

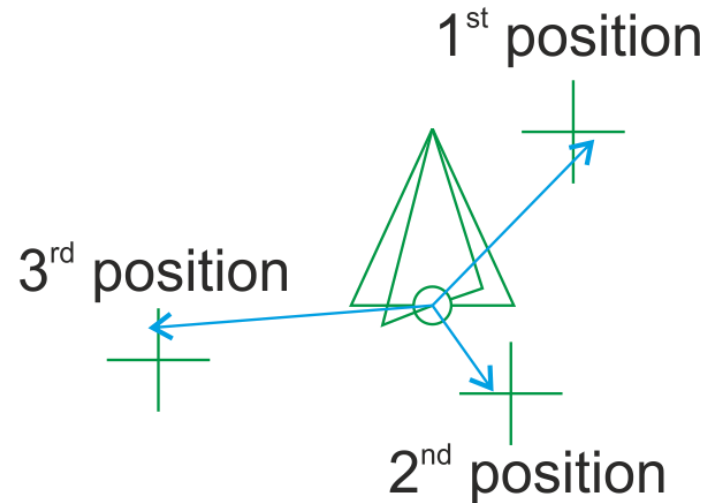
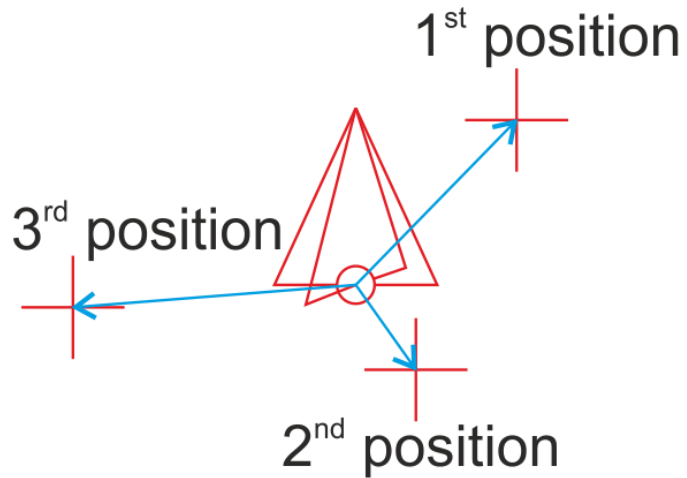
Differential GPS

