

CIEĆKO Adam¹
MALISZEWSKI Paweł¹

ANALIZA DOSTĘPNOŚCI I DOKŁADNOŚCI POZYCJONOWANIA GPS/GLONASS W CZASIE RZECZYWISTYM W TRUDNYCH WARUNKACH OBSERWACYJNYCH

W niniejszym artykule podjęto próbę zbadania wpływu trudnych warunków obserwacyjnych na pomiary wykonywane techniką RTK (Real Time Kinematic). Badania przeprowadzono w trybie statycznym na trzech stanowiskach w różnych warunkach terenowych. Na każdym z punktów przeprowadzono dwie, godzinne sesje pomiarowe wykorzystując do tego raz satelity systemów GPS i GLONASS natomiast w drugiej uwzględniono tylko satelity GPS. Przeprowadzenie sesji obserwacyjnych o tych samych porach dnia, przy wykorzystaniu odbiornika dwusystemowego pozwoliło na stwierdzenie, czy zwiększenie liczby obserwowanych sygnałów satelitarnych o sygnały systemu GLONASS poprawia dostępność i dokładność pomiaru w miejscach z licznymi zasłonami terenowymi.

ANALYSIS OF AVAILABILITY AND ACCURACY OF REAL-TIME GPS/GLONASS POSITIONING IN DIFFICULT OBSERVATION CONDITIONS

The article presents an approach to examine the impact of difficult observation conditions on RTK (Real Time Kinematic) measurements. The study was conducted in static mode on three sites in a variety of field conditions. On each of the points there were two, one-hour test sessions using once the GPS and GLONASS satellites, while the second included only GPS satellites. Carrying out observation sessions in the same times of day, using a dual-system receiver made it possible to determine whether the observed increment of the number of satellite signals by GLONASS signals improves the availability and accuracy in areas with numerous terrain obstructions.

1. WSTĘP

Satelitarne, wysokodokładne pomiary RTK znajdują coraz większe zastosowanie zarówno w geodezji jak i precyzyjnej nawigacji. Skracają one maksymalnie czas pomiaru, zapewniając jednocześnie wysoką dokładność. [1] Na rozpowszechnienie techniki GNSS (Global Navigation Satellite System) RTK w Polsce znaczny wpływ miało powstanie Aktywnej Sieci Geodezyjnej ASG-EUPOS, dzięki której pozycjonowanie RTK w czasie

¹Katedra Geodezji Satelitarnej i Nawigacji, Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie, a.ciecko@kgsin.pl

rzeczywistym jest dzisiaj ograniczone praktycznie do zasięgu sygnału GSM. Rozwój rosyjskiego systemu GLONASS, oferującego dzisiaj (6.10.2011) 23 satelity operacyjne pozwala na realizację pomiarów z wykorzystaniem odbiorników wielosystemowych. Użycie dwóch lub więcej systemów nawigacyjnych daje szansę na uzyskanie satysfakcjonujących rezultatów obserwacji w miejscach gdzie użycie jednego systemu nie daje gwarancji uzyskania rozwiązania. [4] W pracy badania wykonano na trzech stanowiskach, na których występowały różnego typu przeszkody, powodujące ograniczenia w odbiorze sygnału satelitarne. W celu określenia wpływu zastosowania odbiornika dwusystemowego na pomiary RTK przeprowadzono badania zarówno z użyciem systemu GPS jak i GPS+GLONASS wykonane przy tej samej konfiguracji satelitów GPS.

2. WYBÓR I LOKALIZACJA PUNKTÓW POMIAROWYCH

Do badań wybrano trzy punkty leżące na terenie kampusu akademickiego Kortowo w Olsztynie znajdujące się w bliskiej odległości od budynków i drzew oraz usytuowane tak, aby zasłony znajdowały się od strony południowej (rys. 1). Podczas określania lokalizacji założono różnorodność wpływu zasłon na dostępność oraz dokładność pomiarów.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów podlegających pomiarowi

Punkt P1 ulokowano od północnej strony Domu Studenckiego nr 7 w odległości około 7 metrów od budynku (rys. 2). Główne utrudnienie dla wybranego stanowiska pomiarowego tworzy pobliski pięciokondygnacyjny budynek znajdujący się od południa. W kierunku pozostałych stron świata występują niewielkie zakrzewienia oraz pojedyncze niskie drzewa, które nie oddziaływały znacząco na warunki obserwacyjne. Wstępnie przewidywano, że dla punktu P1 nie powinny wystąpić większe rozbieżności

w pozycjonowaniu GPS i GPS+GLONASS oraz utrata dostępności pozycjonowania uzyskanego metodą RTK.



