

CEZARY TOŚ, LESZEK ZIELINA*

PRAKTYCZNE ASPEKTY ZASTOSOWANIA SYSTEMU DGPS W POMIARACH GEODEZYJNYCH

DGPS IN GEODESY PRACTICE

Streszczenie

W niniejszym artykule zaprezentowano efekty wykorzystania satelitarnego systemu pozycjonowania GPS do badań przemieszczeń stref osuwiskowych w rejonie budowanego zbiornika Świnna-Poreba. Zdobyte doświadczenie pozwoliło na sformułowanie wielu praktycznych uwag, wskazań i wniosków dotyczących zastosowania wysokiej klasy zestawu DGPS – Topcon do wyznaczania z dużą dokładnością położenia punktów sieci badawczej na trudnym i rozległym terenie.

Słowa kluczowe: techniki satelitarne, GPS, GLONASS

Abstract

The paper is about practic disadvantages of Global Position System. Some technic of minimalize measurements reliability with GPS were characterized.

Keywords: satellite technique, Global Position System (GPS), GLONASS

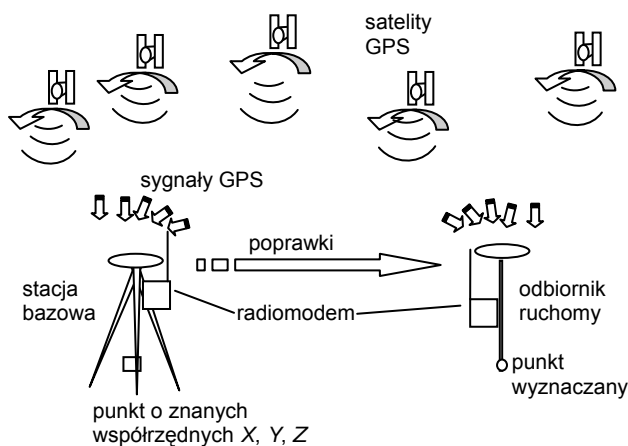
* Dr inż. Cezary Toś, dr inż. Leszek Zielina, Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Rozwój satelitarnej techniki pozycjonowania GPS (*Global Position System*) sprawia, że staje się ona coraz bardziej dostępna i szerzej stosowana. Na popularność satelitarnych metod istotny wpływ mają niższe ceny odbiorników. Nawigacyjne odbiorniki jedno-częstotliwościowe, pozwalające na wyznaczanie pozycji z dokładnością do kilku metrów, są już w powszechnym użyciu.

Od wyników pomiarów geodezyjnych wymaga się zwykle większych dokładności. Wysoką dokładność pozycjonowania uzyskuje się za pomocą zestawu DGPS (*Differential GPS*), składającego się z dwóch odbiorników dwuczęstotliwościowych (L1, L2), pracujących w systemie RTK (*Real Time Kinematic*). Stale doskonalony system pozwalający osiągać bardziej niezawodne i dokładne wyniki, przy zmniejszających się kosztach odbiorników sprawia, że również ta wysokiej klasy aparatura jest coraz częściej stosowana do rozwiązywania zadań inżynierskich. Niniejszy artykuł ma na celu wskazanie korzyści i możliwości, ale również problemów i ograniczeń wynikających z zastosowania systemu DGPS w pomiarach geodezyjnych.

Metoda DGPS pozwala na wyznaczanie z dużą dokładnością wektora różnicy położenia pomiędzy dwoma odbiornikami. Jeden odbiornik – bazowy, ustawia się na punkcie o znanych współrzędnych, drugi odbiornik na punkcie pozycjonowanym (rys. 1). Uzyskane na punkcie bazowym różnice pomiędzy współrzędnymi teoretycznymi i wyznaczonymi na podstawie sygnałów GPS stanowią poprawki referencyjne dla pozycji wyznaczonej przez drugi odbiornik. Łączność pomiędzy odbiornikami pozwala na transmisję poprawek w czasie rzeczywistym RTK i automatyczną korektę wyznaczanego położenia odbiornika pozycjonującego. Za pomocą zestawu RTK, składającego się z dwóch wysokiej klasy dwuczęstotliwościowych odbiorników, wyznacza się przyrosty współrzędnych nawet z dokładnością ± 1 mm, jeżeli odległości pomiędzy odbiornikami nie są zbyt duże.



