

## OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA TECHNIKI RTK GPS JAKO METODY SZCZEGÓŁOWYCH POMIARÓW SYTUACYJNYCH

Tadeusz Gargula, Ilona Lis, Beata Tatara

Akademia Rolnicza w Krakowie

**Streszczenie.** Celem pracy jest ocena dokładności wyników pomiaru szczegółów sytuacyjnych metodą RTK GPS za pomocą zestawu sprzętu GPS - GePos RM 24 firmy *Carl Zeiss*. Uzyskane wyniki oceniono w odniesieniu do pomiarów tego samego obiektu metodą klasycznych pomiarów naziemnych zrealizowanych za pomocą tachimetru elektronicznego. Jako kryteria oceny przyjęto błędy średnie punktów po transformacji WGS'84 → „1965”, odchyłki transformacji na punktach dostosowania oraz odchyłki współrzędnych pikiet sytuacyjnych w stosunku do tych samych pikiet wyznaczonych metodą klasyczną. Opracowanie wyników z obydwu metod pomiarowych przeprowadzono za pomocą systemu obliczeniowego *Geonet*.

**Słowa kluczowe:** pomiar szczegółów sytuacyjnych, metoda RTK GPS

### WSTĘP

Jednym z podstawowych zakresów prac geodezyjnych są pomiary sytuacyjno-wysokościowe. Metody tych pomiarów zmieniały się wraz z rozwojem nauki i techniki. Przełomowym etapem w uzyskiwaniu coraz dokładniejszych wyników było zastosowanie w budowie tachimetrów podzespołów elektronicznych oraz wykorzystanie fal elektromagnetycznych do pomiaru odległości i kierunków. Obecnie stosuje się w pełni zautomatyzowane instrumenty geodezyjne – *total station*, które stanowią połączenie teodolitu elektronicznego z fazowym dalmierzem elektrooptycznym, co gwarantuje osiągnięcie wysokich dokładności oraz znaczne skrócenie czasu pracy.

Od roku 1957 możemy śledzić rozwój globalnego satelitarnego systemu pozycyjnego GPS, który pierwotnie miał zastosowanie jako nawigacyjny system wojskowy [Czarnecki 1996]. Wraz z udostępnieniem go dla użytkowników cywilnych znalazł on zastosowanie w różnych dziedzinach życia i nauki, w tym również w geodezji, gdzie pojawiły się nowe metody pomiarów. Obecnie technologia satelitarna jest w geodezji

najczęściej wykorzystywana do zakładania osnów metodą statyczną, która jest efektywniejsza od pomiarów z wykorzystaniem tradycyjnych sieci kąto-liniowych. W pozostałych asortymentach prac geodezyjnych pomiary satelitarne nie są jeszcze powszechnie stosowane. Badania nad zastosowaniem różnicowych pomiarów GPS w czasie rzeczywistym (RTK) są prowadzone w Polsce już od wielu lat. Problematyce tej poświęcone są m.in. następujące pozycje: [Baryła i Oszczak 2003], [Cisak i in. 2001], [Gocał i Uznański 1998 i 2002], [Krzyżek 2002], [Lipecki i Jaśkowski 2001], [Oszczak i in. 1997].

Celem niniejszej pracy jest zbadanie możliwości zastosowania metody GPS RTK do pomiarów sytuacyjnych terenów miejskich, w porównaniu z klasycznymi pomiarami naziemnymi. Zakres badań obejmuje pomiar sytuacyjny obiema metodami, a następnie niezależne opracowanie uzyskanych wyników oraz wykonanie mapy sytuacyjnej. Przyjęte kryteria oceny to: ograniczenia zewnętrzne i techniczne sprzętu i samego procesu pomiaru, dokładność wyznaczenia położenia punktów oraz pracochłonność przy pomiarze i opracowaniu danych.

## CHARAKTERYSTYKA SPRZĘTU POMIAROWEGO

Do pomiaru metodą *real time* wykorzystano dwa odbiorniki GPS - GePos RM 24 firmy *Carl Zeiss*. Jeden z nich pracował jako stacja referencyjna (*Base*), a drugi jako stacja ruchoma (*Rover*). Instrument typu GePos RM 24 składa się z następujących podzespołów: odbiornik, antena GPS, jednostka obsługowa karta pamięci PCMCIA, moduł radiowy, antena radiowa, dwie wewnętrzne baterie lub dwie baterie zewnętrzne. Ze względów praktycznych, podczas pomiarów kinematycznych poszczególne podzespoły w tych odbiornikach są rozdzielone. Instrument ten zapewnia odbiór sygnału na dwóch częstotliwościach  $L_1$  i  $L_2$  na 24 kanałach oraz rejestrację pomiaru kodu i fazy w takcie sekundowym, dla zastosowań geodezyjnych. Moduł radiowy, w który wyposażone są odbiorniki GePos RM 24 Base i GePos RM Rover, służy do komunikacji radiowej między tymi odbiornikami i przesyłania poprawek położenia ze stacji bazowej do stacji mobilnej. Zasilanie modułu następuje automatycznie w momencie połączenia go z odbiornikiem GPS. Anteny radiowe znajdujące się w standardowym wyposażeniu modułu radiowego zastąpiono antenami firmy Midlant (144- 430 MHz, X 30), ponieważ przy próbie użycia standardowych anten w warunkach zabudowy miejskiej, gdzie odbywał się pomiar, nie udało się nawiązać łączności radiowej pomiędzy odbiornikami. Wykonywany pomiar metodą RTK wymagał zastosowania do zasilania instrumentu baterii zewnętrznych o pojemności – 7 Ah. Odbiornik GePos RM 24 wyposażony w dwie baterie zewnętrzne może pracować w sposób ciągły przez 8 godz. Jednakże przy wykonywaniu pomiaru tą metodą, już po upływie 2,5 godz. należało dokonać wymiany obu baterii. Zwiększone zapotrzebowanie na energię podczas pomiaru *real time kinematic* (RTK) wynika z dużego jej zużycia przez moduł radiowy na wysyłanie (odbiór) poprawek. W czasie pracy instrumentu, gdy napięcie aktualnie pracującej baterii spada poniżej dolnego dopuszczalnego progu, oraz w przypadku wyjęcia baterii, z której zasilany jest w danej chwili instrument, następuje automatyczne przełączenie zasilania na baterię drugą. Do rejestracji współrzędnych punktów z pomiaru, jak również innych danych opracowywanych później w trybie *post-processing* wykorzystywane są wymienne karty pamięci typu PCMCIA o formacie SRam (standardowa pojemność 2 MB). Transmisja danych z karty pamięci do komputera może odbywać się dwoma sposobami: za pomocą