Zasada działania

dr inż. Stefan Jankowski
s.jankowski@am.szczecin.pl

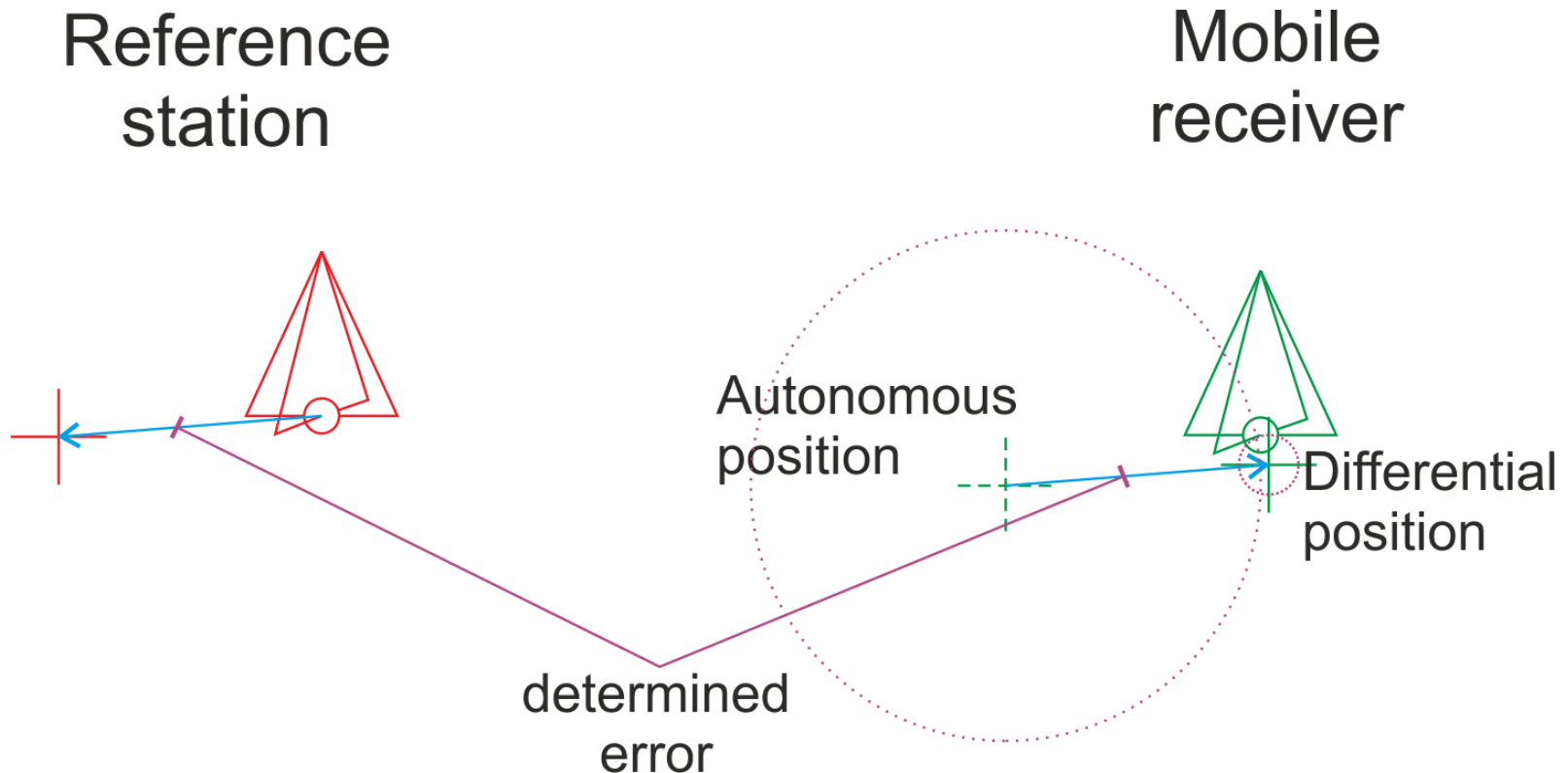
DGPS – koncepcja

Podczas testów GPS na początku lat 80-tych wykazano, że błędy pozycji w dwóch blisko odbiornikach były skorelowane



DGPS – koncepcja

Dlatego błędy mierzone w jednym odbiorniku, którego pozycja jest dobrze znana (stacja referencyjna), mogą być wykorzystane do poprawy dokładności innej (ruchomej), której pozycja jest nieznaną



DGPS – koncepcja

Wiele ograniczeń występujących przy stosowaniu odbiorników GPS usuniętych może być poprzez wykonywanie pomiarów metodami różnicowymi. Ich realizacja może polegać na:

- wprowadzaniu do odbiornika w czasie rzeczywistym poprawek do pomiarów, dostarczanych przez równoległe pracujący odbiornik systemu GPS o znanych współrzędnych anteny, transmitowanych np. drogą radiową,
- dokonaniu korekcji przez program opracowujący a posteriori rezultaty pomiarów wykonanych przy użyciu pary odbiorników: ruchomego i bazowego, o znanych współrzędnych anteny.

GPS – błędy

Na początku udostępnienia GPS do użytku cywilnego okazało się, że dokładność pozycji nie jest wystarczająco dobra, zwłaszcza w przypadku podchodzenia do lotnisk (lądowania), żeglugi na ograniczonych akwenach, torach wodnych, podejściach do portów itp. Głównie z powodu SA (selektywna dostępność)

Błędy GPS kompensowane przez DGPS:

- Błędy satelitarne
 - Satellite's clock errors (błędy zegarów satelitarnych)
Pomimo wyposażenia satelitów w bardzo dokładne zegary atomowe, nie są one idealne. Niewielkie niedokładności w pomiarach czasu oraz fluktuacje związane z efektami relatywistycznymi ostatecznie prowadzą do niedokładności pomiaru pseudoodległości.
 - Ephemeris errors (błędy efemeryd)
Siły perturbacyjne powodują odchodzenie satelitów z ich przewidywanych orbit. Niewłaściwe pozycje satelitów, jako punkty początkowe do obliczenia pozycji odbiornika, mają wpływ na dokładność pozycji odbiornika.