Rys. 2. Lokalizacja punktu pomiarowego P1(po lewej) oraz P2 (po prawej)

Drugi punkt pomiarowy P2 umiejscowiono pod koroną drzewa, które nie było jedynym utrudnieniem dla warunków pomiarowych (rys. 2). Oprócz trudności związanych z przejściem sygnału przez gęszcz konarów kolejnymi ograniczeniami obserwacyjnymi były dwa wysokie budynki, znajdujące się na południowy-wschód oraz południowy-zachód od wybranej lokalizacji. Obecność zabudowań znacznie utrudnia warunki obserwacyjne powodując całkowite zasłonięcie sygnałów przychodzących od satelitów o niskim kącie elewacji znajdujących się we wschodniej i zachodniej części nieba. Tego typu niedogodności miały spowodować przerwy w pozycjonowaniu w trakcie prowadzenia obserwacji, związane ze zbyt małą ilością satelitów śledzonych przez odbiornik ruchomy.



Rys. 3. Lokalizacja punktu pomiarowego P3

Ostatnim miejscem wybranym do pomiaru jest punkt umiejscowiony w narożu Domu Studenckiego nr 8. Lokalizacja ta jest najbardziej ekstremalnym położeniem ze względu na całkowitą zasłonę satelitów znajdujących się w południowej i wschodniej części nieba. Taka sytuacja sprawia, że uzyskane pomiary są zależne tylko od niewielkiej liczby satelitów znajdujących się na północny-zachód od wyznaczonego punktu. Sygnał uzyskiwany podczas pomiaru był ponadto narażony na błąd wielotorowości. Przewidywano, że szanse na uzyskanie prawidłowego rozwiązania są w tym wypadku są bardzo małe, a dostępność pozycjonowania niska.

3. WYKONANIE POMIARU TERENOWEGO

Do realizacji pomiaru wykorzystano dwa odbiorniki Topcon HiPerPro oraz kontroler polowy FC-200. Przed pomiarem odpowiednio skonfigurowano sprzęt tak by jeden z nich pracował jako stacja referencyjna nad punktem o znanych współrzędnych, zaś drugi (typu rover) odbierał wysyłane przez niego poprawki. W celu przeprowadzenia pomiaru z wykorzystaniem metody RTK, stację bazową umiejscowiono na punkcie o znanych współrzędnych – Kort 3 (rys.1), znajdującym się w niedalekiej odległości (100-200m) od pola testowego, która drogą radiową przesyłała poprawki do odbiornika typu rover.

Pomiary zostały przeprowadzone w dniach 29 i 30 kwietnia 2011 r. Każdego dnia na punktach testowych przeprowadzono godzinne sesje pomiarowe, podczas których odbiornik typu rover wyznaczał swoją pozycję w czasie rzeczywistym z interwałem jednosekundowym. Czas przeprowadzenia pomiaru dobrano tak, aby każdego dnia na tych samych punktach zaistniała taka sama konstelacja satelitów GPS, dlatego odstęp między pomiarami wynosił 23 godziny i 56 minut co jest równe dwóm pełnym obiegom satelity po orbicie wokół Ziemi. Przy takim doborze czasu można było w prosty sposób stwierdzić czy wykorzystanie dwóch systemów GNSS zwiększa dokładność wyznaczanej pozycji i daje lepszą dostępność pozycjonowania. Pierwszego dnia przeprowadzono pomiar wykorzystując sygnał z systemów GPS+GLONASS, drugiego zaś tylko z samych satelitów GPS.