specjalnego czytnika (napęd PCMCIA – wbudowany lub zewnętrzny), który umożliwia bezpośrednie czytanie zarejestrowanych na niej danych i skopiowanie ich na twardy dysk komputera lub poprzez łącze szeregowo odbiornika za pomocą interfejsu RS 232 z wykorzystaniem programu firmowego *Carl Zeiss Gps-Get*. Bardziej szczegółową charakterystykę odbiorników GePos RM 24 zawiera firmowa instrukcja obsługi [Carl Zeiss 1997].

Do pomiaru sytuacyjnego metodą klasyczną wykorzystano tachimetr elektroniczny Topcon GTS 211D firmy *Carl Zeiss*. Instrument ten stanowi połączenie teodolitu elektronicznego z fazowym dalmierzem elektrooptycznym pracującym na podczerwieni oraz z urządzeniem do automatycznej rejestracji i przetwarzania danych. Niektóre dane techniczne tachimetru są następujące: zasięg dalmierza (1 lustro) – 1,2 km; średni błąd pomiaru odległości  $\pm 3$  mm +2 ppm; dokładność pomiaru kąta  $\pm 5''$  ( $15^{\text{cc}}$ ); dokładność kompensatora  $\pm 1''$ .

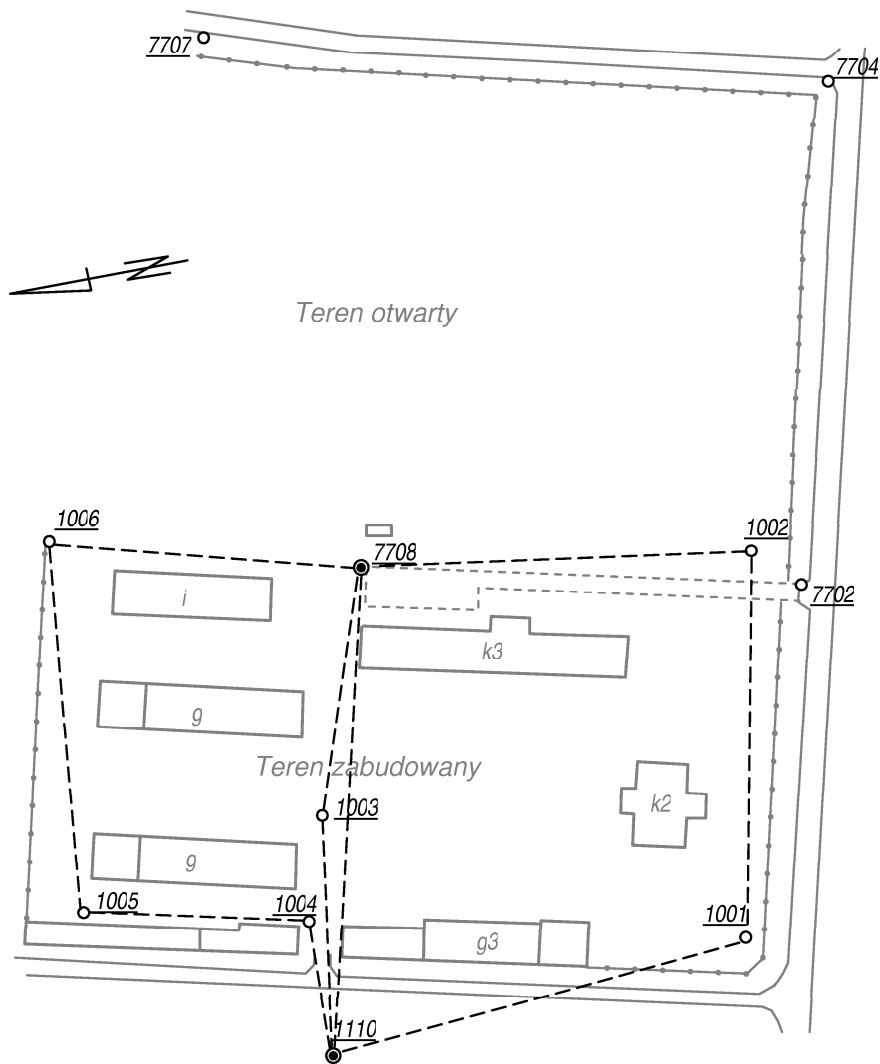
## OBIEKT POMIAROWY, PRZEPROWADZENIE POMIARÓW

Teren pomiaru znajduje się w dzielnicy Mydlniki (Kraków), w pobliżu portu lotniczego Balice. Obszar pomiaru zajmuje ok. 5 ha, z czego ok. 2 ha stanowi teren zabudowany (rys. 1). Wysokość budynków znajdujących się na tym obszarze odpowiada średniej wysokości budynków 2-3-kondygnacyjnych. Odległość pomiędzy sąsiednimi budynkami wynosi ok. 10-30 m. Istotne znaczenie dla pomiaru metodą GPS mają wysokie drzewa liściaste, luźno stojące pomiędzy budynkami.

### Metoda klasyczna

Na rysunku 1 pokazano na tle zarysu sytuacji szkic osnowy pomiarowej. Nawiązanie osnowy zapewniają punkty osnowy III klasy o numerach 1110 oraz 7708. Pozostałe stanowiska pomiarowe (1001-1006) obrano w miejscach dających możliwość swobodnego pomiaru osnowy oraz pikiet sytuacyjnych na całym obszarze. Rozkład oraz liczba uzyskanych obserwacji kątowno-liniowych zapewniają niezawodne i precyzyjne wyznaczenie punktów osnowy.

Pomiar osnowy za pomocą tachimetru elektronicznego Topcon GTS 211D obejmował pomiar kątów na każdym stanowisku (w dwóch położeniach lunety i dwóch seriach) oraz dwukrotny pomiar odległości przy każdym wycelowaniu lunety. Dokładność pomiaru określono za pomocą błędów średnich obserwacji kątowych i liniowych, które wynoszą odpowiednio:  $m_{\beta} = \pm 15^{\text{cc}}$ ,  $m_d = \pm 10$  mm. W ramach pomiaru sytuacji zdjęto 638 pikiet. Wyniki pomiarów automatycznie były rejestrowane w pamięci instrumentu.



Rys. 1. Szkic osnowy pomiarowej do metody klasycznej  
 Fig. 1. Sketch of surveying network for classical method