Rys. 1. Zasada pomiaru RTK

Fig. 1. Rules of RTK measurements

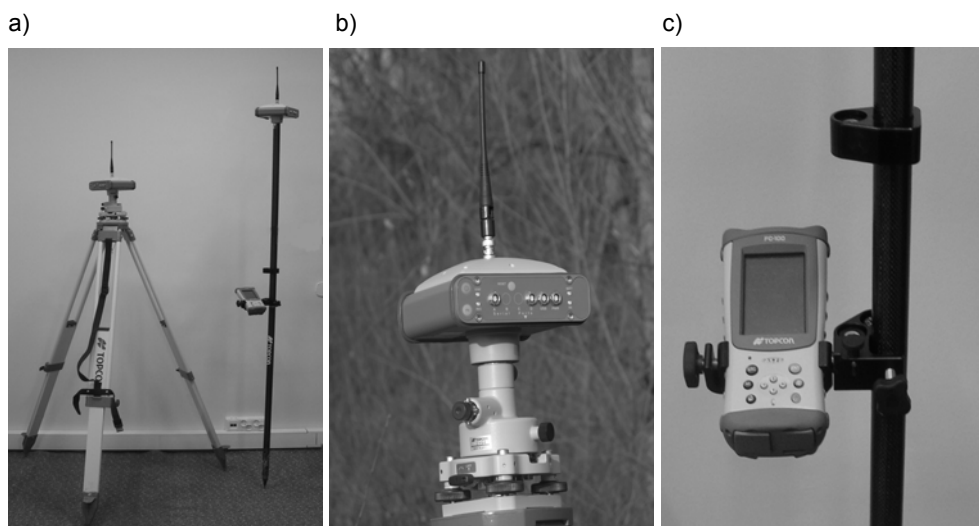
Uzyskanie prawidłowych wyników pomiaru RTK jest uwarunkowane przez kilka czynników, z których najważniejsze to:

- widoczność satelitów,
- odległość pomiędzy odbiornikami,
- prawidłowe zdefiniowanie układu współrzędnych.

Pierwsze dwa czynniki warunkują nie tylko poprawność wyników, ale również czas pomiaru, ważny ze względu na ekonomikę stosowania technik GPS. Spośród wielu zestawów RTK występujących na rynku do badań wpływu ww. czynników na skuteczność pomiaru wybrano wysokiej klasy zestaw HiPer firmy TOPCON.

2. Zestaw TOPCON HiPer

System tworzą dwa wysokiej klasy odbiorniki GPS: bazowy, ustawiany standardowo na statywie i pozycjonujący, mocowany na tyczce (rys. 2a)).



Rys. 2. Zestaw GPS RTK HiPer firmy TOPCON

Fig. 2. Set of GPS RTK HiPer of TOPCON

Odbiorniki dwuczęstotliwościowe, 40-kanalowe przystosowane są do odbioru sygnałów z satelitów systemów GPS i GLONASS. Potrafią odbierać sygnały z 20 satelitów na dwóch częstotliwościach L1 i L2 jednocześnie. Odbiorniki są urządzeniami zintegrowanymi, mieszczącymi w jednej obudowie antenę, radiomodem i baterie (rys. 2b)).

Łączność pomiędzy odbiornikami zapewnia radiomodem o mocy 1 W i teoretycznym zasięgu do 7 km. Do przygotowania obu odbiorników do pracy i sterowania pomiarem służy kontroler FC100 (rys. 2c)), zamocowany do tyczki odbiornika pozycjonującego. Bezprzewodowe połączenie Bluetooth kontrolera z odbiornikami ma zasięg do 20 m. Kontroler z ekranem dotykowym działa w systemie Windows, w programie sterującym TopSURF.