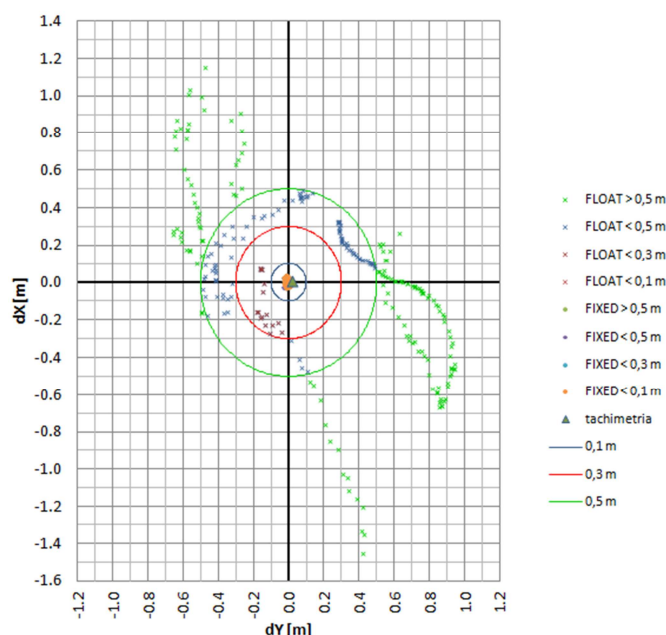
Odbiornik typu rover w celu uniknięcia błędu centrowania umieszczono na statywie i podobnie jak w przypadku stacji referencyjnej spoziomowano nad poszczególnymi punktami (rys. 2 i 3), zapisując jego wysokość. Do istotnych parametrów ustawianych w odbiornikach oprócz współrzędnych stacji bazowej i wysokości stanowisk należało dodać maskę elewacji (15°), interwał pomiarowy (1 sekunda) oraz aktualnie wykorzystywany do rozwiązania system satelitarny.

4. ANALIZA ZEBRANYCH DANYCH POMIAROWYCH

Do porównań i analiz wyników uzyskanych z pomiaru metodą RTK wykorzystano współrzędne uzyskane z trzygodzinnymi sesji statycznych, wykonanych na punktach testowych, które przyjęto za bezbłędne. W celu uniknięcia błędów grubych wyznaczono dodatkowo współrzędne testowych punktów przy pomocy klasycznego pomiaru tachimetrycznego.

4.1. Analiza wyników uzyskanych na stanowisku P1

Podczas godzinnej sesji pomiarowej wykonanej na stanowisku P1 przy użyciu systemów GPS+GLONASS, uzyskano 3588 rozwiązań charakteryzujących się różnymi dokładnościami względem współrzędnych odniesienia. Rozkład uzyskanych rozwiązań 2D przedstawiono na rysunku 4.



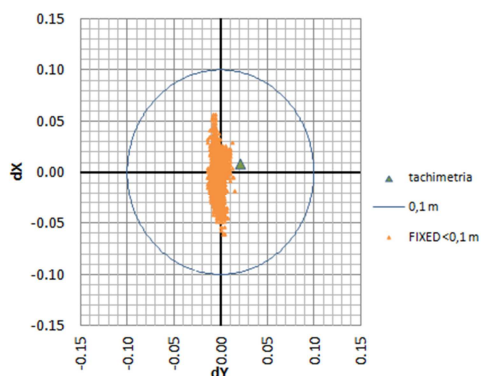
Rys. 4. Dokładności rozwiązania 2D dla punktu P1, system GPS+GLONASS [2]

Rozpatrując szczegółowo uzyskane wyniki stwierdzono, że rozwiązania typu FIXED (z rozwiązana nieoznaczonością pomiarów fazowych) charakteryzują się odchyleniem standardowym w granicy dwóch centymetrów co odpowiada teoretycznej dokładności techniki RTK. W grupie rozwiązań FLOAT (brak rozwiązanej nieoznaczoności) różnice współrzędnych zawarły się w granicy 1,5 m w płaszczyźnie poziomej i 2 m w pionie. W całym realizowanym pomiarze składającym się z 3600 epok udział uzyskanych rozwiązań FIXED wyniósł 92,14%, FLOAT 7,53% pozostałe 0,27% stanowi przerwę, podczas której odbiornik wyznaczał pozycję absolutną. Szczegółową statystykę wyników uzyskanych na punkcie P1 z wykorzystaniem systemów GPS+GLONASS zestawiono w tabeli 1.

Podczas realizacji kolejnego godzinnego pomiaru na punkcie P1, w którym wykorzystano wyłącznie satelity systemu GPS, uzyskano rozwiązania dla 3540 epok. Wszystkie uzyskane punkty pomiarowe charakteryzowało niewielkie odchylenie od wartości referencyjnych punktu co przedstawia rysunek 5 oraz tabela 2.

