



Rys. 1. Sposób mocowania na statywie dwóch odbiorników bazowych do celów testowych

Testy pomiarowe z użyciem dodatkowych systemów nawigacji

Galileo zaczyna się liczyć

W związku z uruchomieniem pierwszych usług systemu Galileo zespół raszyńskiego Geopryzmatu postanowił zbadać wpływ zwiększonej liczby satelitów uwzględnianych w wyznaczeniu pozycji na jakość pomiarów satelitarnych.

Choć oczekiwanie na pełną operacyjność Galileo trwa zdecydowanie za długo, z pewnością ucieszyła geodetów wiadomość o uruchomieniu 15 grudnia ub.r. pierwszych usług tego europejskiego systemu nawigacji. Dwa w pełni operacyjne systemy – GPS i GLONASS – już dzisiaj pozwalają na uzyskanie rozwiązania typu Fixed nawet w trudniejszych warunkach (np. gęstej miejskiej zabudowy). Często jednak dla poprawy jakości pomiaru przydałoby się chociaż kilka widocznych satelitów więcej. Uruchomienie Galileo daje nadzieję, że w niedalekiej przyszłości to życzenie się spełni. Nasz zespół już teraz postanowił sprawdzić, jak wykorzystanie sygnałów systemu Galileo wpływa na jakość pomiarów RTK. Naj-

nowszy odbiornik w naszej ofercie – Pentax G2100-RT – standardowo umożliwia odbiór sygnałów nadawanych nie tylko przez satelity GPS i GLONASS, ale także Galileo oraz BeiDou, o czym informowaliśmy w poprzednim wydaniu GEODETY. Jeśli ustawimy jeden odbiornik jako bazowy, drugi przy rozwiązaniu typu Fixed wykorzystuje także satelity systemów Galileo i BeiDou. Porównaliśmy statystyki z takich pomiarów i pomiarów wykonanych bez tego dodatkowego wsparcia.

Do przeprowadzenia naszych badań wykorzystaliśmy dwa zestawy instrumentów składające się z odbiornika bazowego i ruchomego. Zestaw A stanowiły dwa odbiorniki Pentax G2100-RT, które komuni-

kowały się drogą radiową, przesyłając poprawkę dla wszystkich widocznych na niebie satelitów (GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou). Odbiornikiem ruchomym w zestawie B był również Pentax G2100-RT, natomiast bazą – Pentax G3100-R2. Poprawka w tym zestawie była przesyłana przez internet w formacie RTCM 3.0, a więc w nieobsługującym systemów Galileo i BeiDou. Na ilustracji powyżej pokazano sposób mocowania do celów testowych dwóch odbiorników bazowych na jednym statywie, tak aby warunki przeprowadzania badania były dla obu zestawów jak najbardziej zbliżone. Czytelników zainteresowanych parametrami technicznymi poszczególnych odbiorników odsyłamy na naszą stronę

internetową www.geopryzmat.com.

• Test 1 – w sąsiedztwie zabudowy

W ramach badań wykonaliśmy pomiary w dwóch miejscach. Pierwszym z nich była niezabudowana działka przy ulicy Kasztanowej w Raszyńcu, tuż obok siedziby naszej firmy. Pomiar odbył się 13 lutego. W centrum placu na statywie zamontowaliśmy odbiorniki bazowe, co oznaczało korzystne warunki ze względu na brak zabudowań. Następnie za pomocą odbiorników ruchomych wykonaliśmy 6 serii po 30 pomiarów (każdy trwał 1 sekundę) w miejscach, gdzie z jednej strony był ograniczony horyzont. Jako ostatni zmierzony był punkt P6 w środku

działki. Szkic tych punktów przedstawiony jest na podkładzie ortofotomapy na rys. 2. Pomiary były wyzwalane jednocześnie, a odbiorniki ruchome znajdowały się obok siebie. Warunki pomiarowe były zatem dla obu instrumentów bardzo podobne.

Po wykonaniu testów postanowiliśmy porównać najważniejsze statystyki pomiaru RTK dla obu zestawów. Uwzględniliśmy: wartość współczynnika PDOP, odchylenie standardowe współrzędnych X, Y, Z dla każdej próbki 30 pomiarów oraz liczbę wykorzystywanych satelitów. Uzyskane rezultaty zestawione w tabeli poniżej wyraźnie pokazują pozytywny wpływ satelitów Galileo i BeiDou na wyniki pomiarów. Choć należy podkreślić, że mimo znacznego przysłonięcia horyzontu przy każdej z 360 pojedynczych obserwacji udało się uzyskać rozwiązanie typu Fixed, to widoczna jest różnica we współczynniku PDOP i liczbie obserwowanych satelitów. W skrajnym przypadku (punkt P1) różnica średnich współczynników PDOP wyniosła aż 9,18! W pozostałych przypadkach PDOP dla odbiornika z zestawu A był niższy średnio o 0,33.