Błędy GPS

- Atmosphere errors (błędy atmosferyczne)
sygnały radiowe propagują ze stałą prędkością (prędkość światła) tylko w próżni. W każdym innym ośrodku prędkość jest mniejsza i zależy od jego właściwości. Odbiorniki użytkowników cywilnych dodają współczynniki korekcyjne dla standardowej propagacji przez warstwy atmosferyczne Ziemi. Niestety, atmosfera zmienia się w czasie i od punktu do punktu, dlatego każdy model atmosfery nie może w pełni zrekompensować opóźnień, które występują w:
 - Troposphere
 - Ionosphere
- SA (selective availability – ograniczony dostęp)
do roku 2000 największy błąd: do 30 m w pomiarze odległości. Błąd wprowadzony celowo przez Departament Obrony w celu zapobiegania wrogim działaniom przeciwko USA lub ich sojusznikom, z wykorzystaniem dokładności GPS. Algorytm SA zaburzał wskazania zegarów satelitów oraz dane orbitalne.

Błędy GPS

Błędy GPS niekompensowane przez DGPS

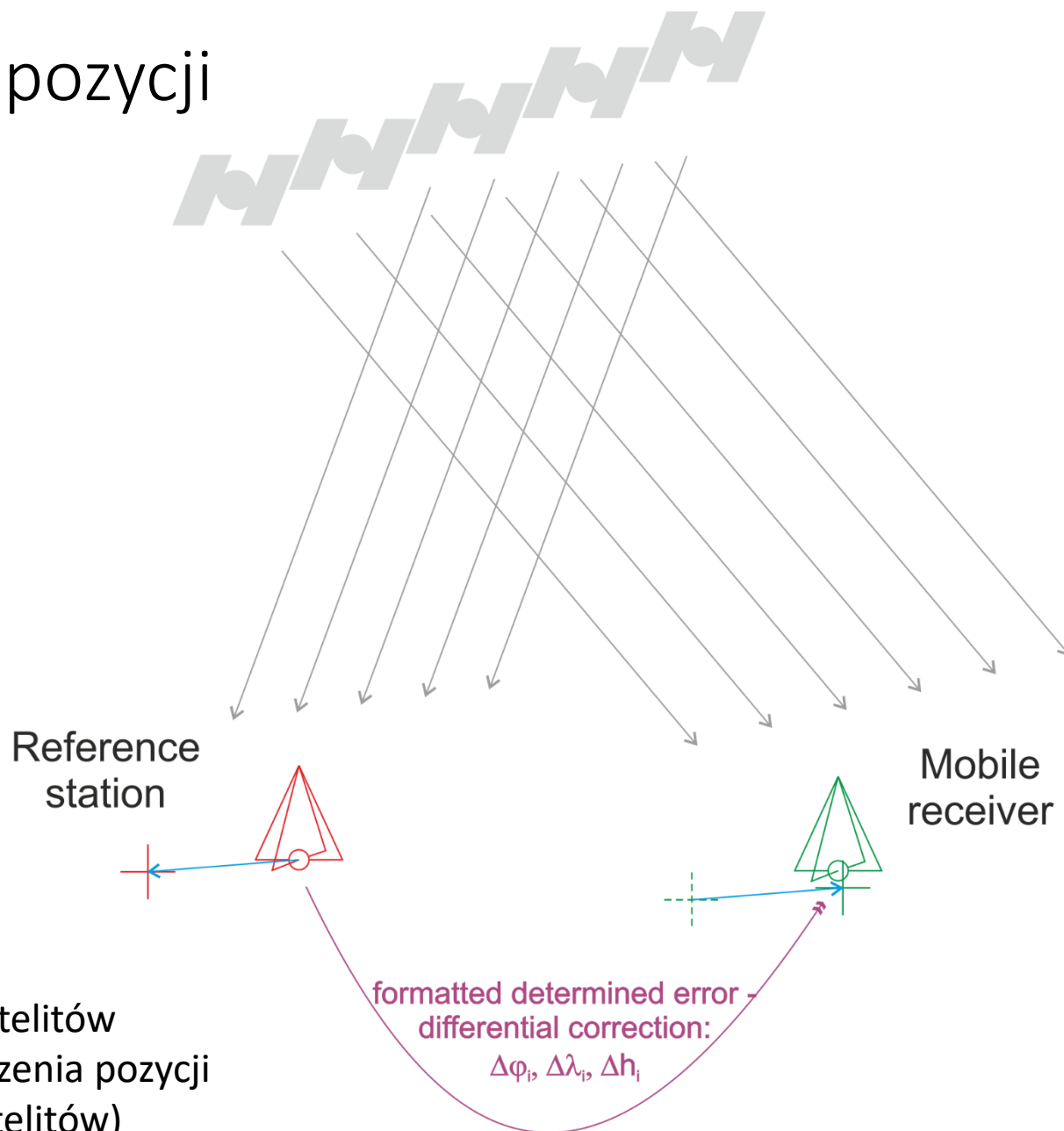
- **Multipath errors (błąd wielotorowości)**
sygnał satelitarny przed dotarciem do anteny odbiornika może odbić się od lokalnych przeszkód. W tym przypadku może spowodować opóźnienie i/lub zakłócenie z bezpośredniego sygnału satelitarnego co może spowodować otrzymanie niejednoznacznych wyników pomiaru.
- **Receiver error (błędy odbiornika)**
odbiorniki wprowadzają własne błędy, które zwykle wynikają z niedokładności ich zegarów i/lub szumów własnych