Tab. 1. Statystyka wyników dla punktu P1, system GPS+GLONASS

Wartość statystyczna	Statystyka wyników dla punktu P1, GPS+GLONASS								
	ogółem			FIXED			FLOAT		
	dY [m]	dX [m]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]
Wartość minimalna	-0,653	-1,458	-1,770	-0,025	-0,029	-0,084	-0,653	-1,458	-1,770
Wartość maksymalna	0,945	1,152	2,048	0,008	0,039	0,022	0,945	1,152	2,048
Wartość średnia	0,005	0,002	-0,012	-0,007	-0,001	-0,032	0,153	0,039	0,231
Odchylenie standardowe	0,145	0,119	0,313	0,005	0,011	0,015	0,503	0,431	1,111
Czas pomiaru [s]	3600			3600			3600		
Liczba uzyskanych rozwiązań	3588			3317			271		
Udział procentowy w liczbie rozwiązań	100,00%			92,45%			7,55%		
Udział procentowy w czasie pomiaru	99,67%			92,14%			7,53%		



Rys. 5. Dokładności rozwiązania 2D dla punktu P1, system GPS [2]

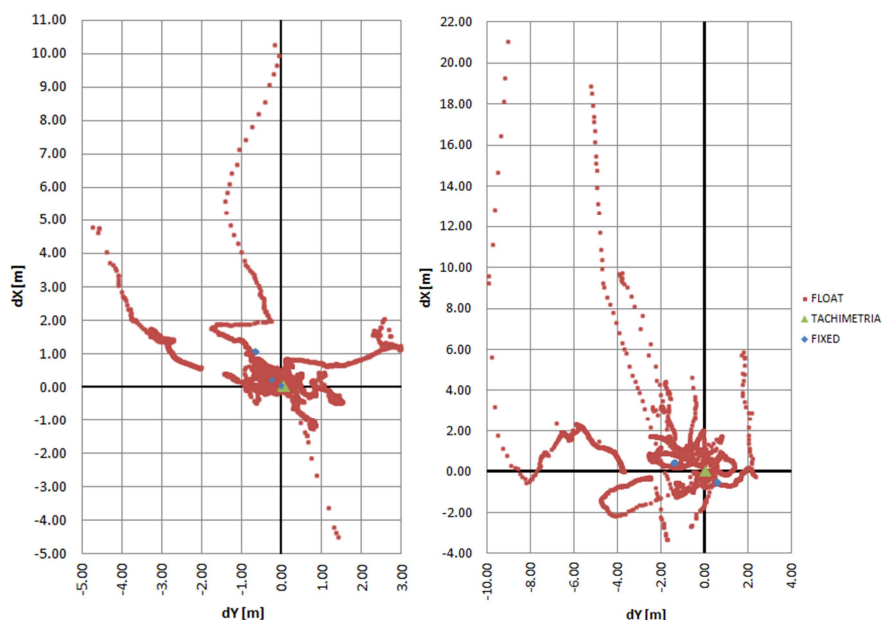
Tab. 2. Statystyka wyników dla punktu P1, system GPS

Wartość statystyczna	Statystyka wyników dla punktu P1, GPS								
	ogółem			FIXED			FLOAT		
	dY [m]	dX [m]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]
Wartość minimalna	-0,014	-0,060	-0,100	-0,014	-0,060	-0,100	-	-	-
Wartość maksymalna	0,016	0,057	0,039	0,016	0,057	0,039	-	-	-
Wartość średnia	-0,003	-0,008	-0,038	-0,003	-0,008	-0,038	-	-	-
Odchylenie standardowe	0,004	0,015	0,015	0,004	0,015	0,015	-	-	-
Czas pomiaru [s]	3600			3600			3600		
Liczba uzyskanych rozwiązań	3540			3540			0		
Udział procentowy w liczbie rozwiązań	100,00%			100,00%			0,00%		
Udział procentowy w czasie pomiaru	98,33%			98,33%			0,00%		

Podsumowując wyniki uzyskane na stanowisku P1 można stwierdzić, że wykorzystanie 2 systemów do wyznaczenia pozycji nie wpłynęło znacząco na dostępność oraz dokładność wyników.