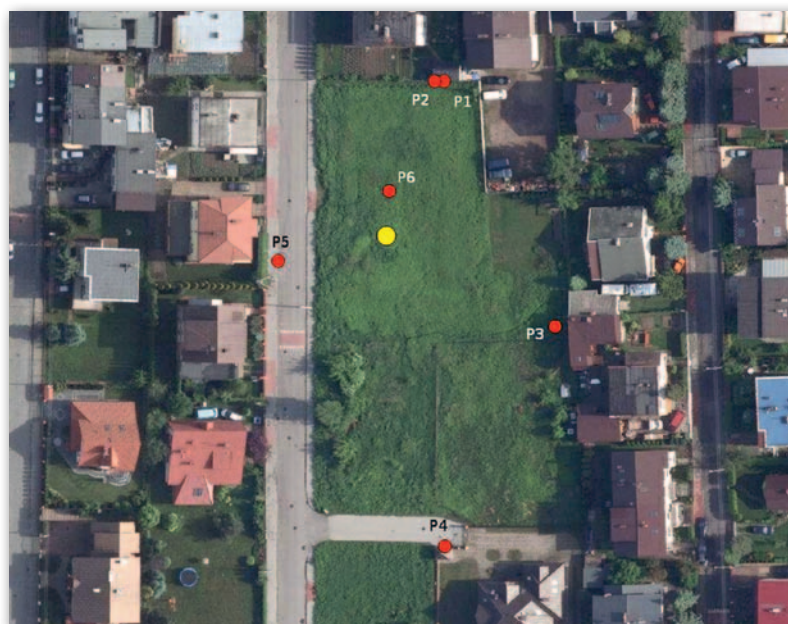
Różnica staje się jeszcze wyraźniejsza, kiedy spojrzymy na liczbę satelitów uwzględnianych w rozwiązaniu. Dla obserwacji GPS + GLONASS tylko w dwóch pomiarach maksymalna liczba wykorzystywanych satelitów wyniosła 10, z tego raz przy otwartym horyzoncie. Natomiast po dołączeniu Ga-

lileo i BeiDou tylko raz maksymalna liczba satelitów była mniejsza niż 10 mimo znacznego przysłonięcia horyzontu. Widzimy zatem, że korzystając dodatkowo z systemów Galileo i BeiDou, możemy liczyć średnio na 3-4 satelity więcej w rozwiązaniu, co w przypadku trudnych warunków pomiarowych bezpośrednio przekłada się na łatwiejsze uzyskiwanie „fixa” i stabilniejszą pracę.

Natomiast odchylenia standardowe współrzędnych nie wykazały większych różnic, choć i tutaj zazwyczaj wartości dla obserwacji uwzględniających Galileo i BeiDou były nieco niższe. Na te wyniki nakładają się jednak błędy poziomowania, gdyż pomiary były wykonywane bez użycia statywów czy bipodów.

● Test 2 – w terenie otwartym i zadrzewionym

Druga seria testów była przeprowadzona trzy dni później w rezerwacie przyrody Stawy Raszyńskie pomiędzy Raszynem a Jankami, po wschodniej stronie alei Krakowskiej. Wybraliśmy tę lokalizację ze względu na urozmaicony teren – obszary odkryte i zadrzewione. Na odsłoniętym terenie ponownie ustawiliśmy obok siebie odbiorniki bazowe na punktach o znanych współrzędnych, zmierzonych uprzednio metodą RTK. Następnie przeszliśmy z dwoma odbiornikami ruchomymi blisko 900-metrową trasę dookoła jednego ze stawów. Przebiegała ona częściowo pod drzewami lub blisko nich, a częściowo przez teren



Rys. 2. Lokalizacja punktów mierzonych w pierwszym teście na podkładzie ortofotomapy. Punkty czerwone – lokalizacje punktów pomiarowych, punkt żółty – lokalizacja odbiorników bazowych



Rys. 3. Miejsca wyzwalania pomiarów w drugim teście na podkładzie ortofotomapy. Punkty niebieskie – pomiary uwzględniające Galileo i BeiDou; punkty czerwone – pomiary tylko GPS + GLONASS; punkt żółty – lokalizacja odbiorników bazowych

Test 1. Porównanie podstawowych statystyk pomiarów RTK dla dwóch zestawów pomiarowych