Podstawowym celem technik różnicowych (DGPS - Differential GPS) jest identyfikacja i korygowanie błędów występujących w systemie. Kodowa technika różnicowa GPS pozwala osiągnąć dokładność od 0,5 do 5 m.

Poprawki do pozycji

- Starą, lecz niekiedy oferowaną metodą jest obliczanie poprawek jako różnicy pomiędzy wyznaczoną a znaną pozycją stacji bazowej.
- Poprawki te są następnie dodawane do pozycji obliczanej przez odbiornik ruchomy.
- Podejście to jest pozornie prostsze, jednak błąd wyznaczonej pozycji silnie zależy od zbioru satelitów wykorzystanych do jej wyznaczenia.
- Odbiornik referencyjny musiałby więc obliczać i wysyłać poprawki do pozycji obliczonej z każdej możliwej kombinacji satelitów.

Poprawki do pozycji

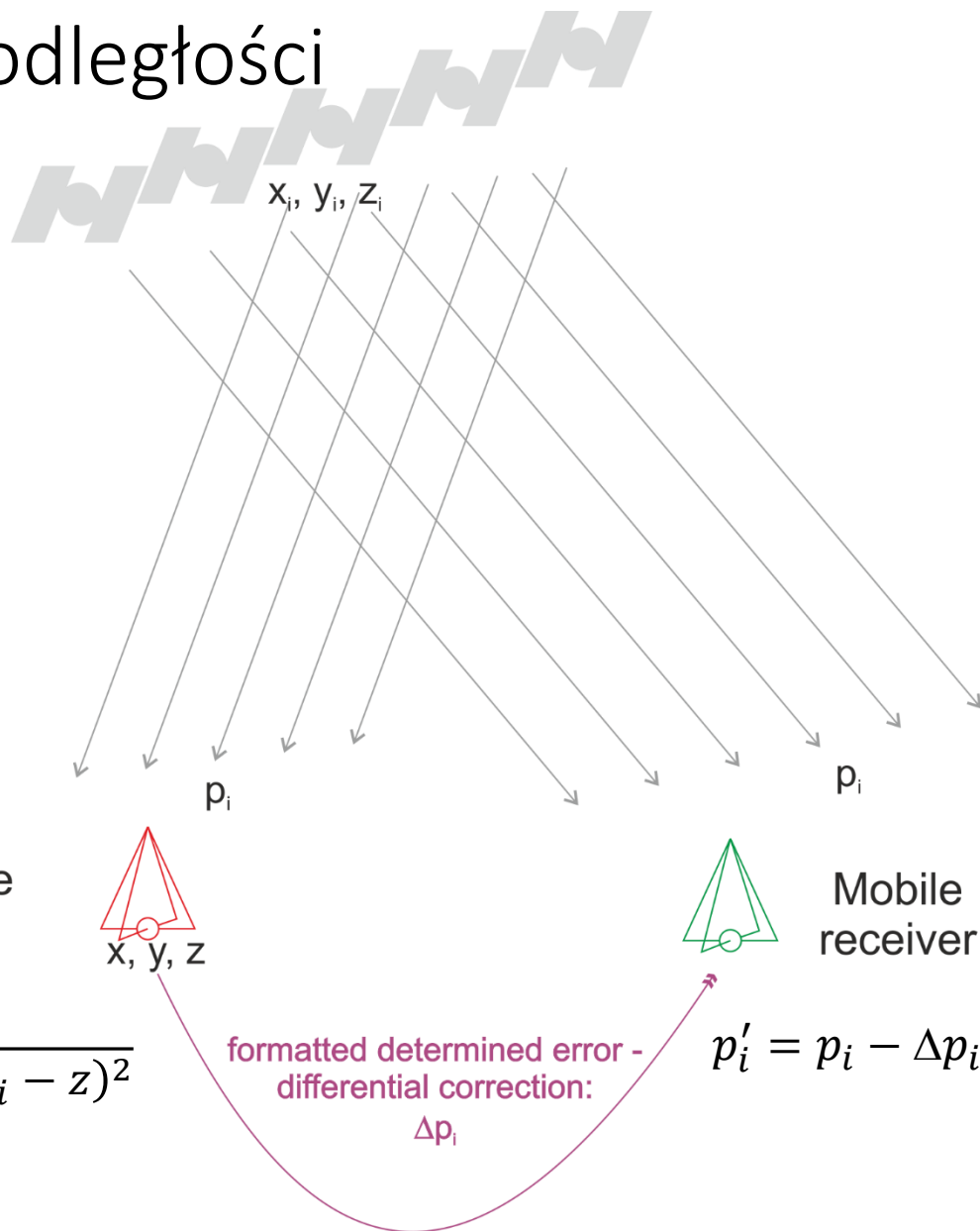


Gdzie i jest danym zbiorem satelitów wykorzystywanych do wyznaczenia pozycji (od 4 do liczby widocznych satelitów)

Poprawki do pseudoodległości

- Najczęściej, obecnie stosowaną metodą jest obliczanie poprawek do pseudoodległości.
- poprawki te są różnicami między pseudoodległościami obserwowanymi przez stację referencyjną a odległościami obliczonymi na podstawie efemeryd i położenia stacji referencyjnej.
- Odbiornik ruchomy dodaje poprawki do własnych pomiarów pseudoodległości.