Dane techniczne zestawu HiPer Topcon

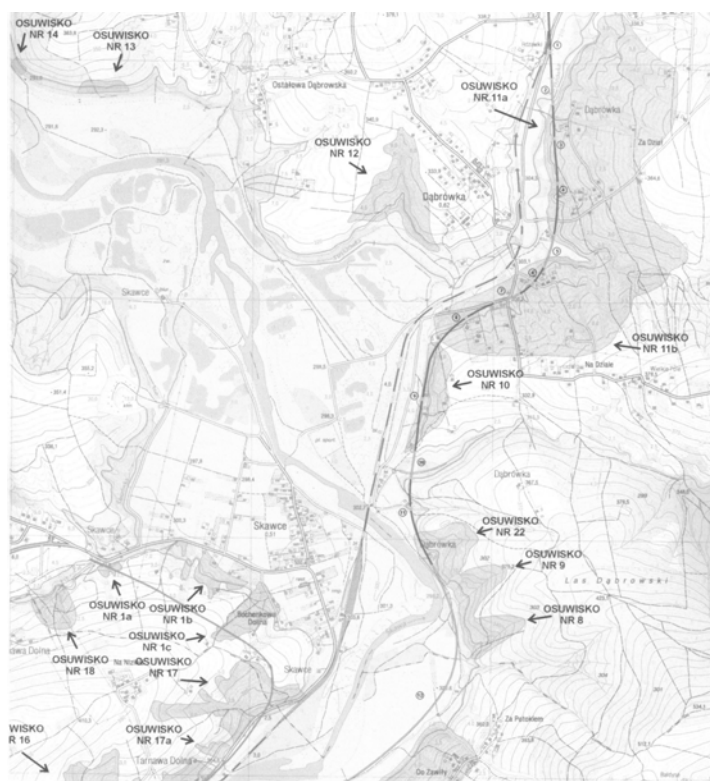
Opis	40-kanalowy zintegrowany odbiornik GPS
Odbiór kanałów	20 GPS L1+L2+GLONASS (GG)
Sygnaly odbierane	GPS L1/L2, C/A, P Code & Carrier and GLONASS L1/L2 and L2C
Dokładność: pomiar statyczny	H: 3 mm + 0,5 ppm V: 5 mm + 0,5 ppm
Dokładność: RTK	H: 10 mm + 1,0 ppm V: 15 mm + 1,0 ppm
Akwizycja satelitów	Do 60 s
Radiomodem	Wewnętrzny Tx/Rx 1.0 Watt/0.25 Watt UHF Antena
Komunikacja	Bluetooth® version 1.1 do 20 m
Pamięć wewnętrzna	Do 1 b
Inne	Wodoszczelny, temp. pracy -30 do +55°C, waga 1,65 kg

Łącząc się kolejno z odbiornikiem bazowym, a następnie z odbiornikiem pozycjonującym, wprowadza się za pomocą kontrolera FC100 nastawy początkowe i przygotowuje odbiorniki do pracy. Definiuje się układ współrzędnych sytuacyjnych, wysokościowych, jednostki, określa wymagania dokładnościowe. Po ustawieniu wstępnym odbiornik bazowy nie wymaga dalszej obsługi, automatycznie w sposób ciągły emituje sygnał z poprawką referencyjną. W następnej kolejności ustawia się tryb pracy odbiornika pozycjonującego. Wynikowe współrzędne punktu można uzyskać na podstawie jednej lub kilku epok pomiarowych. Pomiar w kilku epokach zwiększa dokładność wyniku oraz pozwala na dokonanie oceny dokładności na podstawie rozrzutu wyników uzyskiwanych w poszczególnych epokach. Można zażądać, aby pomiar prowadzony był do czasu wyznaczenia pozycji z założoną dokładnością. Oddzielnie ustawia się wówczas dopuszczalne błędy dla współrzędnych sytuacyjnych, oddzielnie dla wysokości. Jeżeli system nie ma możliwości wyznaczenia współrzędnych z założoną dokładnością, wówczas pozycja nie zostaje wyznaczona wcale.

