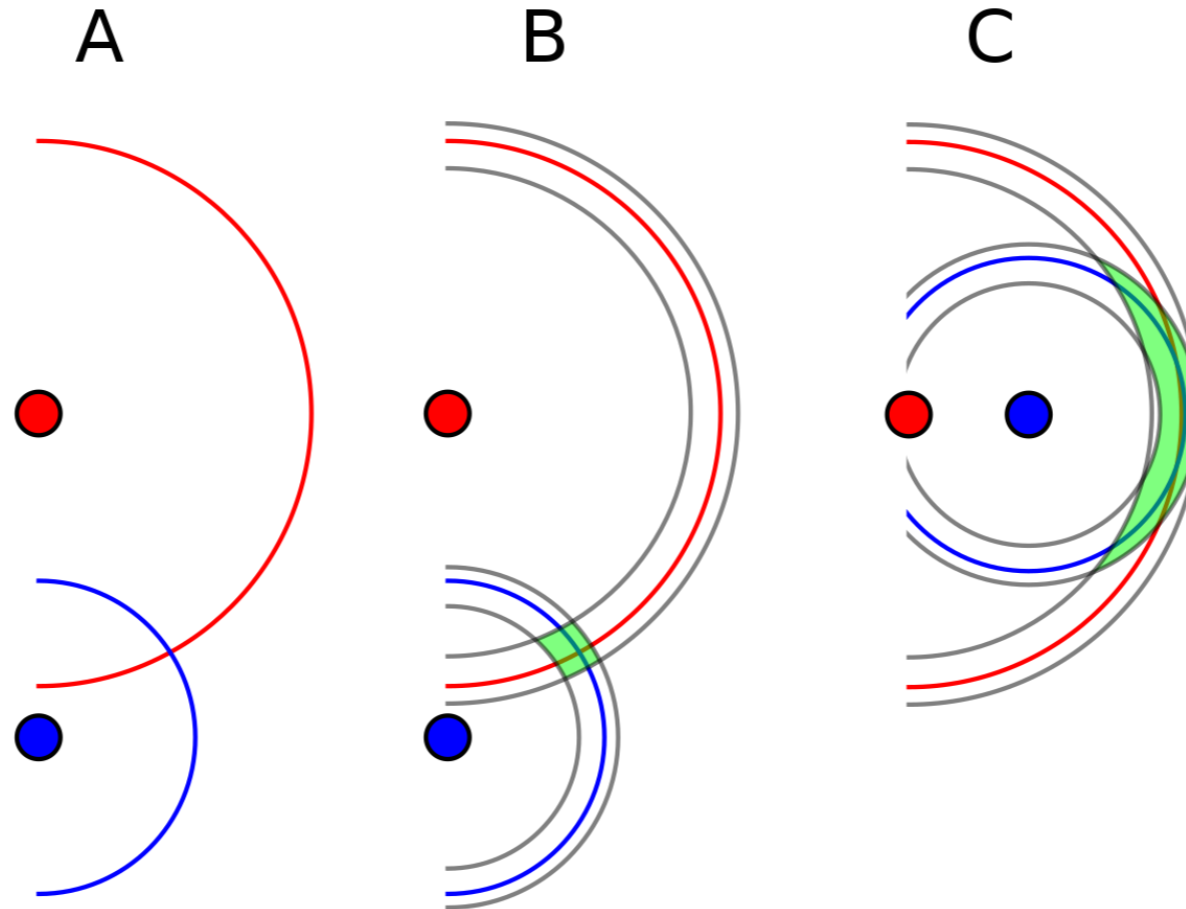
## „Widoczność” satelitów



- W każdym momencie każdy odbiornik odbiera sygnał z co najmniej 5 satelitów, co wystarcza do określenia położenia.
- Im więcej sygnałów dochodzi tym lepiej.
- Ważna jest też konstelacja (układ geometryczny) satelitów, zob. **DOP**.

