

Ireneusz WYCZAŁEK<sup>1</sup>  
Robert NOWAK<sup>2</sup>  
Elżbieta WYCZAŁEK<sup>3</sup>

## BADANIA NAD WYKORZYSTANIEM POMIARÓW SATELITARNYCH W TRYBIE RTK NAWIĄZANYCH DO SIECI ASG ORAZ LOKALNYCH STACJI REFERENCYJNYCH

### Streszczenie

W pracy przedstawiono praktyczne badania testowe dokładności GNSS wykonane w trybie RTK nawiązanym do jednej lub kilku stacji sieci ASG EUPOS. W wyniku długotrwałych badań stwierdzono, że uzyskuje się wymagane wyniki niezależnie od czasu pojedynczego pomiaru, metody wyrównania i wymaganej grupy dokładnościowej szczegółów. Testy w funkcji odległości od bazy wykazały, że dla wektorów do 30 km można uzyskać porównywalne wyniki. Można stwierdzić, że badania potwierdzają konserwatywne postawy twórców zaleceń technicznych dotyczących pomiarów w oparciu o sieć ASG.

**Słowa kluczowe:** GNSS RTK, dokładność pomiarów satelitarnych, poprawki sieciowe

### 1. Wprowadzenie

Technika pomiarów geodezyjnych opartych na odbiorze i przetwarzaniu sygnałów satelitarnych GNSS weszła w fazę powszechnego stosowania. Najwygodniej i najczęściej wykonuje się pomiary w trybie RTK, którego główną zaletą jest ukazywanie tuż po pomiarze współrzędnych mierzonego punktu w przyjętym układzie. Tryb RTK wymaga jednak poprawiania obserwacji o wartości uzyskane w tym samym czasie w oparciu o pomiar za pomocą stałego odbiornika (bazy). Dla ułatwienia tego typu prac założono w Polsce, na wzór innych państw, sieć niemal 100 stacji referencyjnych rozmieszczonych równomiernie na terenie kraju. System ASG EUPOS, który one tworzą, umożliwia uzyskiwanie poprawek bezpośrednio za pomocą łącz telefonicznej, albo wyrównanie surowych obserwacji po powrocie z terenu w oparciu o dane zapisane w zasobach systemu.

Z uwagi na duże odległości między stacjami sieci ASG stosuje się kilka podejść do wyrównania obserwacji. Jeśli mierzony obszar leży stosunkowo blisko jakiejś stacji, wówczas można stosować obliczenia w oparciu o poprawki uzyskane z tej stacji. Częściej jednak korzysta się z poprawek powierzchniowych, wyznaczanych w nawiązaniu do trzech (tryb VRS) lub więcej (tryb MAC) okolicznych stacji. W obu podejściach wyrównania sieciowego poprawkę liczy się jako średnią ważoną zależną od odległości lub powierzchni, przy czym VRS odnosi pomiary do czasowo założonej stacji wirtualnej a MAC do wybranej anteny ASG. Czołowi producenci odbiorników satelitarnych – TOPCON i Leica – założyli własne sieci stacji referencyjnych i umożliwiają pomiary w nawiązaniu do tych stacji. Na obiektach Politechniki Poznańskiej znajdują się anteny bazowe zarówno sieci TPI-NET (TOPCON) jak i firmy Leica Geosystems. Daje to dobrą sposobność do porównywania efektów wyrównania pomiarów GPS/RTK różnymi metodami w nawiązaniu do różnych stacji. Takie pomiary stanowią przedmiot analizy przedstawionej w niniejszej pracy.

Przed przystąpieniem do zasadniczych badań testowych dokonano krytycznego przeglądu aktualnie zalecanych przepisów jak i doświadczeń innych autorów podobnych badań. Własne testy

---

<sup>1</sup> dr inż., Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska

<sup>2</sup> inż., Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska

<sup>3</sup> dr inż., Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

wykonano w sposób odpowiadający typowemu pomiarowi terenowemu RTK dla pierwszej grupy dokładnościowej szczegółów sytuacyjnych, po unieruchomieniu anteny na czas pomiaru i ustaleniu zalecanych (lub nieco lepszych) trybów pracy. Zarejestrowane wyniki wielogodzinnych pomiarów we wszystkich dostępnych trybach poddano analizie w celu oceny wyników poszczególnych sesji oraz ich wzajemnego porównania. Dla ilustracji, wyniki oceny dokładnościowej przedstawiono na wykresach.. W końcu podsumowano efekty badań i sformułowano wnioski praktyczne.

Niniejsza publikacja ma służyć wymianie doświadczeń co do zastosowań omawianej metody w typowych pracach geodezyjno-kartograficznych oraz – o ile zostanie uznana za użyteczną – modyfikacji przepisów technicznych określających zasady jej stosowania.