4.2. Analiza wyników uzyskanych na stanowisku P2

Na stanowisku P2, usytuowanym pod koroną drzewa, podczas godzinowego pomiaru z wykorzystaniem systemów GPS+GLONASS uzyskano rozwiązanie dla 3440 epok pomiarowych. Niekorzystne warunki obserwacyjne spowodowały znaczne rozbieżności w uzyskanych współrzędnych epok pomiarowych, co zaprezentowano na rysunku 6. Uzyskano zaledwie 176 epok z rozwiązaniami typu FIXED, z czego aż 142 epok posiadało dokładności gorsze niż 30 cm. Wynika z tego, że uzyskanie rozwiązania FIXED nie gwarantuje wysokiej dokładności pozycjonowania.



Rys. 6. Dokładności rozwiązania 2D dla punktu P2, system GPS+GLONASS (po lewej) oraz system GPS (po prawej)[2]

Dla pomiaru uwzględniającego tylko systemem GPS, rozrzut wyznaczonych pozycji jest w wielu przypadkach dwa razy większy (rys. 6) niż dla danych z dnia poprzedniego, gdzie użyto również systemu GLONASS. Liczba epok pomiarowych z rozwiązaniem spadła o 320 i wyniosła 3120. Oprócz zmniejszenia się całkowitej ilości rozwiązań zauważalny jest spadek dokładności i ilości epok, dla których została wyznaczona nieoznaczoność. Liczba rozwiązań FIXED wyniosła 53, ale żadne z tych rozwiązań nie spełnia dokładności oferowanych przez technikę RTK, osiągając błędy powyżej 0,5 m.

Tab. 3. Statystyka wyników dla punktu P2, system GPS+GLONASS

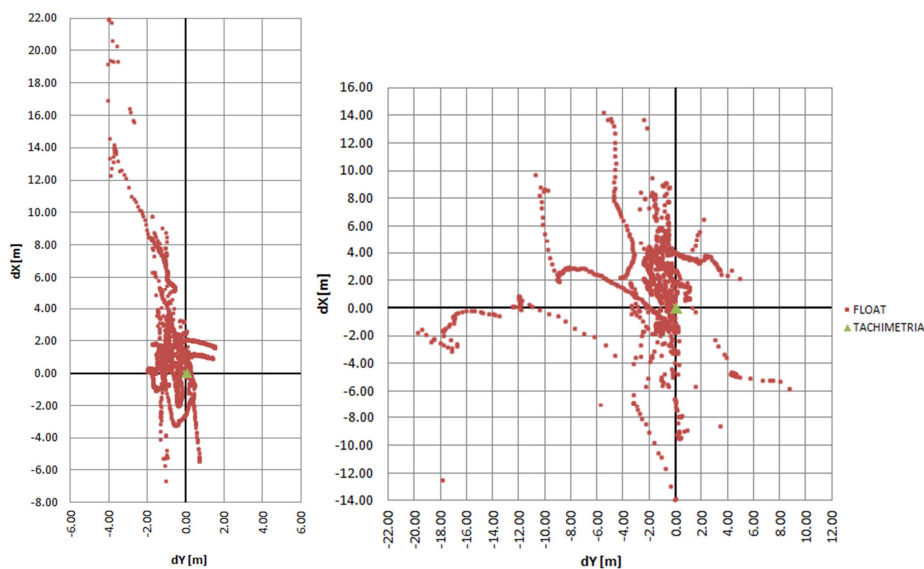
Wartość statystyczna	Statystyka wyników dla punktu P2, GPS+GLONASS								
	Ogółem			FIXED			FLOAT		
	dY [m]	dX [m]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]
Wartość minimalna	-4,736	-4,493	-4,227	-0,681	0,023	-1,056	-4,736	-4,493	-4,227
Wartość maksymalna	2,991	10,270	13,612	0,004	1,095	1,425	2,991	10,270	13,612
Wartość średnia	-0,227	0,475	0,375	-0,449	0,716	-0,274	-0,215	0,462	0,410
Odchylenie standardowe	1,135	0,842	1,152	0,271	0,458	0,916	1,162	0,856	1,153
Czas pomiaru [s]	3600			3600			3600		
Liczba uzyskanych rozwiązań	3440			176			3264		
Udział procentowy w liczbie rozwiązań	100,00%			5,12%			94,88%		
Udział procentowy w czasie pomiaru	95,56%			4,89%			90,67%		