## DOP

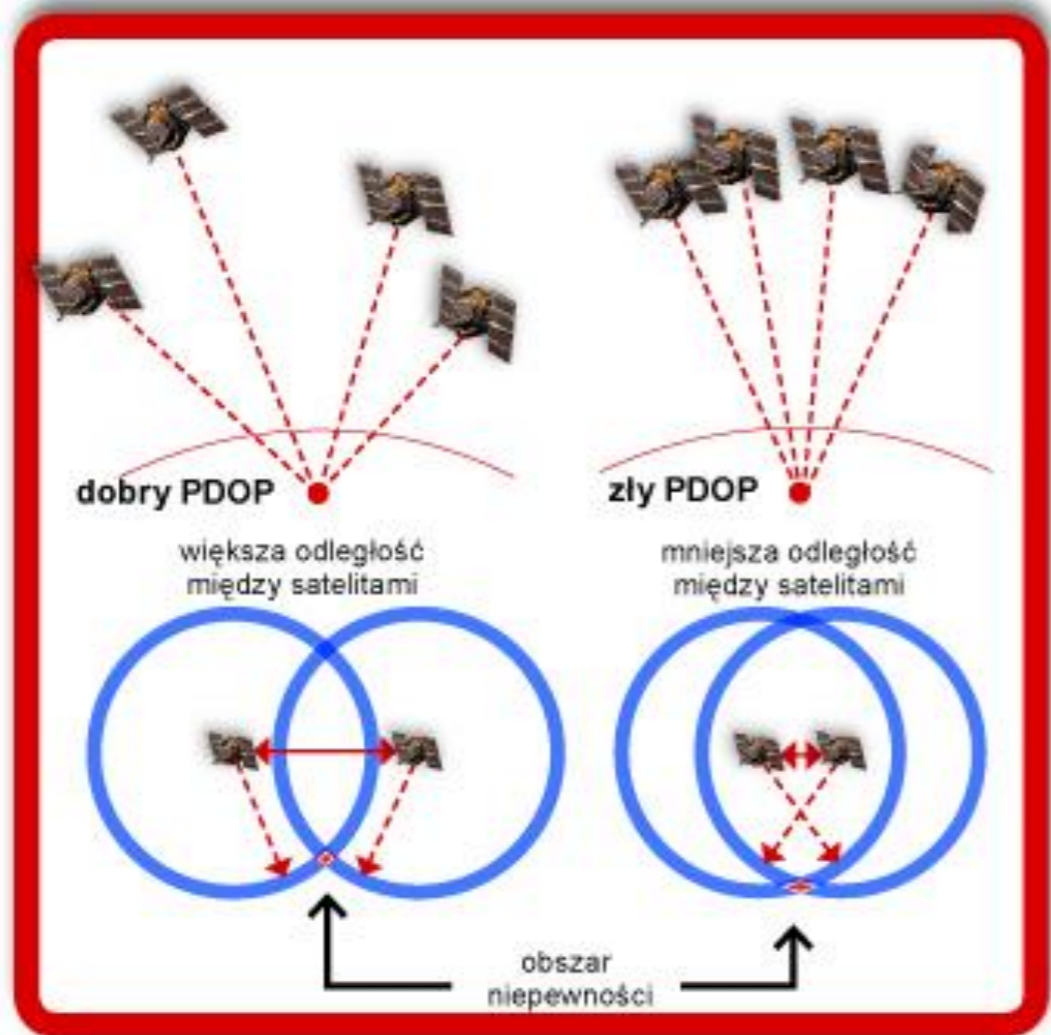
**DOP** (ang. *Dilution Of Precision*) – parametr opisujący wpływ geometrii konstelacji satelitów na wyznaczenie pozycji w systemie GPS.



## Rodzaje DOP

- HDOP (Horizontal DOP) – dla współrzędnych płaskich (2D).
- VDOP (Vertical DOP) – dla wysokości (1D).
- TDOP (Time DOP) – dla pomiaru czasu (1D).
- PDOP (Positional DOP) – współczynnik opisujący stosunek między błędem pozycji użytkownika a błędem pozycji satelity (3D).
- GDOP (Geometric DOP) – parametr geometryczny opisujący dokładność położenia punktu w 4 wymiarach (4D).