Nr pkt	GPS + GLONASS									GPS + GLONASS + Galileo + BeiDou								
	PDOP			Odchylenie standardowe			Liczba satelitów			PDOP			Odchylenie standardowe			Liczba satelitów		
	maks.	min.	śr.	X [m]	Y [m]	Z [m]	maks.	min.	śr.	maks.	min.	śr.	X [m]	Y [m]	Z [m]	maks.	min.	śr.
P1	12,2	12,2	12,20	0,009	0,006	0,027	5	5	5,0	3,1	3,0	3,02	0,010	0,004	0,009	8	8	8,0
P2	6,9	2,9	3,03	0,003	0,003	0,007	7	6	7,0	3,0	2,7	2,72	0,002	0,002	0,007	12	11	11,9
P3	2,8	2,6	2,61	0,005	0,006	0,007	8	7	7,9	2,6	1,7	2,02	0,003	0,003	0,005	14	10	11,9
P4	2,4	2,1	2,12	0,002	0,002	0,005	10	9	9,9	2,0	1,8	1,90	0,003	0,002	0,004	14	12	13,0
P5	2,5	2,3	2,35	0,005	0,014	0,006	9	8	8,7	3,1	1,8	2,04	0,012	0,017	0,006	12	11	11,8
P6	2,4	1,9	2,23	0,005	0,006	0,005	10	8	8,8	2,0	2,0	2,00	0,008	0,005	0,005	12	12	12,0

Test 2. Porównanie statystyk dla par pomiarów

Nr pkt	GPS + GLONASS			GPS + GLONASS + Galileo + BeiDou		
	Rozwiązanie	Liczba satelitów	PDOP	Rozwiązanie	Liczba satelitów	PDOP
1	RTK Fixed	16	1,2	RTK Fixed	20	1,2
2	RTK Fixed	11	2,0	RTK Fixed	15	1,8
3	RTK Fixed	10	2,7	RTK Fixed	11	2,8
4	RTK Fixed	9	3,1	RTK Fixed	13	2,8
5	RTK Float	7	3,6	RTK Fixed	11	2,9
6	RTK Float	7	1,2	DGPS	19	1,2
7	RTK Fixed	8	2,9	RTK Fixed	13	1,9
8	DGPS	16	1,2	DGPS	18	1,3
9	DGPS	16	1,2	DGPS	19	1,2
10	RTK Float	8	1,2	RTK Float	8	3,7
11	DGPS	16	1,3	RTK Float	10	3,0
12	RTK Fixed	10	2,8	RTK Fixed	10	2,6
13	RTK Fixed	9	2,8	RTK Fixed	12	2,3
14	DGPS	16	1,2	RTK Float	5	2,6
15	DGPS	16	1,2	RTK Float	8	3,4
16	DGPS	16	1,2	DGPS	18	1,3
17	Auto	19	1,1	DGPS	20	1,2
18	DGPS	16	1,2	RTK Float	7	4,1
19	DGPS	15	1,3	DGPS	19	1,3
20	RTK Float	6	8,0	RTK Fixed	12	2,8
21	RTK Fixed	10	2,8	RTK Fixed	13	2,0
22	RTK Fixed	13	1,7	RTK Fixed	22	1,3
23	RTK Fixed	12	1,8	RTK Fixed	20	1,3
24	RTK Fixed	16	1,4	RTK Fixed	20	1,3
25	RTK Fixed	16	1,4	RTK Fixed	21	1,4
26	RTK Fixed	13	1,9	RTK Fixed	18	1,6
27	RTK Fixed	15	1,3	RTK Fixed	16	1,4
28	RTK Fixed	12	1,7	RTK Fixed	12	2,1
29	RTK Fixed	9	2,8	RTK Fixed	12	2,3
30	RTK Fixed	12	1,7	RTK Fixed	13	1,9
31	RTK Fixed	10	2,1	RTK Fixed	15	2,0
32	RTK Fixed	11	2,0	RTK Fixed	15	1,9
33	RTK Fixed	11	2,0	RTK Fixed	16	1,9
34	RTK Fixed	11	2,0	RTK Fixed	14	2,0
35	RTK Fixed	10	1,9	RTK Fixed	14	2,0
36	RTK Fixed	10	2,1	RTK Fixed	14	2,1
37	RTK Fixed	9	2,2	RTK Fixed	13	2,2
38	RTK Fixed	11	1,7	RTK Fixed	12	2,4
39	RTK Fixed	10	2,1	RTK Fixed	14	1,9
40	RTK Fixed	14	1,5	RTK Fixed	18	1,4
41	RTK Fixed	13	1,5	RTK Fixed	17	1,5
42	RTK Fixed	14	1,5	RTK Fixed	20	1,3
43	RTK Fixed	14	1,4	RTK Fixed	18	1,5