Tab. 4. Statystyka wyników dla punktu P2, system GPS

Wartość statystyczna	Statystyka wyników dla punktu P2, GPS								
	ogółem			FIXED			FLOAT		
	dY [m]	dX [m]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]
Wartość minimalna	-9,889	-3,325	-7,378	-1,378	-0,529	1,639	-9,889	-3,325	-7,378
Wartość maksymalna	2,350	21,019	32,713	0,600	0,457	4,627	2,350	21,019	32,713
Wartość średnia	-1,256	0,642	2,890	-0,889	0,203	3,854	-1,263	0,650	2,874
Odchylenie standardowe	1,958	1,787	3,877	0,854	0,415	1,255	1,971	1,800	3,905
Czas pomiaru [s]	3600			3600			3600		
Liczba uzyskanych rozwiązań	3120			53			3067		
Udział procentowy w liczbie rozwiązań	100,00%			1,70%			98,30%		
Udział procentowy w czasie pomiarów	86,67%			1,47%			85,19%		

4.3. Analiza wyników uzyskanych na stanowisku P3

Na ostatnim punkcie pomiarowym – P3 spodziewano się znacznych utrudnień w dotarciu sygnału do odbiornika, co praktycznie potwierdziło się podczas testów. Niekorzystne usytuowanie stanowiska w narożu budynku spowodowało ograniczenie w obiorze sygnałów satelitarnych i brak wyznaczenia nieoznaczoności podczas całego pomiaru zarówno przy wykorzystaniu systemu GPS, jak i systemów GPS+GLONASS. Dla pomiarów dwusystemowych uzyskano 2968 rozwiązań typu FLOAT, żadnego typu FIXED. Rozrzut uzyskanych współrzędnych zaprezentowano na rysunku 7, a szczegółowe statystyki w tabelach 5 oraz 6.



Rys. 7. Dokładności rozwiązania 2D dla punktu P3, system GPS+GLONASS (po lewej) oraz system GPS (po prawej)[2]

Tab. 5. Statystyka wyników dla punktu P3, system GPS+GLONASS

Wartość statystyczna	Statystyka wyników dla punktu P3, GPS+GLONASS								
	ogółem			FIXED			FLOAT		
	dY [m]	dX [m]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]
Wartość minimalna	-4,035	-6,681	-6,525	-	-	-	-4,035	-6,681	-6,525
Wartość maksymalna	1,549	21,963	24,388	-	-	-	1,549	21,963	24,388
Wartość średnia	-0,557	1,318	1,340	-	-	-	-0,557	1,318	1,340
Odchylenie standardowe	0,774	2,581	2,656	-	-	-	0,774	2,581	2,656
Czas pomiaru [s]	3600			3600			3600		
Liczba uzyskanych rozwiązań	2968			0			2968		
Udział procentowy w liczbie rozwiązań	100,00%			0,00%			100,00%		
Udział procentowy w czasie pomiaru	82,44%			0,00%			82,44%		

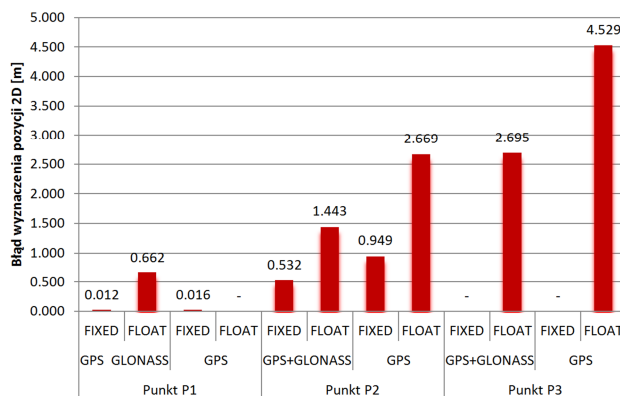
W drugim dniu pomiarów na punkcie P3, w którym udział brały wyłącznie satelity GPS podczas godzinowego pomiaru uzyskano rozwiązanie FLOAT dla zaledwie 1761 epok. Wartości wyznaczanych pozycji różniły się znacznie od wartości referencyjnych i wyniosły 19,70 m dla składowej Y i 14,17 m dla składowej X, zaś maksymalna różnica w wyznaczeniu wysokości wyniosła 17,73 m.

