

Jacek Kudrys*

OBSERWOWANE ZAKŁÓCENIA RADIOWE W POMIARACH SYGNAŁÓW GPS**

1. Wstęp

Satelity GPS wysyłają sygnały znane jako L1 o częstotliwości nośnej 1575,42 MHz oraz L2 o częstotliwości 1227,60 MHz. Aktualnie częstotliwość nośna L1 modulowana jest kodem C/A oraz P(Y), a L2 tylko kodem P(Y). Przy powierzchni ziemi minimalna moc sygnału kodowego C/A na częstotliwości L1 jest na poziomie -160 dBW (decybeli w stosunku do 1 wata), sygnału P(Y) na L1 na poziomie -163 dBW, a sygnału P(Y) na częstotliwości L2 ma moc -166 dBW [2, 3].

2. Obserwowane zakłócenia radiowe w pomiarach sygnałów GPS

W listopadzie 2002 r. w obserwacjach wykonanych na punkcie KRAK na dachu budynku C-4 Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH wystąpiły zakłócenia w odbiorze sygnałów GPS. Obserwacje wykonywane były w dniach DOY 312-314/2002 (8-10.11.2002) z wykorzystaniem odbiornika Ashtech UZ-12 (Z-Surveyor) wraz z anteną ASH701008.01B (rys. 1). Pomiar prowadzony był każdego dnia w godz. 5–17 TU, interwał pomiarowy wynosił 10 s, a minimalna wysokość horyzontalna rejestrowanych obserwacji 10°. Zakłócenia stwierdzono na etapie opracowania pomiarów sygnałów GPS w trybie kombinacji częstotliwości L1 i L2 za pomocą oprogramowania firmowego GPPS firmy Ashtech. Program sygnalizował złą jakość pomiarów i nie był w stanie rozwiązać danego wektora. W znacznej większości przypadków możliwe było opracowanie obserwacji tylko na częstotliwości L1.

Wstępna analiza pomiarów sygnałów GPS wykazała częściowy ich brak na częstotliwości L2. Rejestrowane były praktycznie tylko sygnały od satelitów znajdujących się powyżej wysokości 45° nad horyzontem (rys. 2). Liczba zarejestrowanych danych na częstotliwości L2 w stosunku do L1 zawierała się między 18% a 38% w zależności od dnia pomiarowego (rys. 3). Dalsza analiza przeprowadzona za pomocą programu *teqc* potwierdziła fakt braku znacznej części obserwacji (kolumna „%”, tab. 1), a ponadto ujawniła dużą liczbę

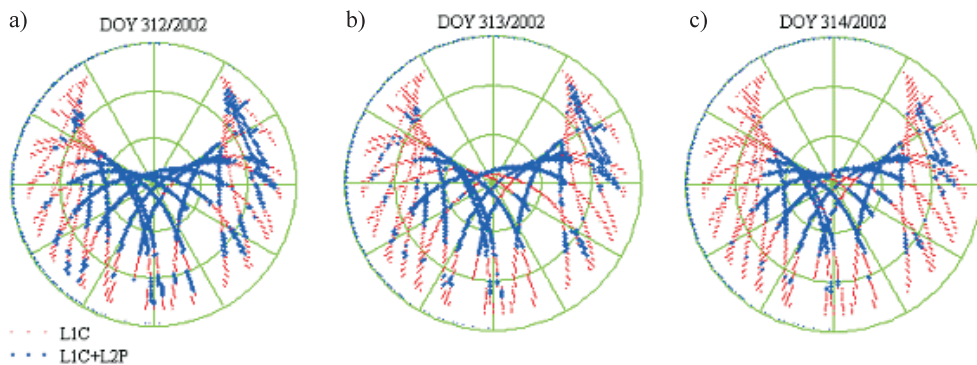
* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

** Praca wykonana w ramach badań własnych

uskoków fazy (ang. *cycle slip*) w obserwacjach (kolumna „o/slps”, tab. 1). Także wskaźniki opisujące błędy wielotorowości sygnałów mają nietypowo duże wartości (kolumny „mp1” i „mp2”).