3. Teren badań

Badania i testy zestawu Topcon wykonano w trakcie pomiarów stref osuwiskowych w rejonie budowanej zapory Świnna-Poręba (rys. 3).

Zadanie polegało na założeniu i pomiarze sieci punktów badawczych do obserwacji ruchów osuwisk. Na terenie wokół projektowanej czaszy zbiornika, na powierzchni ~50 km² zostały wyodrębnione 24 obszary osuwiskowe. Pomiar sieci złożonej z 325 punktów badawczych na tak dużym i trudnym obszarze środkami konwencjonalnymi (sieć kątowno-liniowa, niwelacja geometryczna), z wymaganą dokładnością, był praktycznie niewykonalny. Teren wokół budowanego zbiornika jest szczególnie trudny do pomiaru na skutek bardzo skomplikowanej rzeźby, stromych stoków, wąwozów i jarów oraz dużych różnic wysokości dochodzących do 300 m (rys. 4). Równocześnie pomiar pozycji wielu punktów usytuowanych w miejscach zakrytych, w lesie lub w głębokich wąwozach był niemożliwy za pomocą odbiorników GPS. Zastosowano więc obie metody. Metodą satelitarną wyznaczono pozycje punktów odkrytych, co najmniej 4 na każdym osuwisku.



Rys. 3. Fragment mapy przeglądowej stref osuwiskowych w rejonie Zbiornika Świnna-Poreba

Fig. 3. Map of slide zones in area of Świnna-Poreba reservoir



Rys. 4. Ukształtowanie terenu w rejonie Zbiornika Świnna-Poreba

Fig. 4. Relief in area of Świnna-Poreba reservoir

W dowiązaniu do tych punktów metodami tradycyjnymi pomierzono położenie punktów pozostałych. Prowadząc przyszłe cykliczne obserwacje w taki sam sposób, dokładność wyznaczenia przemieszczeń dla wszystkich punktów będzie nie mniejsza niż ± 3 mm.

4. Badania własne

Pomiar przy różnej widoczności satelitów

System GPS opiera się na 27 satelitach. Wykonanie pomiaru RTK warunkuje jednoczesną widoczność przez obydwu odbiorniki – bazowy i pozycjonujący pięciu tych samych satelitów. W przypadku terenów odkrytych uzyskanie widoczności nie sprawia żadnego kłopotu. Na terenach miejskich lub leśnych pomiar jest utrudniony, a często wręcz niemożliwy. Niezmiernie ważne jest więc ustawienie stacji bazowej w punkcie o możliwie jak najszerszym horyzoncie. Znaczne polepszenie warunków pracy następuje dzięki zastosowaniu odbiorników odbierających sygnały GPS i GLONASS. Szacuje się, że na terenie Polski wykorzystanie GLONASS powoduje zwiększenie liczby widocznych satelitów do 40%. Biorąc to pod uwagę, przeprowadzono badania polegające na pomiarze punktów w trudnym terenie. Punkty w liczbie 114 podzielono na trzy kategorie ze względu na przesłonięcie horyzontu. W każdej z kategorii liczone punkty, które zostały pomierzone z wykorzystaniem GPS + GLONASS, samego GPS, i których nie udało się pomierzyć wcale. Wyniki przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2

Niezawodność pomiarów GPS i GPS + GLONASS

	Punkty o otwartym horyzoncie (przesłonięcie do 20%) zlokalizowane na terenach otwartych	Punkty o częściowo przesłoniętym horyzoncie (20–70%) zlokalizowane na skraju lasu, małych polanach itp.	Punkty o całkowicie przesłoniętym horyzoncie (powyżej 70%) w lesie
Ogólna liczba	32	68	14
GPS + GLONASS	32 100%	62 91%	5 35%
GPS	32 100%	44 64%	3 21%
Brak pomiaru	0 0%	6 9%	9 64%

Nie są to dane powtarzalne, gdyż przesłonięcie horyzontu oceniano w przybliżeniu, a pomiary wykonane w innym czasie przy innej konstelacji satelitów dałyby zapewne różne wyniki. Wielkości zestawione w tabeli pokazują jednak, że pomiary prowadzone z użyciem satelitów GLONASS dają znacznie lepsze efekty, a w przypadkach większego przesłonięcia horyzontu często w ogóle umożliwiają pomiar.