### Metoda RTK GPS

Pomiar sytuacji techniką GPS obejmował następujące etapy:

- obranie punktów dostosowania o znanych współrzędnych w układzie „1965” (o numerach: 7702, 7704, 7707, 1110), niezbędnych do transformacji WGS'84 → „1965”;
- obranie stanowiska stacji referencyjnej (nr 7708) w miejscu odległym od przeszkód terenowych (zmniejszenie wpływu zjawiska wielotorowości sygnałów);

- wyznaczenie współrzędnych punktów dostosowania w układzie WGS'84 metodą RTK za pomocą odbiornika GePos RM 24;
- zdjęcie szczegółów sytuacyjnych wraz z automatyczną rejestracją wyników.

Pomiar metodą RTK GPS ograniczał się w zasadzie do pomiaru szczegółów znajdujących się w terenie otwartym (ogrodzenie, elementy uzbrojenia terenu, ulice, chodniki itp.). W terenie zabudowanym, tzn. w pobliżu budynków lub drzew udało się pomierzyć jedynie ok. 200 pikiet odnoszących się do takich szczegółów, jak skarpa, niektóre elementy uzbrojenia, słupy, itp. Każda próba zbliżenia się z odbiornikiem *rover* do przeszkody (budynek, drzewo) wiązało się z utratą sygnału GPS lub też łączności radiowej. Odzyskiwanie łączności i ponowna aktywacja pomiaru GPS była bardzo żmudna i zabierała sporo czasu. Dodatkowo można było zauważyć wyraźny wpływ podchodzących do lądowania na pobliskim lotnisku Balice samolotów na zanik sygnałów satelitarnych zarówno w odbiorniku ruchomym, jak i stałym. Szczegółowy przebieg pomiaru przedstawiony jest w pracy Lis i Tatary [2002].

## OPRACOWANIE DANYCH POMIAROWYCH

### Program obliczeniowy

Do opracowania wyników otrzymanych – zarówno z pomiaru klasycznego, jak i różnicowego pomiaru GPS w czasie rzeczywistym (RTK) – wykorzystano program *Geonet* [Kadał 1997]. Służy on do kompletnego opracowania wszelkich danych pomiarowych uzyskanych z rejestratorów polowych, dzienników i szkiców. Program ten działa w tzw. trybie wsadowym, co oznacza, że potrzebne do obliczeń dane wprowadzane są do odpowiedniego podkatalogu roboczego w postaci zbiorów tekstowych o określonym formacie. Program obejmuje między innymi takie zadania, jak: 1) Ścisłe wyrównanie sieci poziomych lub niwelacyjnych o dowolnej konstrukcji i rozmiarze, z pełną charakterystyką dokładności. Ścisłe wyrównanie sieci przebiega według zasad metody najmniejszych kwadratów z uwzględnieniem odpowiednich wag obserwacji. 2) Wyrównanie sieci wektorowych GPS w układzie geocentrycznym elipsoidy WGS 84, także łącznie z obserwacjami klasycznymi. 3) Przeliczenie współrzędnych pomiędzy różnymi układami odniesienia: B,L,H (WGS 84 lub KRASOWSKI), "1965", "1942", "1992".