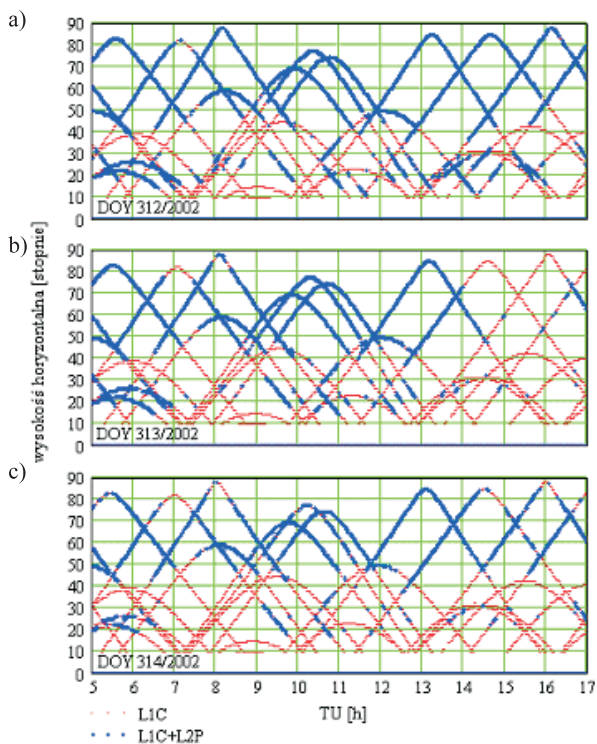


Rys. 1. Antena ASH701008.01B
na dachu budynku Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH



Rys. 2. Porównanie zarejestrowanych obserwacji na częstotliwości L1 i L2: a) DOY 312/2002; b) DOY 313/2002; c) DOY 314/2002. Jaśniejszą linią zaznaczono brak obserwacji na L2

Zakłócenia w pomiarach sygnałów GPS objawiały się także w przebiegu parametru SNR (ang. *Signal to Noise Ratio*) wyprowadzanym przez odbiornik. Odbiorniki typu UZ-12 mają możliwość obserwowania kodu i fazy na obu częstotliwościach, co rejestrowane jest w pamięci odbiornika w trzech niezależnych blokach danych: L1C – faza L1 i kod C/A, L1P – faza L1 i kod P oraz L2P – faza L2 i kod P. Dzięki temu możliwe było porównanie różnych typów danych rejestrowanych w trakcie tej samej sesji obserwacyjnej.



Rys. 3. Porównanie liczby zarejestrowanych danych na częstotliwości L2 w stosunku do L1:

a) DOY 312 – 38%, b) DOY 313 – 27%, c) DOY 314 – 18%.

Jaśniejszą linią zaznaczono brak obserwacji na L2

Tabela 1. Raport z programu *teqc* dla obserwacji wykonanych na punkcie KRAK w dniach DOY 312–314/2002 (8–10.11.2002) oraz dla obserwacji na punkcie AGH0 wykonanych w dniach DOY 035–036/2004 (4–5.02.2004), z wykorzystaniem takiego samego zestawu pomiarowego

DOY	first epoch	last epoch	hrs	dt	#expt	#have	%	mp1	mp2	o/slps
312	02 11 8 05:00	02 11 8 17:00	12	10	33769	12184	36	2.32	2.68	68
313	02 11 9 05:00	02 11 9 17:00	12	10	33750	8757	26	2.25	2.49	50
314	02 11 10 05:00	02 11 10 17:00	12	10	33724	5819	17	2.09	2.54	23
035	04 2 4 05:00	04 2 4 17:00	12	10	36856	36434	99	0.49	0.56	36434
036	04 2 5 05:00	04 2 5 17:00	12	10	36852	36430	99	0.50	0.56	36430

DOY – kolejny dzień roku

first epoch – pierwsza epoka obserwacji (rok, miesiąc, dzień, godzina)