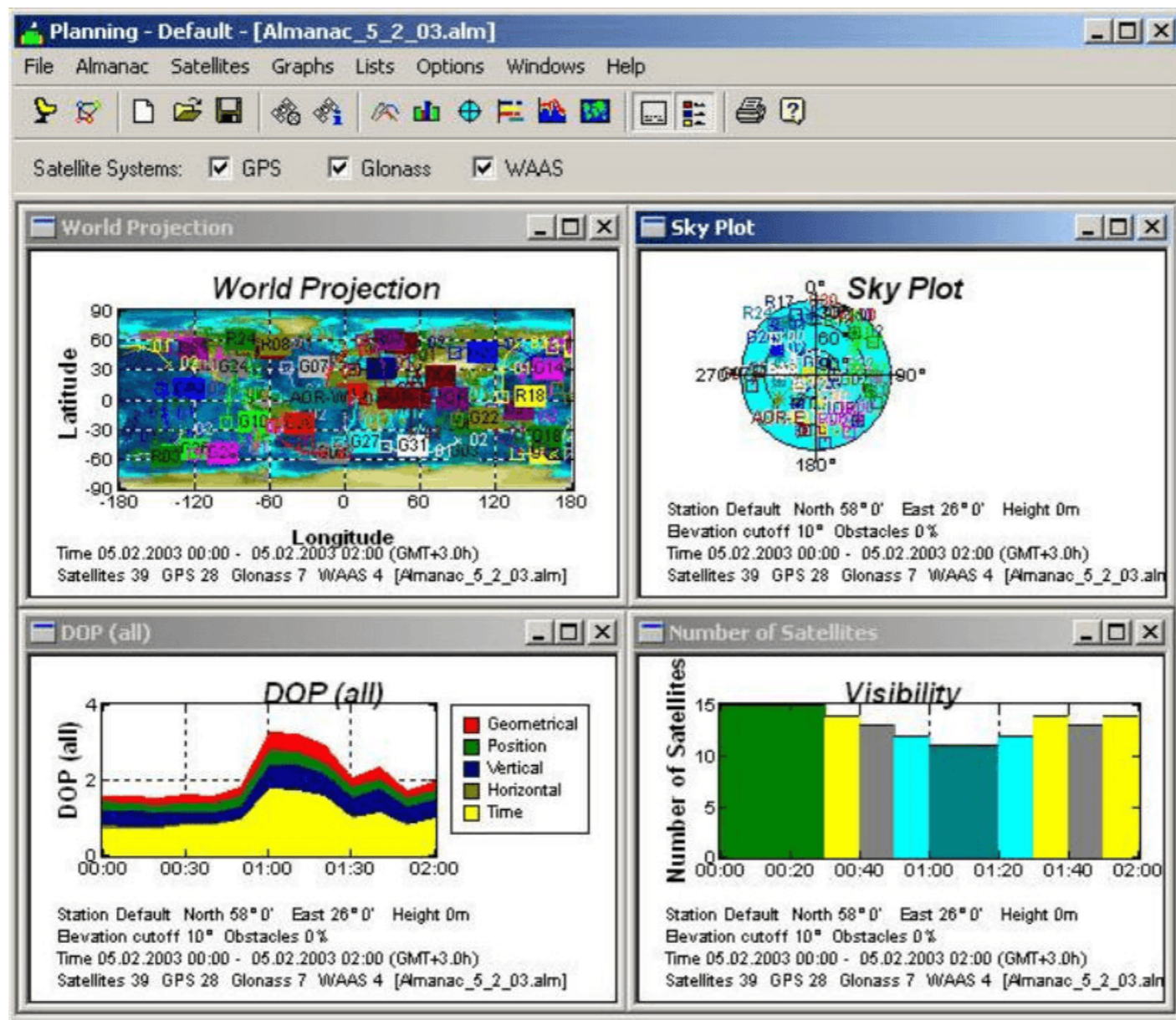
## DOP



Wartość któregoś z parametrów równa 0 oznacza, że w danej chwili pomiar pozycji ze względu na zakłócenia jest niemożliwy.

DOP	opis
< 1	idealny
2–3	znakomity
4–6	dobry
7–8	umiarkowany
9–20	słaby
> 20	zły

# Planowanie sesji pomiarowych

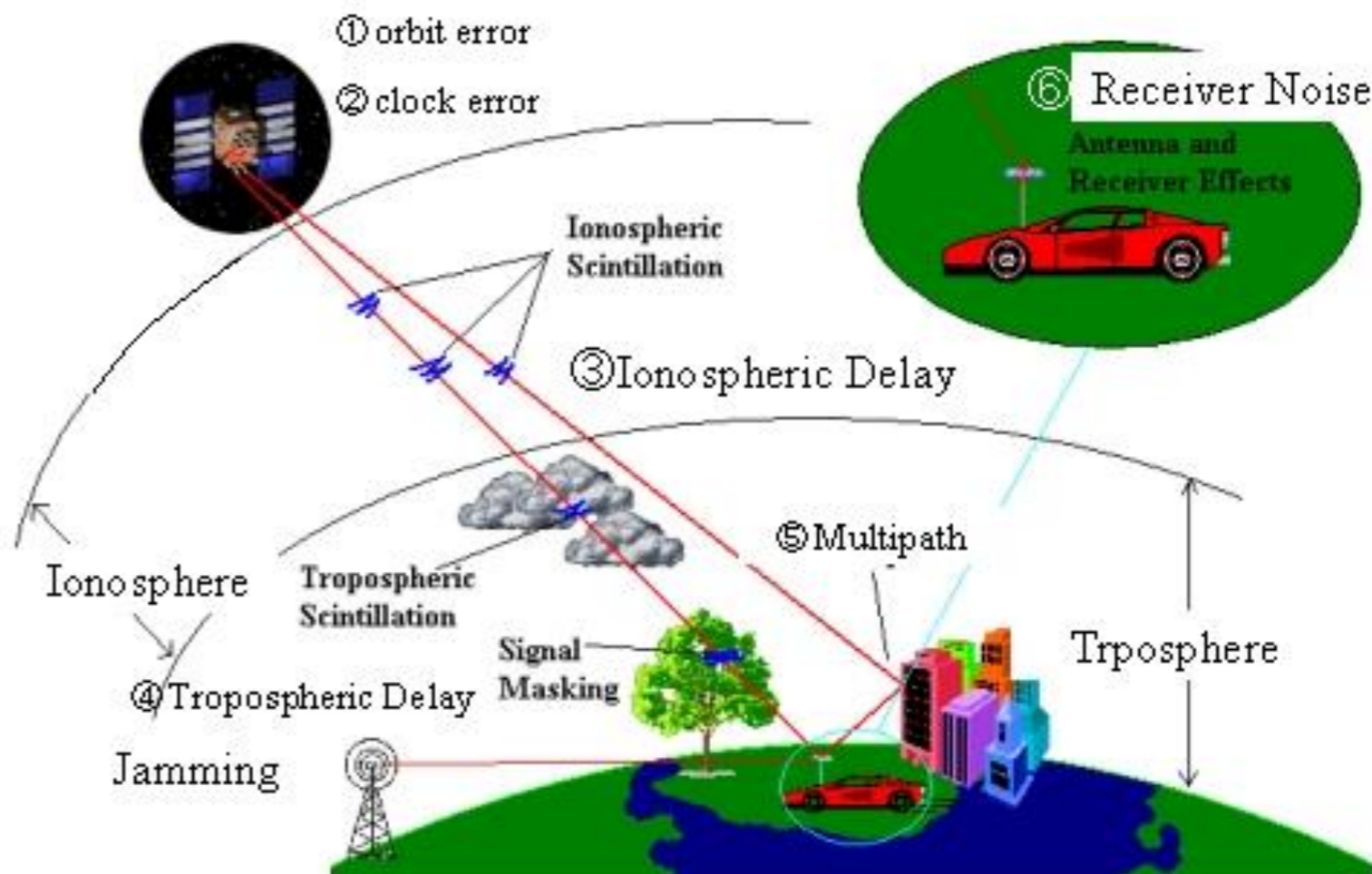


## Błędy w systemie GPS

### Błędy przy pomiarze jednym odbiornikiem

Źródło	Wielkość
<b>Błędy systemu</b>	
błędy orbity	1-2 m
błędy zegara	1-2 m
<b>Wpływ ośrodka</b>	
wpływ jonosfery (2 częstotliwości)	cm-dm
model jonosfery („dobry”)	1-2 m
model jonosfery („średnio dobry”)	5-10 m
model jonosfery („niezbyt dobry”)	10-50 m
wpływ troposfery (model)	dm
wielodrożność	1-2 m
<b>Wpływy instrumentalne</b>	
szum odbiornika	0,2-1 m
opóźnienia w odbiorniku	dm-m
błąd centrum fazowego anteny	mm-cm