### Metoda klasyczna

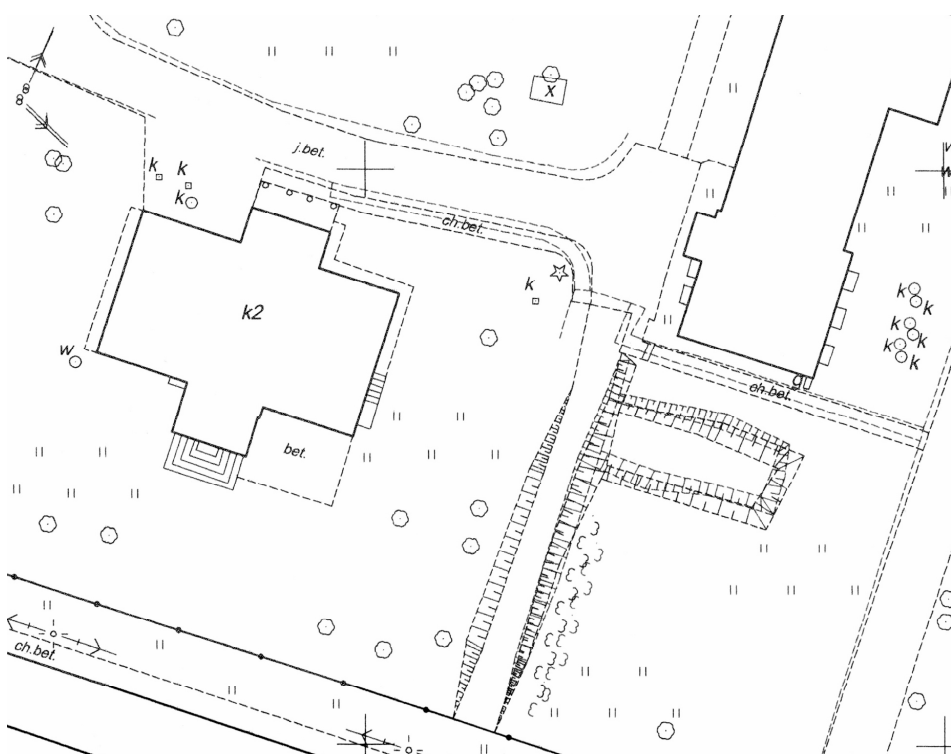
W czasie transmisji wyników pomiarów z instrumentu Topcon program obliczeniowy automatycznie utworzył plik o nazwie *obsbieg*. Zbiór ten zawiera informacje o pomiarach osnowy oraz pikiet. Po wstępnej kontroli danych pomiarowych program obliczył współrzędne przybliżone punktów osnowy, a następnie przeprowadził wyrównanie ścisłe wraz z pełną charakterystyką dokładności. Wyniki wyrównania (tab. 1) zostały zapisane w odpowiednich plikach, które stały się w następnym etapie podstawą opracowania pomiarów masowych.

### Metoda GPS

Transmisję wyników GPS przeprowadzono przy użyciu firmowego programu *Gps\_Get*, po połączeniu szeregowym instrumentu z komputerem. Uzyskane współrzędne punktów w układzie WGS'84 zapisano w formacie tekstowym, gdyż plik ten stano-

wił zbiór wejściowy dla programu *Geonet*. W celu przeprowadzenia transformacji WGS'84 → „1965” niezbędne było utworzenie jeszcze jednego pliku wejściowego, zawierającego wykaz współrzędnych punktów dostosowania w układzie docelowym („1965”). W wyniku transformacji uzyskano współrzędne wyrównane punktów dostosowania (tab. 2) oraz współrzędne pikiet sytuacyjnych (tab. 3) w układzie „1965”. W odrębnym pliku zawarte zostały informacje o dokładności przeprowadzonej transformacji.

Ostatnim etapem opracowania wyników było wykreślenie mapy sytuacyjnej w skali 1:500 (rys. 2 – skala zmniejszona) za pomocą programu *AutoCad 2000*. W tym celu przygotowane zostały wykazy współrzędnych  $xy$  w formacie *dxf* oddzielnie dla metody klasycznej i metody GPS. Na mapie widoczne są szczegóły sytuacyjne pomierzone obydwoma metodami (skarpy, włązy kanalizacyjne, chodniki) oraz różnice położenia tych szczegółów wynikające z błędów pomiaru metodą GPS.



Rys. 2. Fragment mapy sytuacyjnej wykreślonej dla obydwu metod pomiaru: klasycznej i GPS  
Fig. 2. A fragment of site map done for both measuring methods: classical and GPS

## ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW, DYSKUSJA

Dokładny pomiar wykonany za pomocą tachimetru elektronicznego pozwolił na precyzyjne wyznaczenie położenia punktów osnowy, będącej podstawą zdjęcia szczegółów metodą klasyczną. Obliczone błędy średnie współrzędnych średnio osiągają

wartość ok. 1 cm, natomiast maksymalny błąd położenia punktu nie przekracza 2 cm (tab. 1). Do wagowania obserwacji przyjęto standardowe wartości błędów średnich obserwacji:  $m_d = \pm 10$  mm,  $m_\beta = \pm 15''$ .