- Stacja bazowa powinna obserwować wszystkie widoczne satelity i obliczać dla nich poprawki różnicowe. Dzięki temu nie dochodzi do sytuacji, w której odbiornik ruchomy nie może znaleźć rozwiązania różnicowego z powodu zbyt małej liczby satelitów z poprawkami.

Poprawki do pseudoodległości



$$\Delta p_i = p_i - \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}$$

formatted determined error -
differential correction:
 Δp_i

$$p'_i = p_i - \Delta p_i$$

Age of correction – AOC (wiek poprawki)

- Poprawki odbierane przez odbiornik ruchomy są zawsze opóźnione, choćby z powodu czasu potrzebnego do ich obliczenia i czasu transmisji.
- AOC jest to okres czasu jaki upłynął od momentu wyznaczenia pozycji w stacji referencyjnej t_0 , dla której poprawki różnicowe są obliczone, a momentem ich implementacji t_i do obliczeń w odbiorniku ruchomym:

$$\text{AOC} = t_i - t_0$$

- AOC składa się z:
 - Czasu obliczenia i formatowania poprawek różnicowych
 - Czasu propagacji sygnału pomiędzy stacją referencyjną a ruchomą
 - Czasu, który upłynął od momentu odebrania poprawek – wartość rosnąca do chwili odebrania kolejnych poprawek (inny moment t_0)

Age of correction – AOC (wiek poprawki)