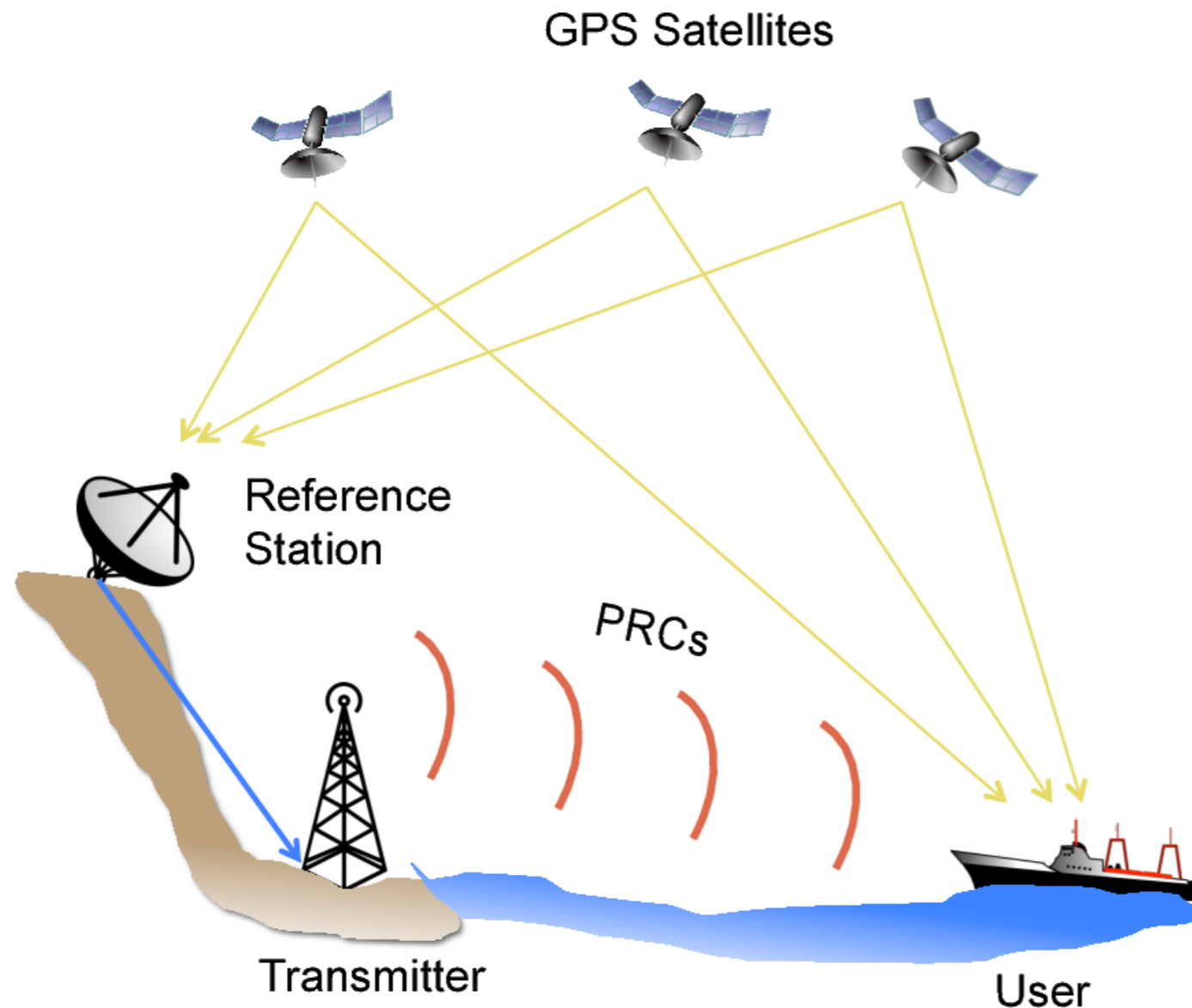
## Errors on GPS Signal



## Poprawki

- Możliwość użycia drugiej częstotliwości nośnej (**C/A i P**) w celu wyeliminowania błędów opóźnień w jono- i troposferze (można mierzyć zmiany częstotliwości).
- Błąd efemeryd można kompensować przy użyciu stacji naziemnych, systemu **ILRS** i aktualizację **almanachów**.
- Błędy czasów satelitów są korygowane na bieżąco przez segment naziemny.
- **DGPS** (ang. *differential technique*).