odkryty. Punkty na trasie rejestrowaliśmy co około 20 metrów. Podczas wyzwalania pomiarów odbiorniki ruchome znajdowały się blisko siebie. Pomiary były wykonywane w tym samym czasie, aby zachować zbliżone warunki. Miejsca wyzwalania pomiarów zostały zaprezentowane na podkładzie ortofotomapy na rysunku 3. Pomiar był wykonywany w zimie, zatem na drzewach nie było liści, gęste gałęzie skutecznie ograniczały jednak widoczność (latem pomiar pod drzewami prawdopodobnie w ogóle nie byłby możliwy).

W tabeli obok można zobaczyć porównanie statystyk dla poszczególnych par pomiarów. Widać wyraźnie, że podczas pomiarów, które miały taki sam rodzaj rozwiązania (w tabeli zaznaczono ciemniejszym kolorem), liczba wykorzystywanych satelitów była w znaczącej większości wyższa średnio o prawie 4 satelity, a w skrajnym przypadku (punkt 22) odbiornik GPS + GLONASS + Galileo + BeiDou wykorzystywał nawet o 9 satelitów więcej! Tylko trzykrotnie (punkty 10, 12, 28) liczba satelitów uwzględnianych w rozwiązaniu była taka sama. Szczególną uwagę należy zwrócić na punkty 2-21, które mierzone były w najtrudniejszych warunkach, pod drzewami. Instrument odbierający sygnały Galileo i BeiDou najczęściej, bo aż 9 razy osiągał tam rozwiązanie typu Fixed, podczas gdy odbiornik korzystający tylko z GPS i GLONASS najczęściej osiągał rozwiązanie typu DGPS. Wskazuje to na ogromną przewagę, którą możemy uzyskać w trudnym terenie, stosując odbiornik obsługujący wszystkie cztery konste-

lacje. Podobnie jeśli chodzi o współczynnik PDOP – dla par pomiarów o takim samym rozwiązaniu w większości przypadków wartość tego parametru była niższa dla odbiornika wykorzystującego Galileo i BeiDou.

W tabeli poniżej przedstawiony jest udział poszczególnych typów rozwiązań w całej próbie z trasy dla dwóch odbiorników. Tutaj bez żadnych niespodzianek – w przypadku wykorzystywania tylko GPS + GLONASS uzyskano 69,8% rozwiązań typu Fixed, podczas gdy przy korzystaniu z dodatkowych konstelacji było to 74,4%. Warto zauważyć, że przy korzystaniu z Galileo i BeiDou nie było ani jednego rozwiązania gorszego niż DGPS.

• W oczekiwaniu na Galileo

Wykonane pomiary tylko potwierdziły nasze oczekiwania – dodatkowe obserwacje satelitów Galileo i BeiDou przełożyły się bezpośrednio na znacznie łatwiejsze uzyskanie „fixa” w trudnym terenie i niższe wartości współczynnika PDOP. Pamiętajmy też, że Galileo nie ma jeszcze pełnej konstelacji satelitów. Docelowo będzie można wykorzystywać nie 3-4 aparaty tego systemu, ale co najmniej dwa razy tyle. Wyznaczanie pozycji w osłoniętych terenach będzie wtedy jeszcze łatwiejsze. Dla geodetów oznacza to, że jeśli już teraz kupią odbiornik kompatybilny z Galileo, w pełni będą mogli cieszyć się zwiększoną liczbą satelitów w momencie, kiedy ta konstelacja zyska całkowitą operacyjność i sieci stacji referencyjnych zostaną przystosowane do jej odbioru. Oczywiście dysponując parą odbiorników, tak jak w przypadku naszego testu, korzystając z Galileo i BeiDou można już teraz. Zapraszamy wszystkich czytelników GEODETY do testowania odbiorników Pentax, aby „na własnej skórze” poczuli tę różnicę.

Tomasz Pięgat
Karol Bas
Geopryzmat

Test 2. Udział poszczególnych typów rozwiązań w całej próbie z trasy

Typ rozwiązania	GPS + GLONASS				GPS + GLONASS + Galileo + BeiDou			
	Fixed	Float	DGPS	Auto	Fixed	Float	DGPS	Auto
Liczba rozwiązań	30	4	8	1	32	5	6	0
Procent	69,8%	9,3%	18,6%	2,3%	74,4%	11,6%	14,0%	0,0%