last epoch – ostatnia epoka obserwacji

hrs – czas trwania obserwacji w godzinach

dt – interwał pomiarowy w sekundach

expt – oczekiwana liczba epok obserwacyjnych

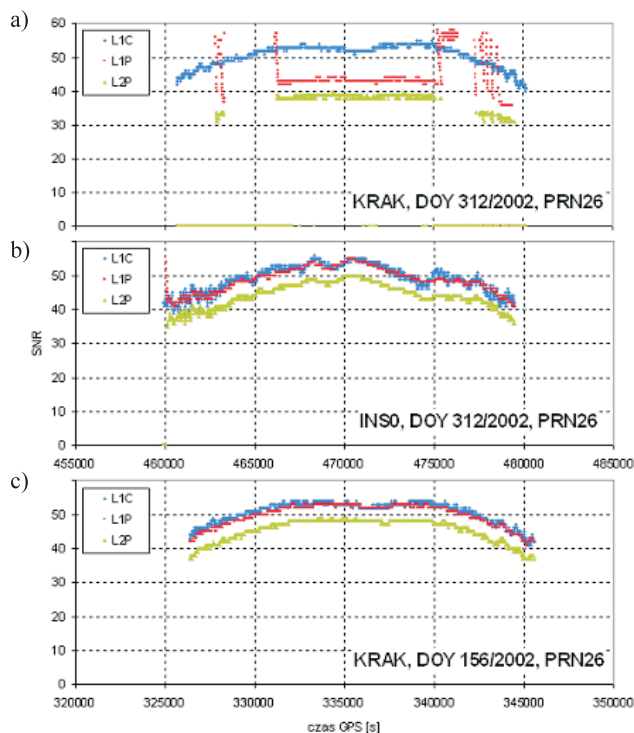
have – liczba zarejestrowanych epok obserwacyjnych

% – iloczyn „have do expt”

mp1 – wskaźnik wielkości efektu wielotorowości w obserwacjach kodowych na L1

mp2 – wskaźnik wielkości efektu wielotorowości w obserwacjach kodowych na L2

o/slps – liczba obserwacji w stosunku do liczby zarejestrowanych uskoków fazy



Rys. 4. SNR satelity PRN26 z obserwacji na punkcie KRAK (a) i INS0 (b) w dniu DOY 312/2002. Dla porównania przedstawiono SNR z obserwacji na punkcie KRAK w dniu DOY 156/2002 (c)

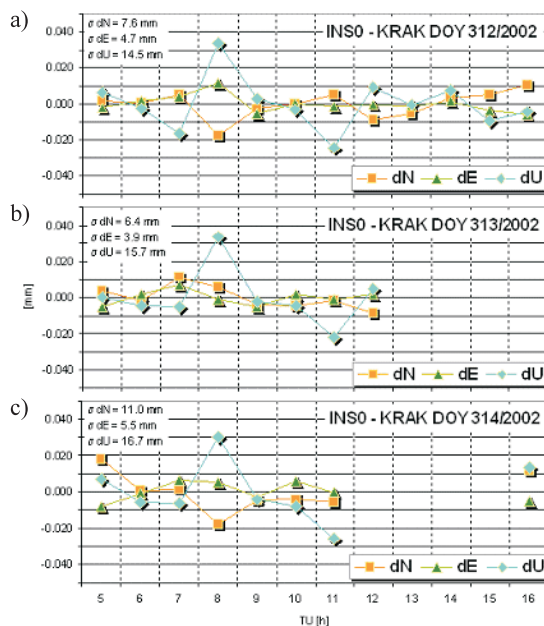
Porównując przebieg zmiany zarejestrowanego SNR dla obserwacji wykonanych na punkcie KRAK i INS0 w dniach DOY 312-314/2002, zauważa się charakterystyczny, płaski przebieg funkcji SNR dla obserwacji L1P i L2P (rys. 4a). Dla porównania na rysunku 4c dodatkowo przedstawiono przebieg SNR z dnia DOY 156/2002 na punkcie KRAK, kiedy nie występowały zakłócenia sygnału.

Brak obserwacji na drugiej częstotliwości uniemożliwia uwzględnienie wpływu jonosfery w wykonanych obserwacjach, utrudnia poprawne wyznaczenie początkowej nieoznaczoności fazy, a także wyklucza wykorzystanie techniki RTK w pomiarach geodezyjnych.