## Pomiary różnicowe (DGPS)



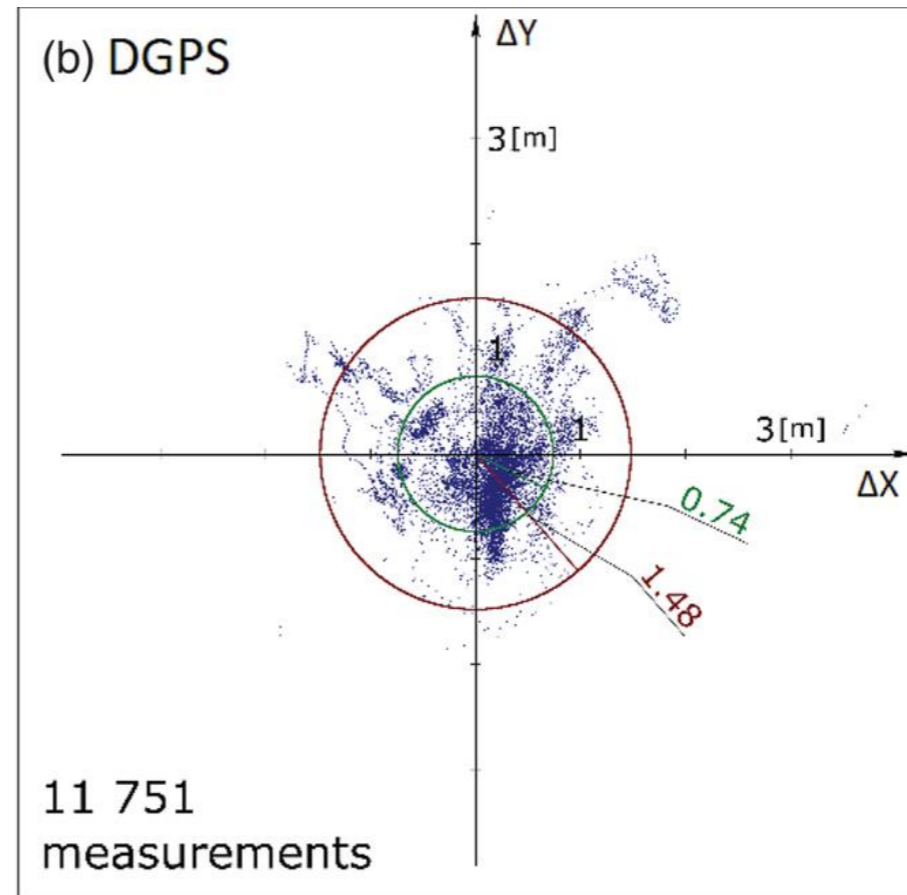
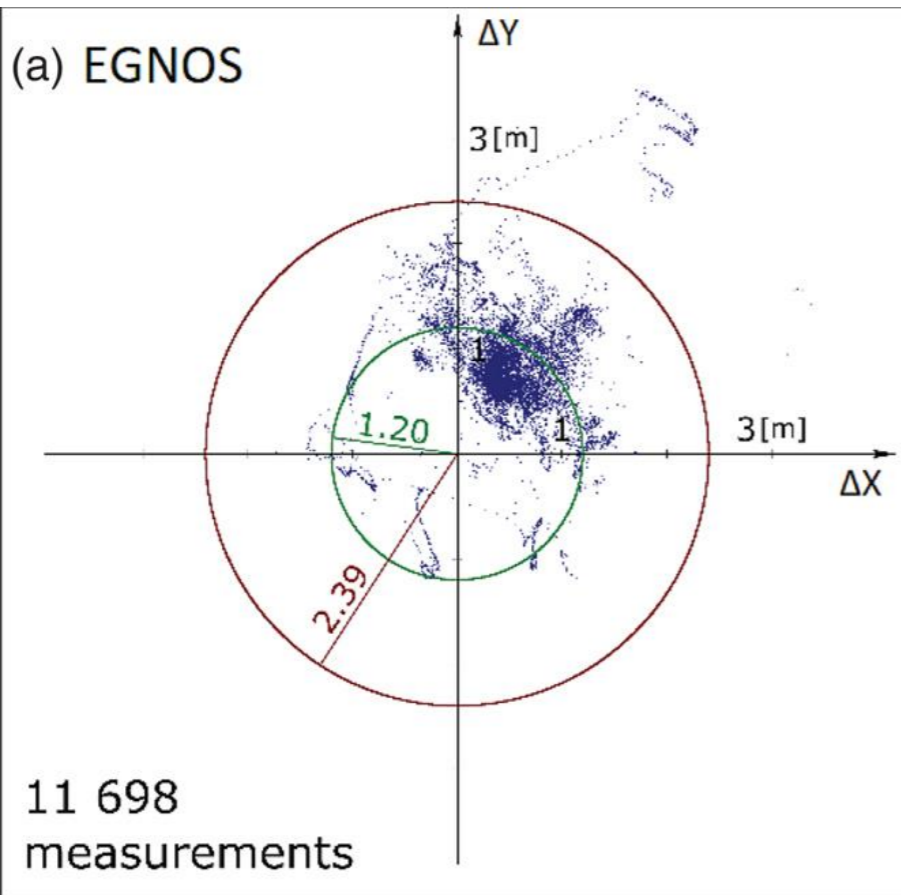
Dokładność pomiarów pozycji może być w znacznym stopniu zwiększona przez zastosowanie metody różnicowej **DGPS**

(***Differential GPS***), która opiera się o wykorzystanie poprawek transmitowanych przez **stację referencyjną**, której pozycja jest dokładnie określona i znana.

Dokładność możliwa do osiągnięcia nawet rzędu cm.