Tabela 1. Wyrównane współrzędne osnowy do pomiaru metodą klasyczną  
Table 1. Adjusted coordinates of the network for measurement by classical method

Nr punktu No of point	Współrzędne wyrównane „1965” Adjusted coordinates „1965”		Błędy średnie współrzędnych Mean errors of coordinates		Błąd położenia punktu Positional error
	X	Y	$m_x$	$m_y$	$m_p$
1002	5407446.392	4549053.017	0.012	0.007	0.014
1001	5407474.805	4548946.428	0.013	0.007	0.015
1003	5407567.430	4549009.529	0.005	0.012	0.013
1004	5407575.991	4548980.675	0.004	0.011	0.012
1006	5407613.197	4549100.356	0.015	0.008	0.017
1005	5407632.971	4548996.128	0.014	0.013	0.019
1110	5407584.460	4548947.670	0.000	0.000	0.000
7708	5407538.591	4549073.983	0.000	0.000	0.000

W tabeli 2 pokazano wyniki wyrównania transformacji dla punktów dostosowania z układu WGS'84 do układu „1965”. Warto zwrócić uwagę na wartości odchyłek  $dx$ ,  $dy$  na punktach dostosowania. Odchyłki  $dy$  nie budzą zastrzeżeń (ok. 1 cm), natomiast odchyłki  $dx$  są ok. 30-40 razy większe. Nasuwa się stąd wniosek, że błędy pomiaru metodą GPS rozłożyły się głównie wzdłuż kierunku osi  $x$  układu „1965”. Duże wartości poprawek na punktach dostosowania wynikają zapewne również z samej metody pomiaru (RTK). Wyznaczenie tych punktów metodą statyczną poprawiłoby dokładność, ale wiązałoby się z większą czaso- i pracochłonnością pomiaru.

Tabela 3 zawiera współrzędne pikiet pomierzonych techniką GPS po przeprowadzeniu transformacji do układu „1965”. Wysokie wartości błędów średnich współrzędnych oraz błędów położenia pikiet są konsekwencją m.in. dużych odchyłek na punktach dostosowania. Wyznaczone w ten sposób punkty nie spełniają wymogów dokładnościowych instrukcji G-4 [GUGiK 2002].

Spośród wszystkich pikiet sytuacyjnych pomierzonych metodą klasyczną (638), dla 85 z nich udało się również wyznaczyć położenie metodą RTK GPS. Są to więc wspólne dla obydwu metod punkty, w oparciu o które przeprowadzono porównawczą analizę dokładności (tabele 4, 5). Zakładając, że metoda klasyczna pomiaru przy użyciu tachimetru elektronicznego daje bardziej wiarygodne wyniki, obliczone odchyłki współrzędnych oraz odchyłkę liniową można traktować jako błędy wyznaczenia położenia punktów metodą RTK GPS.

Przy porównywaniu wyników dla terenu zabudowanego (tab. 4), warto zauważyć, że istnieją pewne prawidłowości w zróżnicowaniu wartości tych odchyłek dla poszczególnych punktów, takie jak np.: 1) odchyłki  $dx$  są zdecydowanie większe od odchyłek  $dy$  (podobnie jak odchyłki transformacji na punktach dostosowania); 2) prawie wszystkie odchyłki mają ten sam znak. Średnia odchyłka liniowa wynosi prawie 1,3 m, co jest absolutnie niedopuszczalną wartością w świetle instrukcji technicznej G-4.

Tabela 2. Wyniki wyrównania transformacji (punktów dostosowania) WGS84 → „1965”  
 Table 2. Results of transformation adjustment (for minor control points) WGS84 → „1965”

Nr punktu <i>No of point</i>	Współrzędne w układzie wtórnym („1965”) <i>Coordinates in target system („1965”)</i>				Odchyłki <i>Deviations</i>	
	Wyjściowe / <i>Initial</i>		Wynikowe / <i>Final</i>		<i>dX</i>	<i>dY</i>
	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>		
7702	5407436.705	4549021.269	5407437.149	4549021.282	0.444	0.013
1110	5407584.460	4548947.670	5407584.237	4548947.663	-0.223	-0.007
7704	5407393.682	4549176.414	5407393.302	4549176.403	-0.380	-0.011
7707	5407543.888	4549233.384	5407544.047	4549233.389	0.159	0.005
Błąd średni jednostkowy / <i>Unit mean error</i> $m_0 = \pm 0.457$						
Błąd transformacji / <i>Transformation error</i> $m_t = \pm 0.646$						

Tabela 3. Przykładowe współrzędne pikiet po transformacji WGS84 → „1965”  
 Table 3. Coordinates of some points obtained in transformation WGS84 → „1965”