3. Rozwiązanie wektora KRAK-INS0

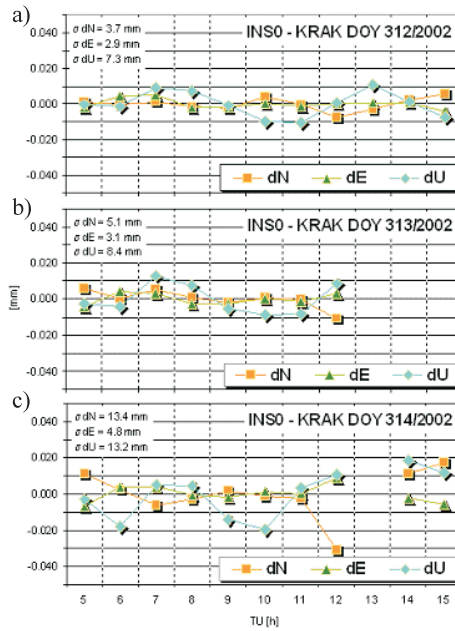
W kolejnym etapie analizy podjęto próbę opracowania wektora między punktem KRAK a punktem INS0 umieszczonym w siedzibie firmy INS w Krakowie. Długość opracowywanego wektora KRAK-INS0 wynosi ok. 2470 m. Na punkcie INS0 obserwacje sygnałów GPS wykonane były za pomocą odbiornika UZ-12 (MicroZ) z anteną ASH700700.C. Wektor ten opracowano programem GPPS na podstawie sesji pomiarowych o interwałach 1 h, 2 h i 4 h rozpoczynających się o pełnej godzinie czasu uniwersalnego TU.

Mimo iż na częstotliwości L1 obserwacje były rejestrowane przez cały czas trwania pomiaru, nie dla każdej z opracowywanych sesji udało się uzyskać rozwiązanie. Na rysunkach 5, 6 i 7 przedstawiono odpowiednio powtarzalność wyznaczenia składowych wektora KRAK-INS0 w kolejnych dniach pomiarowych, dla sesji 1 h, 2 h i 4 h.



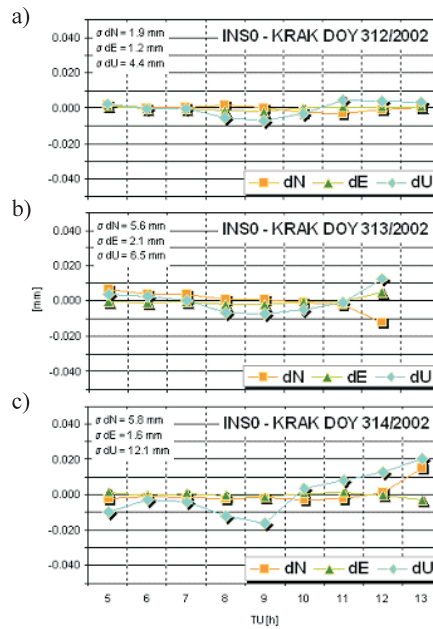
Rys. 5. Powtarzalność rozwiązania wektora INS0-KRAK z sesji jednogodzinnych:
a) 312/2002; b) 313/2002; c) 314/2002

Jak wynika z rysunku 5b w dniu DOY 313/2002 nie udało się rozwiązać wektora (lub rozwiązanie dla składowej pionowej dU ponad 10 cm odbiegało od wartości średniej) z sesji jednogodzinnych rozpoczynających się o godz. 13, 14, 15 i 16 TU, a w dniu DOY 314/2002 z sesji rozpoczynających się o 12, 13, 14 i 15 TU. Powtarzalność rozwiązań, zwłaszcza w składowej pionowej dU (sesje rozpoczynające się o godz. 8 i 11 TU), sugerują występowanie zależności rozwiązania od konfiguracji obserwowanych satelitów. Odchylenie standardowe wyznaczonych współrzędnych na podstawie sesji jednogodzinnych wynosiły w zależności od dnia pomiarowego: 8÷11 mm w składowej południkowej dN, 4÷5 mm w składowej wschodniej dE i 14÷17 mm w składowej pionowej dU. Z kolei dla sesji dwugodzinnych nie uzyskano rozwiązania w przypadku obserwacji w dniu DOY 313/2002 z godz. 13, 14 i 15 TU, a w dniu DOY 314/2002 z godz. 13 TU (rys. 6b, c). Wydłużenie sesji do czterech godzin umożliwiło w zasadzie rozwiązanie wektora w każdej sesji (poza przypadkiem DOY 313/2002 godz. 13 TU), lecz widoczne są duże rozbieżności w wyznaczanych współrzędnych z rozwiązań pochodzących z kolejnych dni (rys. 7).