## DGPS

Rozkłady błędów pozycji poziomej odbiorników EGNOS (Galileo) i DGPS wyznaczone względem wartości odniesienia. Czerwone i zielone kółka na rysunkach pokazują prawdopodobieństwo błędu poziomego: 68,3% (średnia kwadratowa odległości (DRMS)) i 95,4% (2DRMS) (Specht i in. 2018).



# Sieć polskich stacji referencyjnych GNSS



średnia odległość pomiędzy stacjami wynosi 70km

## Stacja referencyjna DOMES 12218M002

ASG eupos



Położenie AGH dach budynku C4



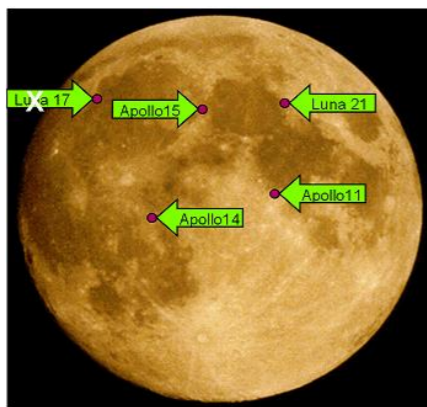
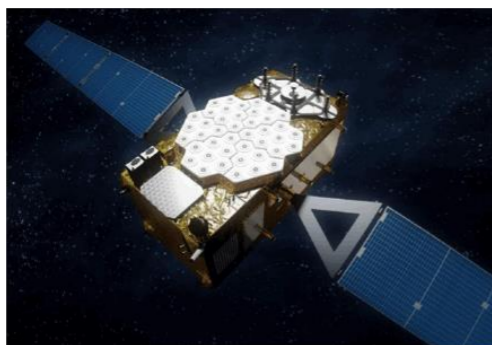
ASG eupos

PL-ETRF2000-XYZ (epoka 2011.0)	$X = 3856938.9295 \text{ m}$ $Y = 1397750.2057 \text{ m}$ $Z = 4867717.3326 \text{ m}$
PL-ETRF2000-GRS80h (epoka 2011.0)	$\varphi = 50\ 03\ 57.998866\ [^{\circ}\ ' \ '']$ $\lambda = 19\ 55\ 13.648012\ [^{\circ}\ ' \ '']$ $h = 267.112 \text{ m}$
PL-KRON86-NH	$H = 227.249 \text{ m}$
PL-EVRF2007-NH	$H = 227.435 \text{ m}$



ILRS został utworzony w 1998 roku jako jedna z usług pomiarowych z statutem organizującym i koordynującym ogólnościatowe działania satelitarnego pomiaru laserowego (SLR) i księżycowego pomiaru laserowego (LLR) w celu wspierania programów z zakresu geodezji, geofizyki itp.