Lp. <i>Ordinal</i>	Współrzędne „1965” <i>Coordinates „1965”</i>		Błędy średnie współrzędnych <i>Mean errors of coordinates.</i>		Błąd położenia punktu <i>Positional error</i>
	<i>X</i>	<i>Y</i>	$m_x$	$m_y$	$m_p$
1	5407543.579	4549064.399	0.279	0.279	0.394
2	5407543.918	4549062.802	0.280	0.280	0.396
3	5407532.625	4549059.138	0.265	0.265	0.374
4	5407529.965	4549058.250	0.262	0.262	0.370
5	5407531.887	4549056.779	0.265	0.265	0.374
6	5407532.500	4549059.070	0.264	0.264	0.374
7	5407530.122	4549058.289	0.262	0.262	0.370
8	5407533.657	4549054.112	0.268	0.268	0.379
9	5407515.597	4549053.612	0.251	0.251	0.356
10	5407514.825	4549056.020	0.250	0.250	0.353
11	5407516.697	4549055.597	0.251	0.251	0.355
12	5407517.247	4549056.044	0.251	0.251	0.355
13	5407520.688	4549057.921	0.253	0.253	0.357
14	5407515.139	4549060.439	0.247	0.247	0.350
15	5407504.745	4549052.857	0.248	0.248	0.350
16	5407507.955	4549053.797	0.248	0.248	0.351
17	5407503.628	4549056.708	0.245	0.245	0.346
18	5407503.365	4549056.965	0.245	0.245	0.346
...	....	....	....	....	....
228	5407626.656	4549031.930	0.465	0.465	0.657
229	5407628.068	4549032.987	0.468	0.468	0.662



Tabela 4. Przykładowe pikiety pomierzone w terenie zabudowanym  
 Table 4. Some points measured in built-up area

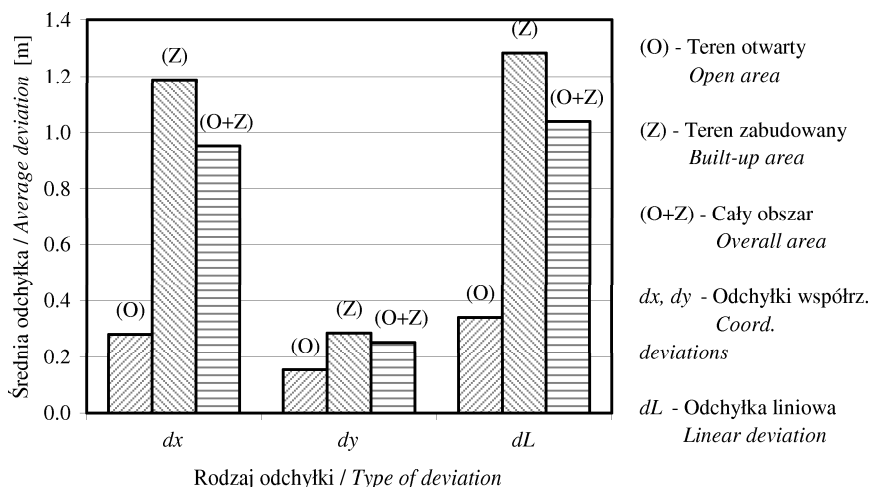
L.p. Ordinal	Nr punktu No of point	Metoda klasyczna Classical method		Metoda RTK GPS RTK GPS method		Odchyłki: współrz. i liniowa Deviations of coordinates and linear deviation		
		X	Y	X	Y	dx	dy	dL
1	6	5407509.930	4548968.070	5407509.984	4548968.092	0.054	0.022	0.058
2	32	5407505.750	4548970.000	5407506.098	4548970.081	0.348	0.081	0.358
3	33	5407506.700	4548970.540	5407507.009	4548970.640	0.309	0.100	0.325
4	123	5407488.360	4549018.140	5407489.708	4549018.322	1.348	0.182	1.360
5	127	5407488.220	4549019.450	5407489.364	4549019.465	1.144	0.015	1.144
6	128	5407484.310	4549021.150	5407484.916	4549021.269	0.606	0.119	0.617
7	129	5407483.710	4549023.180	5407484.514	4549023.279	0.804	0.099	0.810
8	130	5407483.530	4549023.740	5407484.496	4549023.808	0.966	0.068	0.969
9	156	5407499.420	4549051.390	5407501.012	4549051.436	1.592	0.046	1.593
10	157	5407488.580	4549047.570	5407490.098	4549047.585	1.518	0.015	1.518
11	158	5407485.720	4549047.310	5407487.082	4549047.188	1.362	-0.122	1.367
12	159	5407483.720	4549046.280	5407485.236	4549046.314	1.516	0.034	1.516
13	160	5407477.140	4549048.680	5407478.510	4549048.591	1.370	-0.089	1.373
14	208	5407501.440	4549056.880	5407503.365	4549056.965	1.925	0.085	1.927
15	209	5407501.740	4549056.680	5407503.628	4549056.708	1.888	0.028	1.888
16	210	5407503.040	4549052.750	5407503.955	4549053.797	0.915	1.047	1.390
17	211	5407506.220	4549053.780	5407505.745	4549052.857	-0.475	-0.923	1.038
...	...	...	...	...	...	...	...	...
60	360	5407539.140	4549013.070	5407540.290	4549012.746	1.150	-0.324	1.195
61	361	5407533.450	4549011.380	5407534.571	4549010.960	1.121	-0.420	1.197
62	363	5407541.990	4549002.800	5407543.255	4549002.505	1.265	-0.295	1.299
63	364	5407536.590	4549001.110	5407537.670	4549000.759	1.080	-0.351	1.136
Średnia - Average						1.188	0.286	1.284

Tabela 5. Przykładowe pikiety pomierzone w terenie otwartym  
Tabela 5. Some points measured in open area