Rys. 6. Powtarzalność rozwiązania wektora INS0-KRAK z sesji dwugodzinnych:

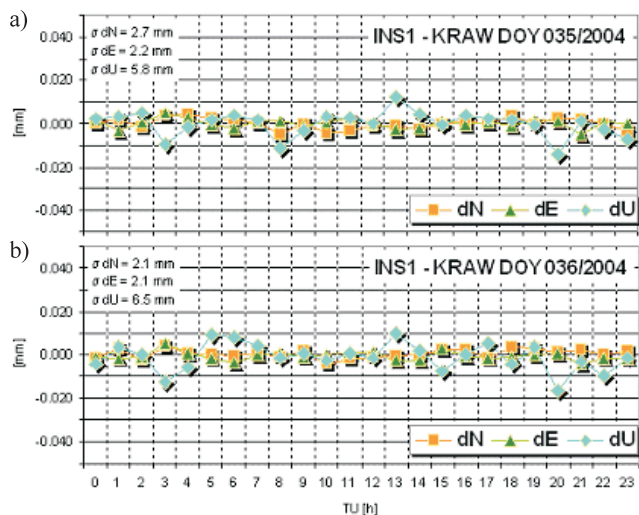
a) DOY 312/2002; b) 313/2002; c) 314/2002



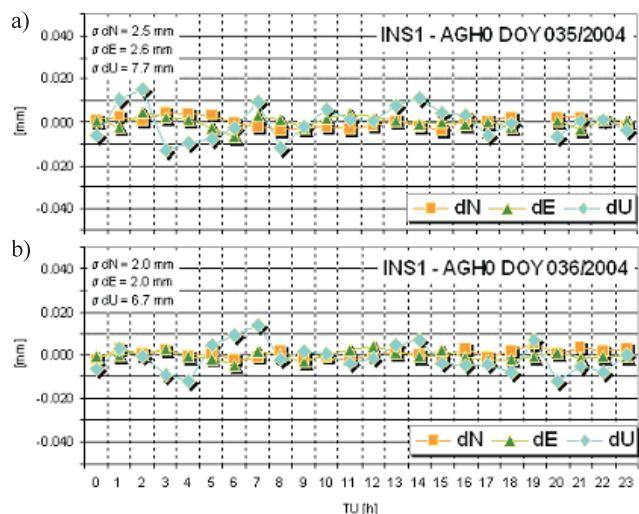
Rys. 7. Powtarzalność rozwiązania wektora INS0-KRAK z sesji czterogodzinnych:

a) DOY 312/2002; b) 313/2002; c) 314/2002

Dla porównania na rysunkach 8 i 9 przedstawiono powtarzalność wyznaczenia składowych dN, dE, dU z rozwiązania sesji jednogodzinnych obserwacji wektorów INS1-KRAW i INS1-AGH0 wykonanych w dniach DOY 035–036/2004 (4–5.02.2004). W tym przypadku wartości odchyłeń standardowych współrzędnych wynoszą: dla dN = 2÷3 mm, dE = 2÷3 mm i dU = 6÷8 mm.

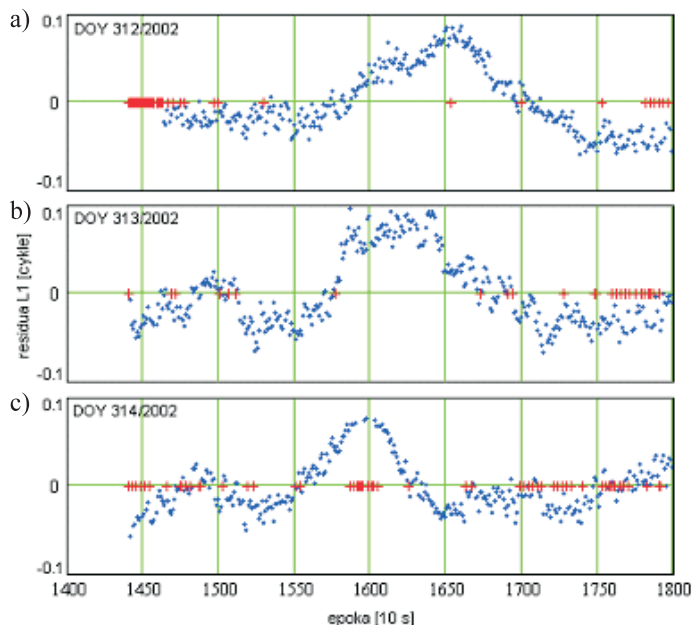


Rys. 8. Powtarzalność rozwiązania wektora INS1-KRAW z sesji jednogodzinnych:
 a) DOY 035/2004; b) DOY 036/2004



Rys. 9. Powtarzalność rozwiązania wektora INS1-AGH0 z sesji jednogodzinnych:
 a) DOY 035/2004; b) DOY 036/2004. W dniu DOY 035/2004 nie rejestrowano obserwacji w sesji rozpoczynającej się o godz. 19 TU

Na podstawie analizy residuów zauważa się w wielu przypadkach znaczną liczbę obserwacji odrzuconych przez program GPPS. Na rysunku 10 przedstawiono przykładowy przebieg residuów podwójnych różnic obserwacji dla satelitów PRN08-PRN29 w sesji jednogodzinnej rozpoczynającej się o godz. 9 TU.