Odległości pomiędzy odbiornikami

Zasięg działania radiomodemu jest parametrem determinującym planowanie pomiaru. Przy radiomodemu o mocy 1 W, a w taki wyposażony jest zestaw HiPer, zasięg wg instrukcji wynosi ok. 7 km. W rzeczywistości w dużym stopniu zależy to od lokalnych warunków (topografia terenu, występujące zakłócenia zewnętrzne). W badaniach maksy-

malny zasięg uzyskany wynosił 6700 m. Jednak przy tej odległości wystąpiło duże spowolnienie procesu pomiaru ze względu na częste utraty sygnału. Przy odległościach do 3,5 km nie zauważono większych problemów z działaniem radiomodemów. Z drugiej strony, przy bardzo niekorzystnym usytuowaniu odbiorników na przeciwległych stokach wysokiego wzniesienia już przy odległościach rzędu 1,5 km odbiorniki miały trudności z połączeniem. Gdy zwiększa się odległość pomiędzy odbiornikami, teoretycznie maleje dokładność pozycjonowania. Praktycznie było to niezauważalne, ponieważ wcześniej następowała utrata łączności.

Prawidłowe zdefiniowanie układu współrzędnych

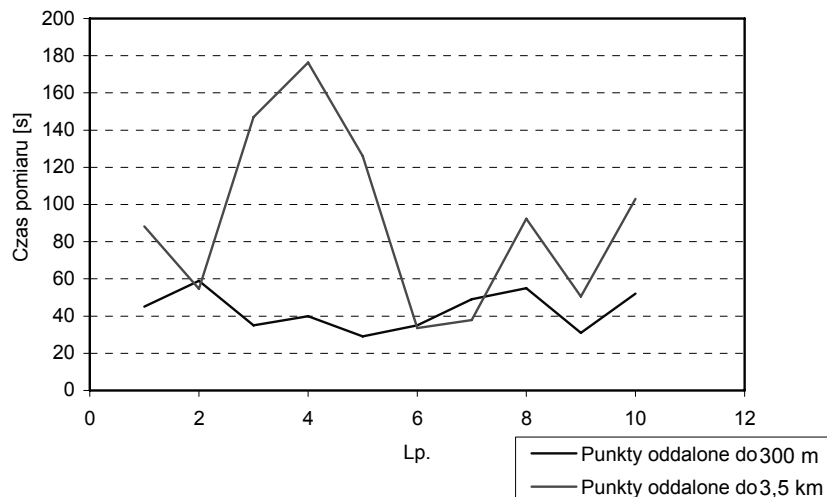
Standardowym układem, w którym wyznacza się pozycje w systemie GPS jest układ WGS 84. Pomiar współrzędnych w innym układzie wymaga uprzedniego jego zdefiniowania, polegającego na wprowadzeniu do odbiorników parametrów nowego odwzorowania. Dla większości układów te czynności wystarczają, aby wykonywać pomiary z założoną dokładnością. Państwowy układ 65' wymaga jeszcze jednej czynności, tzw. lokalizacji. Lokalizacja polega na przeprowadzeniu dodatkowej transformacji układu, opierając się na danych empirycznych pochodzących z pomiaru kilku, 4–5 punktów osnowy wokół interesującego nas obszaru.

Lokalizacja wykonana na obszarze badań z wykorzystaniem pięciu punktów osnowy III klasy wykazała błąd położenia nieprzekraczający 2 cm.

Dokładne wyznaczenie współrzędnej wysokościowej wymaga wprowadzenia do komputera urządzenia pliku z tzw. modelem geoidy na danym obszarze.