- Zasadniczą kwestią jest wielkość tego opóźnienia, która nie powodowałaby znaczącego pogorszenia dokładności.
- Jeżeli dynamika zmian błędów dochodzi do 0.2 m/s to po 5 sekundach poprawki będą obarczone błędem równym 1 m.
- Uznając 1 m za graniczny dopuszczalny błąd poprawki wymagane jest co najmniej jedno uaktualnienie na 5 sekund.
- Wymaganie to można złagodzić transmitując oprócz poprawek pseudoodległości także prędkość zmian pseudoodległości:

$$\text{corr}(t1) = \text{corr}(t0) + d_corr(t0) \times \text{AOC}$$

Zasięg DGPS

- Pojedyncza stacja GBAS (ground-based augmentation system) – beacon – dostarcza ważne poprawki w obszarze o promieniu 300 km z powodu różnic w opóźnieniach jonosferycznym i troposferycznym
- SBAS (satellite-based augmentation system) pokrywa rozległe obszary wykorzystując pomiary opóźnień wykonywane przez znaczną liczbę stacji monitorujących:
 - EGNOS European Geostationary Overlay System
 - Europe 34 stacji monitorujących
 - WAAS Wide Area Augmentation System
 - North America 35 stacji monitorujących

Standard RTCM

- Najszerzej stosowanym standardem transmisji poprawek jest standard zdefiniowany przez Radio Technical Commission For Marine Services.
- Format RTCM SC-104 zawiera 63 typy depeesz.

DIFFERENTIAL GPS (DGPS)

Station name	Position	DGPS Corrections		Identification No. of		Range (in n miles)	Integrity Monitoring	Status	Transmitted Message Types
		tx fx (in kHz)	tx rate (in bps)	Reference Station	Transmit Station				
NORWAY									
Torungen Lt, Ytre Torungen	58°23'·97N 8°47'·52E	299				160		Planned	
Utsira Lt	59°18'·45N 4°52'·33E	313	100	785 815	505	160	Yes	Operational	1 2 3 5 7
Utvær Lt	61°02'·28N 4°30'·70E	314	100	787 817	507	160	Yes	Operational	1 2 3 5 7
Vardø Lt, Hornøy	70°23'·35N 31°10'·07E	305·5	100	800 830	520	160	Yes	Operational	1 2 3 5 7
<p>If problems are encountered they should be reported to: The Coast Directorate, Post Boks 8158 Dep, 0033 Oslo 1: tel +47 22 47 62 00 or fax +47 22 42 48 35, together with the following information: date and time, approx position, brief description of the problem and possible ways to avoid the problem. A description of the radio equipment in use and a return address should also be supplied.</p>									
POLAND									
Dziwnów	54°01'·45N 14°44'·10E	283·5	200		481	80	Yes	On trial	1 3 7 16
Jaroslaweic	54°33'N 16°33'E	295			483	80			
Rozewie	54°49'·97N 18°20'·15E	301	100		482	80	Yes	On trial	1 3 7 16

Typy depeesz RTCM

Message type no.	Status according to [1]	Name
1	Fixed	Differential GPS Corrections
2	Fixed	Delta Differential GPS Corrections
3	Fixed	GPS Reference Station Parameters
4	Tentative	Reference Station Datum
5	Fixed	GPS Constellation Health
6	Fixed	GPS Null Frame
7	Fixed	DGPS Radiobeacon Almanac
8	Tentative	Pseudolite Almanac
9	Fixed	GPS Partial Correction Set
10	Reserved	P-Code Differential Corrections
11	Reserved	C/A-Code L1, L2 Delta Corrections
12	Reserved	Pseudolite (Pseudo-Satellite) Station Parameters

Typy depez RTCM

13	Tentative	Ground Transmitter Parameters
14	Tentative	GPS Time of Week
15	Tentative	Ionospheric Delay Message
16	Fixed	GPS Special Message
17	Tentative	GPS Ephemerides
18	Fixed	RTK (Real-Time Kinematic) Uncorrected Carrier Phases
19	Fixed	RTK Uncorrected Pseudoranges
20	Tentative	RTK Carrier Phase Corrections
21	Tentative	RTK/High-Accuracy Pseudorange Corrections
22	Tentative	Extended Reference Station Parameters
23 - 30	–	Undefined

Typy depez RTCM

23 - 30	–	Undefined
31	Tentative	Differential GLONASS Corrections
32	Tentative	Differential GLONASS Reference Station Parameters
33	Tentative	GLONASS Constellation Health
34	Tentative	GLONASS Partial Differential Correction Set or Null Frame
35	Tentative	GLONASS Radiobeacon Almanac
36	Tentative	GLONASS Special Message
37	Tentative	GNSS System Time Offset
38 - 58	–	Undefined
59	Fixed	Proprietary Message
60 - 63	Reserved	Multipurpose Usage

Koniec