Rys. 10. Residua podwójnych różnic obserwacji L1 z sesji jednogodzinnych dla satelitów PRN08-PRN29: a) DOY 312/2002; b) DOY 313/2002; c) DOY 314/2002.

Znak „+” oznacza epokę odrzuconą przez program GPPS w trakcie opracowania obserwacji

4. Zakończenie

Na prośbę pracowników Wydziału GGİŚ AGH zlokalizowaniem i usunięciem źródła zakłóceń zajął się Urząd Regulacji Telekomunikacji i Poczty w Krakowie. Według informacji otrzymanej z Urzędu, źródłem opisywanych zakłóceń była bezprzewodowa kamera telewizyj przemysłowej pracująca w paśmie 1,2 GHz, która została zlokalizowana w odległości kilkuset metrów od budynku Wydziału. Zbliżona lub pokrywająca się z L2 (1227,6 MHz) częstotliwość, na której przesyłany był obraz z kamery, skutecznie uniemożliwiała odbiór sygnału z satelitów.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zakłócenia radiowe w obserwacjach sygnałów GPS przejawiały się w następujący sposób:

- wystąpił częściowy brak zarejestrowanych obserwacji na częstotliwości L2,
- pojawiły się nietypowo duże wartości wskaźników opisujących wielotorowość sygnału w obserwacjach kodowych,

- zaobserwowano nietypowe zmiany parametru SNR dla obserwacji L1P i L2P,
- w kilku przypadkach dla sesji jedno- i dwugodzinnych program GPPS nie rozwiązał wektora z wykorzystaniem obserwacji na częstotliwości L1,
- w przypadku obserwacji zakłóconych powtarzalność wyznaczenia składowych wektora była znacznie gorsza,
- w trakcie opracowania obserwacji zakłóconych program GPPS odrzucił wiele epok obserwacyjnych.

Jak wynika z Krajowej Tablicy Przeznaczenia Częstotliwości [1] (tab. 2), w pobliżu częstotliwości L2 znajduje się pasmo przeznaczone dla radiolokalizacji oraz pasmo amatorskie. Z tych źródeł można spodziewać się również zakłóceń w pracy odbiorników sygnałów GPS.

Tabela 2. Wyciąg z Krajowej Tablicy Przeznaczenia Częstotliwości

Lp.	f_{dolna} [MHz]	$f_{\text{górna}}$ [MHz]	Przeznaczenie w Polsce	Użytkowanie
295	960	1215	radionawigacja lotnicza	cywilno-rządowe
296	1215	1240	radiolokalizacja	rządowe
			radionawigacja satelitarna (kosmos–Ziemia)	rządowe
297	1240	1260	radiolokalizacja	rządowe
			radionawigacja satelitarna (kosmos–Ziemia)	rządowe
			amatorska	cywilne
298	1260	1300	radiolokalizacja	rządowe
			amatorska	cywilne

$f_{\text{dolna}}, f_{\text{górna}}$ – częstotliwości graniczne określonego zakresu częstotliwości

Opisywany punkt KRAK jest obecnie włączony do sieci stacji permanentnych ASG-PL oraz EUREF pod nazwą KRAW, a punkt INS0 do sieci ASG-PL pod nazwą INS1. Punkt AGH0 znajduje się także na budynku Wydziału GGİİŚ w odległości ok. 17 m od punktu KRAW.

Literatura

- [1] Strona internetowa Urzędu Regulacji Telekomunikacji i Poczty: www.urtip.gov.pl
- [2] ICD-GPS-200C for L2 Civil (L2C) Signal, PPIRN-200C-007, ARINC, Inc. May 2001
- [3] Global Positioning System, Standard Positioning Service Performance Standard, Department of Defence USA, October 2001