L.p. Ordinal	Nr punktu No of point	Metoda klasyczna Classical method		Metoda RTK GPS RTK GPS method		Odchyłki: współrz. i liniowa Deviations of coordinates and linear deviation		
		X	Y	X	Y	dx	dy	dL
1	184	5407448.150	4549038.820	5407448.496	4549039.177	0.346	0.357	0.497
2	185	5407442.610	4549037.360	5407442.803	4549037.443	0.193	0.083	0.210
3	186	5407439.040	4549036.100	5407439.076	4549036.139	0.036	0.039	0.053
4	187	5407438.430	4549035.570	5407438.503	4549035.639	0.073	0.069	0.101
5	188	5407439.250	4549035.190	5407439.242	4549035.339	-0.008	0.149	0.149
6	189	5407436.800	4549033.930	5407436.966	4549033.970	0.166	0.040	0.171
7	190	5407434.400	4549041.600	5407434.517	4549041.585	0.117	-0.015	0.118
8	191	5407436.680	4549041.230	5407436.789	4549041.195	0.109	-0.035	0.114
9	192	5407437.480	4549041.060	5407437.478	4549041.077	-0.002	0.017	0.017
10	193	5407440.680	4549042.960	5407441.126	4549043.383	0.446	0.423	0.615
11	194	5407438.340	4549045.320	5407438.875	4549045.369	0.535	0.049	0.538
12	602	5407428.270	4549070.040	5407427.706	4549069.465	-0.564	-0.575	0.805
13	606	5407410.090	4549139.750	5407409.830	4549139.650	-0.260	-0.100	0.279
14	607	5407409.410	4549139.540	5407409.146	4549139.478	-0.264	-0.062	0.271
15	609	5407405.810	4549139.810	5407405.548	4549139.727	-0.262	-0.083	0.275
16	612	5407397.640	4549173.320	5407397.361	4549173.249	-0.279	-0.071	0.288
17	614	5407393.200	4549175.970	5407393.682	4549176.414	0.482	0.444	0.655
18	617	5407397.700	4549175.880	5407397.375	4549175.859	-0.325	-0.021	0.326
19	627	5407520.810	4549213.250	5407521.237	4549213.314	0.427	0.064	0.432
20	632	5407541.840	4549223.780	5407542.457	4549223.768	0.617	-0.012	0.617
21	634	5407543.960	4549233.440	5407543.888	4549233.384	-0.072	-0.056	0.091
22	635	5407543.650	4549231.620	5407544.247	4549230.992	0.597	-0.628	0.866
Średnia - Average!						0.281	0.154	0.340

W terenie otwartym dla wszystkich pikiet określono położenie obydwoma metodami (tab. 5). W tym przypadku odchyłki  $dx$ ,  $dy$ ,  $dL$  są wyraźnie mniejsze niż w terenie zabudowanym. Znaki odchyłek są bardziej zróżnicowane, natomiast odchyłki  $dx$  mają zbliżone wartości do odchyłek  $dy$ . Średnia odchyłka liniowa wynosi 0,34 m, co jednak również przekracza wymogi dla pomiaru szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej (instrukcja G-4 [GUGiK 2002]).

Na rysunku 3 pokazano zależność pomiędzy średnią wartością odchyłki współrzędnych ( $dx$ ,  $dy$ ) oraz odchyłki liniowej ( $dL$ ) od charakteru obiektu pomiarowego (teren otwarty, zabudowany lub mieszany). Wnioski wyływające z tego wykresu są podobne jak przy bezpośredniej analizie tabel 4 i 5. Dodatkowo można zauważyć, że: 1) na wartość odchyłki  $dL$  wpływ ma głównie odchyłka  $dx$  (w terenie zamkniętym), 2) ogólną dokładność pomiarów na całym obiekcie testowym kształtują głównie błędy pomiarów przeprowadzonych w terenie otwartym.



Rys. 3. Odchyłki punktów wyznaczonych metodą GPS RTK  
Fig. 3. Deviations of points determined by GPS RTK method

## PODSUMOWANIE

Pomiar szczegółów sytuacyjnych w terenie zabudowanym metodą RTK za pomocą zestawu GePos RM 24 firmy Carl Zeiss jest praktycznie niemożliwy ze względu na ograniczenia zewnętrzne: brak wystarczającego odkrycia horyzontu, słaby sygnał radiowy. Warto zaznaczyć, że nawet w odległości kilkunastu metrów od budynku 2-kondygnacyjnego uzyskanie sygnału od 4 satelitów było bardzo utrudnione. Cykliczne osłabianie i wzmacnianie sygnałów GPS jest prawdopodobnie spowodowane efektem wielotorowości, który jest ponadto źródłem uskoków fazy i zaniku jej synchronizacji z odbiornikiem [Czarnecki 1996]. Przyczyną słabej łączności radiowej mogła być natomiast sama konstrukcja anten. Problemu nie rozwiązało podniesienie anteny przy odbiorniku bazowym do wysokości 6 m, a przy ruchomym do wysokości ok. 3 m.

Nieliczne punkty sytuacyjne, które udało się wyznaczyć metodą RTK w terenie zabudowanym, obciążone były błędami położenia (ponad 1 m) znacznie przekraczającymi odchyłki dopuszczalne [GUGiK 2002]. Przyczyn tak niskiej dokładności uzyskanych wyników można się dopatrywać w zakłóceniach sygnałów GPS (zjawiska odbicia od przeszkód i wielotorowości sygnałów) oraz w małej liczbie satelitów dostępnych w momencie pomiaru danego punktu. Na dokładność pomiaru miały również wpływ utra-

cone fazy fali nośnej, które występują na skutek przerw łączności z satelitą [Czarnecki 1996]. Nie bez znaczenia były zapewne zakłócenia spowodowane nisko przelatującymi samolotami podchodzącymi do lądowania na odległym o kilka kilometrów lotnisku.