## ILRS

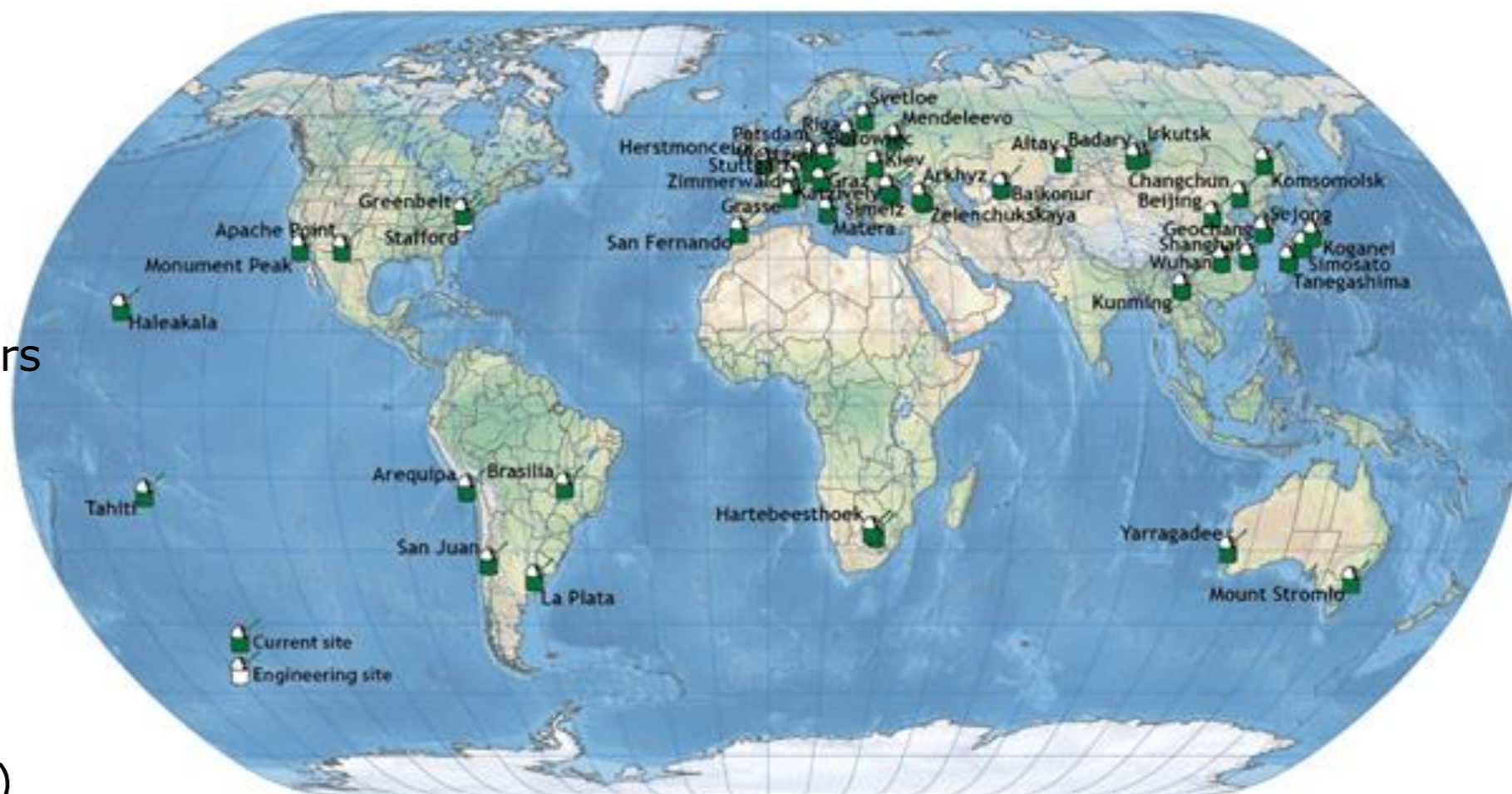


Podstawowymi obserwacjami w ILRS są precyzyjny dwukierunkowy czas przelotu ultrakrótkiego impulsu laserowego do układu **retroreflektorów** na satelicie lub na powierzchni Księżyca oraz czas przelotu w jedną stronę do odbiornika kosmicznego (transpondera). Obserwacje te umożliwiają obliczanie precyzyjnych efemeryd, kalibrację i walidację wydajności.



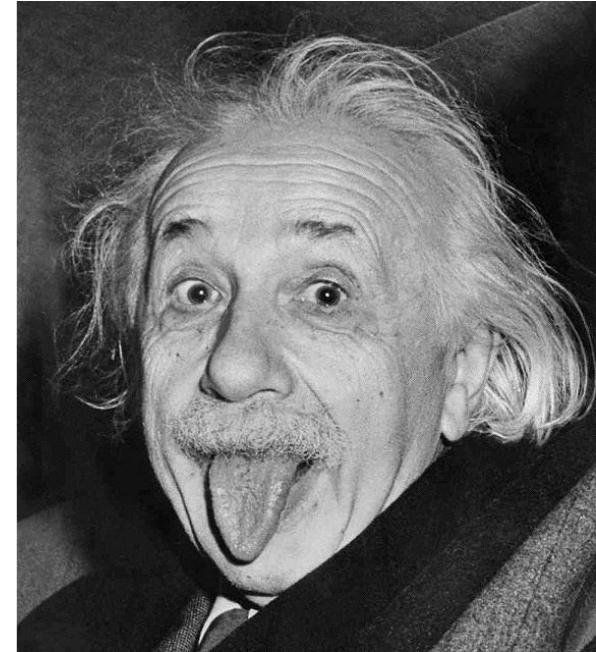
Centrum Badań Kosmicznych PAN w  
Borowiec k. Poznania

- Tracking Stations (39)
- Operations Centers (2)
- Data Centers (3)
- Analysis Centers (8)
- Associate Analysis Centers (20)
- LLR Associate Analysis Centers (6)
- Analysis Combination Centers (2)
- Central Bureau
- Governing Board
- Standing Committees (5)



## Problemy systemu będące konsekwencją fizyki relatywistycznej

- Satelity GPS poruszają się bez grawitacji z prędkością około **4 km/s**.
- System wymaga synchronizacji wszystkich zegarów (tych w satelitach, w stacjach naziemnych i w odbiornikach GPS). Błąd nie może być większy niż **X ns/dobę**. (10 ns = błąd rzędu 3 m)
- W takich warunkach (duże prędkości, różny wpływ grawitacji Ziemi) nie możemy upływu czasu traktować w sposób jaki znamy z fizyki klasycznej.