Czas pomiaru punktów techniką GPS RTK

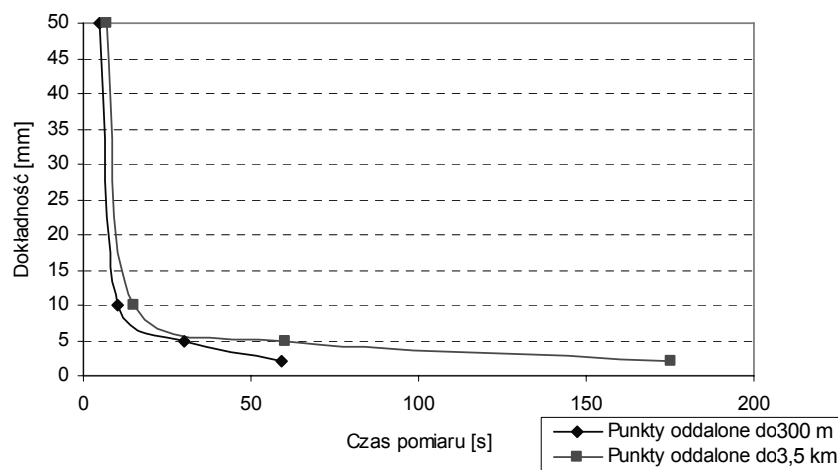
Badania czasów pomiaru przy założonych dokładnościach polegały na wykonaniu dużej liczby pomiarów RTK na punktach o znanych współrzędnych i porównaniu uzyskanych wyników oraz zakładanej dokładności z danymi teoretycznymi. Stanowisko bazowe sytuowano zawsze na punkcie odkrytym. Dla punktów bliskich, położonych w odległościach do 300 m, jako teoretyczne przyjęto współrzędne wyznaczone technikami tradycyjnymi z dokładnością ± 2 mm. Weryfikacja wyników pomiaru zestawem GPS mogła więc zostać przeprowadzana z taką dokładnością. Dla większych odległości, dochodzących do 7 km, do badań wykorzystano punkty osnowy sytuacyjno-wysokościowej III klasy. Zgodnie z instrukcją G-1 dokładność położenia sytuacyjnego takich punktów wynosi 0,1 m. Wysokości punktów wyznaczone były z błędem ± 1 cm. Teoretyczne współrzędne obarczone były stosunkowo dużym błędem i ocena wyników pomiaru zestawem DGPS, polegająca na bezpośrednim porównaniu z wielkościami teoretycznymi, mogła być dokonywana tylko na takim poziomie dokładności. Innym wskaźnikiem, na podstawie którego wyciągano wnioski dotyczące dokładności pomiaru była powtarzalność wyników uzyskiwanych na tych samych punktach. Przykładowe opracowania efektów badań czasu oczekiwania na wyniki o z góry założonej dokładności przedstawiono na rys. 5. W obu prezentowanych przypadkach przyjęto, że pozycja ma być pomierzona z dokładnością ± 2 mm. Zarówno punkt bazowy, jak i punkty pozycjonowane usytuowane były w terenie odkrytym. Przez cały okres pomiarów odbierane były sygnały z co najmniej 8 satelitów. Pozycję obu punktów wyznaczano dziesięciokrotnie, mierząc czas potrzebny na pomiar współrzędnych z zakładaną dokładnością.



Rys. 5. Czasy pomiaru GPS z założoną dokładnością 2 mm

Fig. 5. Periods of GPS measurements with accuracy 2 mm

W przypadku punktów położonych w odległości ok. 300 m czas ten wahał się od 30 do 60 s. Wyznaczone współrzędne nigdy nie różniły się od wartości teoretycznych o więcej niż ± 2 mm. Dla odległości większych, np. 3,5 km, przeciętne czasy oczekiwania na wynik były dłuższe i znacznie bardziej zróżnicowane. Różnice pomiędzy położeniem pomierzonym i teoretycznym mieściły się w dokładności współrzędnych teoretycznych, równocześnie wyniki były powtarzalne w granicach ± 2 mm. Przedstawione wyniki badań są reprezentatywne dla wielu przeprowadzonych prób na punktach odkrytych.