W terenie otwartym (bez budynków i drzew) pomiar metodą RTK GPS nie nastroczał większych problemów. Otrzymane wyniki charakteryzują się o wiele niższymi błędami położenia punktów (średnio ok. 30 cm) niż w terenie zabudowanym, jednak również i w tym przypadku nie spełniają one wymogów technicznych, przewidzianych dla pomiarów szczegółów sytuacyjnych [GUGiK 2002].

Dodatkowym utrudnieniem przy realizacji całodniowych pomiarów metodą RTK jest duże zapotrzebowanie na energię: komplet baterii zewnętrznych (wraz z zapasowymi) wystarczał zaledwie na ok. 2,5 godziny pracy odbiornika.

Na bazie zebranych doświadczeń i uzyskanych wyników w czasie pomiarów na obiekcie testowym należy stwierdzić, że pomiar szczegółów sytuacyjnych techniką RTK GPS za pomocą odbiorników GePos RM 24 firmy *Carl Zeiss* nie spełnia oczekiwań dokładnościowych i jest bardzo czasochłonny (zanikające sygnały satelitarne w terenie zabudowanym, słaby sygnał radiowy). Pomiar tą metodą jest możliwy na obszarach mało zurbanizowanych i nie zadrzewionych, gdzie pokrycie terenu nie zakłóca sygnałów satelitarnych i radiowych. Uzyskiwane dokładności są wystarczające dla pomiaru szczegółów III i ewentualnie II grupy dokładnościowej.

## PIŚMIENNICTWO

- Baryła R., Oszczak S., 2003. Wykorzystanie pomiarów statycznych GPS oraz RTK OTF dla potrzeb modernizacji osnów geodezyjnych. VII Sympozjum „Współczesne Problemy Podstawowych Sieci Geodezyjnych”, Olsztyn, 26-27 czerwca 2003.
- Carl Zeiss, 1997. GePos CEO GPs Software – Operating Instructions, 2.0 Version. Geodatische Systeme, Jena.
- Cisak, J., Kryński, J., Mańk, M., 2001. RTK w terenie zurbanizowanym na przykładzie Warszawy, Zeszyty Naukowe, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie, Dodatek nr 2/2001, Materiały z konferencji naukowej „Satelitarne metody wyznaczania pozycji we współczesnej geodezji i nawigacji”, Dęblin, 22-23 maja 2001, s. 63-78.
- Czarnecki K., 1996. Geodezja współczesna w zarysie. Wydawnictwo Wiedza i Życie, Warszawa s. 261-353.
- Gocał J., Uznański A., 1998. Ocena dokładności metod RS i RTK w aspekcie ich przydatności w pomiarach realizacyjnych. Półrocznik AGH Kraków, Geodezja, t. 4, z. 1.
- Gocał J., Uznański A., 2002. Badanie dokładności pozycjonowania punktów metodą RTK GPS w pobliżu przeszkód terenowych. Prace Komisji Geodezji i Inżynierii Środowiska PAN, Oddział w Krakowie, nr 39, s. 31-46.
- GUGiK, 2002. Instrukcja techniczna G-4: Pomiary sytuacyjne i wysokościowe. Warszawa.
- Kadaj R., 1997. Geonet – system obliczeń geodezyjnych. Opis funkcjonalny i zasady obsługi. Algores-Soft, Rzeszów.
- Krzyżek R., 2002. Badania związane z zastosowaniem pomiarów satelitarnych RTK GPS do sytuacyjno-wysokościowej inwentaryzacji szczegółów terenowych. Półrocznik AGH Kraków, Geodezja, t.8, z. 2.
- Lipecki T., Jaśkowski W., 2001. Badanie stabilności określenia współrzędnych punktu w pomiarach GPS-RTK. Przegląd Geodezyjny, nr 6, s. 18-22.

- Lis I., Tatar B., 2002. Badanie efektywności zastosowania różnicowych pomiarów GPS w czasie rzeczywistym (RTK) do pomiarów sytuacyjnych w terenach miejskich w odniesieniu do pomiarów tachimetrycznych. Praca magisterska – maszynopis. AR Kraków.
- Oszczak S., Rzepecka Z., Kapcia J., Frączyk P., 1997. Preliminary Results of Real-Time Kinematic Tests. *Artificial Satellites*, Vol. 32, No 3.

## **AN EVALUATION OF USABILITY OF RTK GPS TECHNIQUE AS METHOD OF DETAILED SURVEYING**

**Abstract.** Evaluation of data accuracy of detailed survey from RTK GPS method using equipment GPS - GePos RM 24 of *Carl Zeiss* is the main goal of the paper. The results obtained have been analysed with comparison to measurements from classical, ground-based method using total-station. As the evaluation criteria following parameters were assumed: mean errors of points after transformation of coordinates from WGS'84 set to "1965" set, deviations of transformation for points of minor control and deviations of coordinates for situation details with reference to the same points determined by classical method. Data processing for both surveying methods was made by using the *Geonet* program.

**Key words:** detailed survey, method of RTK GPS

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.12.2005