Tab. 6. Statystyka wyników dla punktu P3, system GPS

Wartość statystyczna	Statystyka wyników dla punktu P3, GPS								
	ogółem			FIXED			FLOAT		
	dY [m]	dX [m]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]
Wartość minimalna	-19,70	-13,90	-11,90	-	-	-	-19,70	-13,90	-11,90
Wartość maksymalna	8,747	14,169	17,732	-	-	-	8,747	14,169	17,732
Wartość średnia	-1,622	1,542	2,381	-	-	-	-1,622	1,542	2,381
Odchylenie standardowe	3,211	3,194	3,368	-	-	-	3,211	3,194	3,368
Czas pomiaru [s]	3600			3600			3600		
Liczba uzyskanych rozwiązań	1761			0			1761		
Udział procentowy w liczbie rozwiązań	100,00%			0,00%			100,00%		
Udział procentowy w czasie pomiaru	48,92%			0,00%			48,92%		

5. WNIOSKI

W pracach geodezyjnych oraz nawigacji często wymagane jest precyzyjne (centymetrowe) pozycjonowanie w czasie rzeczywistym. Dokładności takie osiągalne są za pomocą technologii pomiarów satelitarnych w trybie RTK. Technologia pomiarów RTK oferuje wiele możliwości, nieosiągalnych dla klasycznych systemów pomiarowych, jednak jej działanie jest uwarunkowane odpowiednią liczbą satelitów GNSS oraz ich stosowną geometrią. Warunki pomiarowe ograniczone przez liczne elementy przestrzenne takie



Rys. 8. Średni błąd wyznaczenia pozycji 2D

jak budynki oraz roślinność powodują spadek dokładności i dostępności pozycjonowania RTK. Zdarzają się także epoki dla których pomimo rozwiązania typu FIXED, oznaczającego teoretyczny błąd pozycjonowania na poziomie kilku centymetrów, rzeczywisty błąd przekracza nawet 1 metr. Podsumowując uzyskane z wykorzystaniem

odbiornika dwusystemowego rozwiązania oraz ich szczegółowe analizy nasuwają się następujące wnioski:

- Przy braku przeszkód terenowych wyniki uzyskane przy użyciu odbiornika dwusystemowego GPS+GLONASS nie odbiegają dokładnością, dostępnością i precyzją od pomiaru realizowanego odbiornikiem GPS, a wszystkie rozwiązania typu FIXED posiadają dokładności centymetrowe;
- Wykorzystanie do rozwiązania dwóch systemów satelitarnych GPS+GLONASS w trudnych warunkach obserwacyjnych powoduje wzrost liczby rozwiązań typu FLOAT i FIXED oraz wzrost dokładności pozycjonowania (rys. 8);
- W trudnych warunkach obserwacyjnych otrzymanie rozwiązania FIXED nie gwarantuje uzyskania dokładności centymetrowych, oferowanych teoretycznie przez technikę RTK;
- Współrzędne uzyskiwane w trudnych warunkach pomiarowych przy wykorzystaniu technik satelitarnych, powinny być bezwzględnie kontrolowane, poprzez dwukrotny pomiar danego punktu, bądź też przez wykonanie pomiarów klasycznych.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ciecko A., Oszczak B., Oszczak S.: *Determination of Accuracy and Coverage of Permanent Reference Station (DGPS/RTK) in Gdynia – 7th Bilateral Geodetic Meeting Italy-Poland, Bressanone, Italy, 22-24 May 2003*, Published in Reports on Geodesy, No 2(65), 2003, str. 45-51.
- [2] Maliszewski P.: *Pozycjonowanie GPS/GLONASS w czasie rzeczywistym w utrudnionych warunkach obserwacyjnych*, Praca magisterska, UWM w Olsztynie, 2011.
- [3] Misra P, Enge P.: *Global Positioning System, Signals, Measurements, and Performance*, Ganga-Jamuna Press, Lincoln, Massachusetts, 2006.
- [4] Specht C.: *System GPS*, Wydawnictwo BERNARDINUM, 2007.