Rys. 6. Zależność dokładności wyników od czasu pomiaru GPS

Fig. 6. Relation between accuracy and GPS measurement's period

Przykładowe zależności dokładności pozycji od czasu oczekiwania na wynik zaprezentowano na rys. 6. Wykresy przedstawiają pomiary przeprowadzone na tych samych punktach, na których wykonano badania prezentowane poprzednio. W przypadku punktów bliskich już po 5" sygnalizowana przez system dokładność wyznaczonych współrzędnych wynosiła ± 5 cm i szybko rosła, osiągając wartość ± 2 mm po 58 s. Dla punktów bardziej odległych dokładność pięciu centymetrów uzyskiwano po ok. 7 sekundach, natomiast 2 mm błędu uzyskiwano po ok. 3 min. W obu przypadkach czas oczekiwania wydłużał się tym bardziej, im dokładniejszego wyniku oczekiwano.

W żadnej z przeprowadzonych prób błąd wyznaczonych współrzędnych nie przekroczył wartości dokładności przekazywanej przez system. Dotyczyło to zarówno położenia sytuacyjnego, jak i wyznaczonej wysokości. W większości zadań geodezyjnych wymagana jest dokładność centymetrowa. Można więc przyjąć czas pomiaru rzędu 10 s na jeden punkt. Należy jednak mieć świadomość, że takie czasy pomiaru występują przy dobrej widoczności satelitów oraz niezakłóconej łączności radiowej ze stacją bazową. W przypadku punktów o częściowo przysłoniętym horyzoncie (tab. 2) czas pomiaru punktów wynosił od kilku do kilkunastu minut. Większość czasu pochłaniało oczekiwanie na widoczność satelitów lub łączność radiową. W ostatniej grupie punktów o najbardziej przesłoniętym horyzoncie pomiary trwały do kilkudziesięciu minut, a i tak większości punktów nie udało się pomierzyć wcale.

5. Wnioski

Zastosowanie zestawu satelitarnego RTK do rozwiązania zadań inżynierskich jest nie tylko optymalne ze względu na dokładność i ekonomię pomiaru, ale w niektórych przypadkach nie ma alternatywy w tradycyjnych metodach pomiaru. Żadną inną techniką pomiarową nie byłoby możliwe uzyskanie tak wiarygodnych wyników w praktyce, w istniejących warunkach. Planując pomiar, należy również mieć świadomość ograniczeń, z których najważniejsze to widoczność satelitów oraz zasięg radiomodemu. Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wykorzystanie systemu GLONASS poprawia niezawodność pomiaru, szczególnie przy częściowym przesłonięciu horyzontu.
2. Maksymalny zasięg działania radiomodemu jest zgodny ze specyfikacją techniczną producenta. Jednak w przypadku wyjątkowo niekorzystnych warunków topograficznych może ulec drastycznemu zmniejszeniu. Należy z tego względu uważnie planować pomiar, a w szczególności położenie stacji bazowej.
3. Prawidłowe zdefiniowanie układów współrzędnych i wykonanie lokalizacji na podstawie danych empirycznych warunkuje prawidłowość uzyskanych wyników pomiaru GPS.
4. Błąd przyrostów współrzędnych wyznaczonych zestawem RTK nie przekracza wartości dokładności pomiaru przekazywanej przez system.
5. Dokładność i czas oczekiwania na wynik zależy głównie od stopnia widoczności nieboskłonu.
6. Czas oczekiwania na wynik z dokładnością ± 2 mm na punktach odkrytych nie przekroczył 3 min.
7. Pomiar punktów w lesie, w wykopach, jarach, na ulicach z wysoką zabudową jest znacznie utrudniony lub wręcz niemożliwy.

Literatura

- [1] Specht C., *System GPS*, Wyd. Bernardinum, Gdynia 2007.
- [2] Specht C., *Availability, Reliability and Continuity Model of Differential GPS Transmission*, Annual of Navigation, No. 5, Gdynia 2003.
- [3] Zielina L., Mroczek J., *Application of hand-held GPS navigation receivers in geological studies*, Czasopismo Techniczne, z. 2-Ś/2007, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007.
- [4] Instrukcja użytkowania zestawu HiPer firmy Topcon.