# Dylatacja czasu



## Wpływ prędkości

z powodu wysokiej prędkości czas w satelicie płynie wolniej



## Wpływ grawitacji

z powodu niższej grawitacji czas w satelicie płynie szybciej niż na Ziemi



## Wymagana korekta czasu



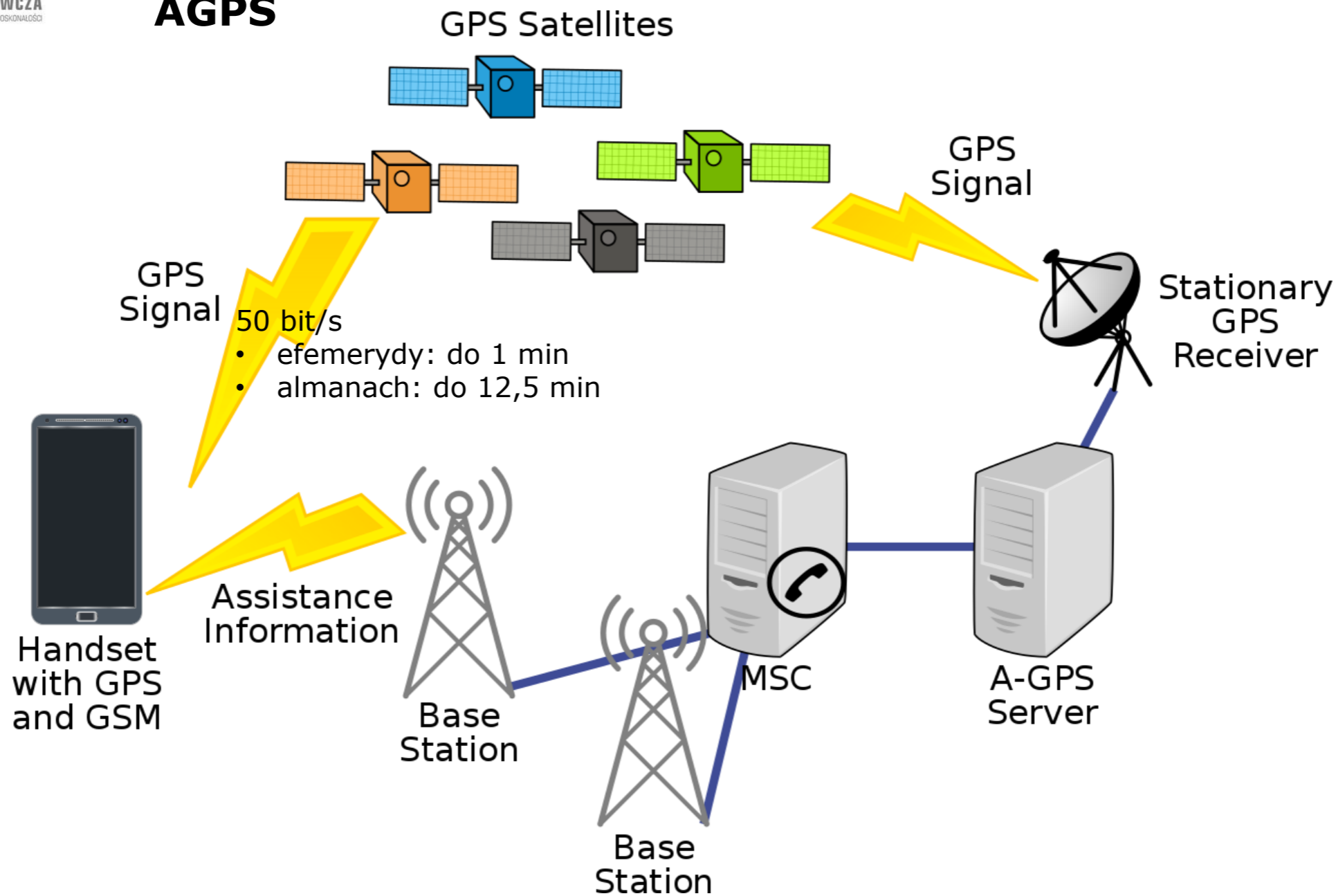
## Problemy wynikające z teorii względności

- Gdyby w problematyce GPS pominąć kwestię względności czasu, system byłby bezużyteczny.
- Różnica czasu wynosi ok. **1 s na 380 lat na dobę** daje to ok. **7200 ns**. Jest to o kilka rzędów wielkości więcej niż akceptowalny błąd synchronizacji zegarów. Po jednej dobie dokładność spadłaby do **ponad 2 km**.
- Wpływ pola grawitacyjnego powoduje, że czas na pokładzie satelitów płynie szybciej niż na Ziemi i różnica wynosi ok. **46μs/dobę**. Gdyby zaniedbać to to po 1 dobie błędy pomiaru odległości wyniosłyby ponad **10 km**.

## **Assisted GPS (AGPS lub A-GPS)**

– rodzaj systemu GPS wykorzystywany w telefonach komórkowych, w którym używa się serwerów operatora sieci do skrócenia czasu potrzebnego na pierwsze znalezienie położenia. Usługa ta musi być dostępna u operatora, w przeciwnym wypadku pierwsze ustalenie pozycji w systemie GPS będzie trwało dłużej.

## AGPS



## Bibliografia

ASGeupos, 2022. Opis systemu ASG-EUPOS. URL:

[http://www.asgeupos.pl/index.php?wpg\\_type=syst\\_descr&sub=ref\\_st&st\\_id=kra1](http://www.asgeupos.pl/index.php?wpg_type=syst_descr&sub=ref_st&st_id=kra1) .

GISGeography, 2021. GPS Accuracy: HDOP, PDOP, GDOP, Multipath & the Atmosphere. URL: <https://gisgeography.com/gps-accuracy-hdop-pdop-gdop-multipath/>.

GISGeography, 2021. How GPS Receivers Work – Trilateration vs Triangulation. URL: <https://gisgeography.com/trilateration-triangulation-gps/> .

MOBATIME, 2021. What is the difference between GNSS and GPS? MOBATIME.URL:

<https://www.mobatime.com/article/difference-between-gnss-gps/>

RS Elektronik, 2019. Jak działa GPS? [131]. URL:

[https://www.youtube.com/watch?v=YqjBbJdur\\_I&ab\\_channel=RSElektronika](https://www.youtube.com/watch?v=YqjBbJdur_I&ab_channel=RSElektronika)

Sharda A., 2018. How GPS works. URL: <https://aryamansharda.medium.com/how-gps-actually-works-e6e0d126d2d5>.

Specht C., Pawelski J., Smolarek L., Specht M., Dabrowski P., 2018. Assessment of the Positioning Accuracy of DGPS and EGNOS Systems in the Bay of Gdansk using Maritime Dynamic Measurements, The Journal of Navigation, 72(3), 575–587.

Technologia GPS. Przewodnik po nawigacji. URL: <https://technologiagps.org.pl>