Praca została wykonana w ramach realizacji projektu badań własnych finansowanych przez Politechnikę Poznańską ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## 2. Pomiary satelitarne z wyrównaniem obserwacji w trakcie pracy

### 2.1. Rozwój metody GPS/RTK

Kiedy tylko technika GNSS wyznaczania pozycji z wykorzystaniem sygnałów satelitarnych uzyskiwała parametry użyteczne dla geodetów (głównie odpowiednią dokładność i krótki czas pomiaru), nastąpił jej intensywny rozwój oraz produkcja odpowiednich odbiorników. Opracowano też różne sposoby pomiaru zmierzające do skrócenia czasu oraz zapewnienia jego ciągłości. Ostatecznie jednak dopiero wraz z wprowadzeniem trybu RTK (ang. *Real Time Kinematic*) pomiary satelitarne zyskały odpowiedni poziom atrakcyjności [1, 2]. Niestety podejście to wymaga stosowania dwóch anten, co skutkowało koniecznością poniesienia stosunkowo dużych kosztów zakupu dodatkowych odbiorników oraz systemu komunikacji radiowej. Naturalnym dążeniem było więc optymalizowanie kosztów poprzez zakładanie jednej anteny bazowej dla większej liczby odbiorników pomiarowych. Ostatecznie coraz większe oczekiwania społeczne doprowadziły do podjęcia inicjatyw mających na celu publiczne udostępnianie poprawek wyrównawczych do powszechnego użytku. W konsekwencji, na wzór innych państw została utworzona aktywna sieć krajowa, która pod nazwą ASG EUPOS ([www.asgeupos.pl](http://www.asgeupos.pl)) świadczy usługi udostępniania poprawek korekcyjnych [3] – do bezpośredniego wykorzystania w pomiarach RTK lub w obliczeniach. Sieć ASG połączona jest z jej odpowiednikami założonymi w sąsiadujących krajach. Jest też rozwijana i modernizowana w efekcie uzyskiwanego doświadczenia własnego oraz wymiany doświadczeń międzynarodowych. Informacje dotyczące pracy tego i jemu podobnych systemów, a ponadto – sposobów ich wykorzystania oraz możliwości pracy w różnych trybach były powszechnie publikowane i na różne sposoby prezentowane [2, 4].

Obecnie dąży się do zastąpienia odbiorników bazowych pracujących jedynie w systemie GPS na odbiorniki wielosystemowe. Usprawnia się też działanie poszczególnych serwisów. Między innymi dodano nowy sposób wyrównania obserwacji określony nazwą MAC (ang. *Master-Auxiliary Concept*). Powstał on jako alternatywa dla rozwiązania VRS (ang. *Virtual Reference Station*), który wymaga dwukierunkowej komunikacji odbiornika z centralą systemu oraz zaawansowanych obliczeń podczas rejestracji [4].

Ponieważ rozległe powierzchniowo systemy stacji referencyjnych wymagają internetowej komunikacji z użytkownikiem, poprawki docierają do niego z pewnym opóźnieniem czasowym, co w połączeniu z koniecznością uśredniania obserwacji korekcyjnych z odległych anten wymaga stosowania algorytmów ekstrapolacyjnych, a to z kolei obniża dokładność wyników wyrównania. W efekcie wydaje się uzasadnione wydłużanie czasu pomiaru w celu zwiększenia jego dokładności. Odzwierciedleniem takiego rozumowania są różnorakie wskazania techniczne zmierzające do podniesienia jakości pomiarów satelitarnych. W Polsce opierają się one głównie na wskazaniach opracowanych przez obsługę systemu ASG, a firmowanych przez Głównego Geodetę Kraju.

### 2.2. Wskazania techniczne Głównego Geodety Kraju

Na początku roku 2011 Główny Geodeta Kraju wydał dokument określony mianem zaleceń technicznych „Pomiary satelitarne GNSS oparte na systemie stacji referencyjnych ASG/EUPOS” [5]. Wskutek braku bardziej formalnych wytycznych, w wielu ODGiK uznawany jest on za odpowiednik dotychczasowych Instrukcji Technicznych i od wykonawców prac geodezyjnych oczekuje się

respektowania wskazań w nim zawartych. W zakresie pomiarów RTK wymaga on przede wszystkim odniesienia obserwacji do sieci naziemnych punktów odniesienia (poligonowych, granicznych), a także okresowego kontrolowania pomiarów na co najmniej jednym z nich.

W odniesieniu do interesującego nas tu wyrównania obserwacji w czasie pomiaru omawiany dokument zaleca korzystanie z poprawek sieciowych albo, w określonych granicach odległościowych, z pojedynczej stacji referencyjnej – do 30 km odbiornikami dwuczęstotliwościowymi lub do 5 km odbiornikami jednoczęstotliwościowymi. Minimalne warunki pomiaru RTK to precyzyjny tryb pracy odbiornika, maska powyżej  $10^\circ$  nad horyzontem, pozyskiwanie sygnałów od co najmniej 5 satelitów GNSS oraz PDOP mniejszy od 6,0.

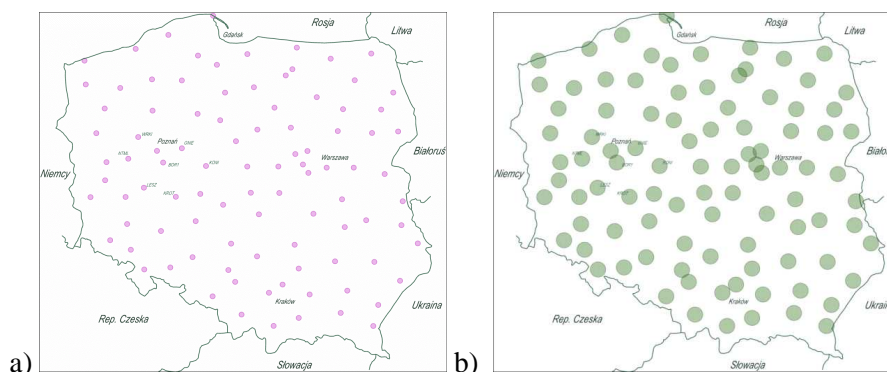
Dla poszczególnych kategorii dokładnościowych pomiaru uszczegółowiono te warunki następująco:

- dla pomiarów osnowy sytuacyjnej i wysokościowej, punktów dostosowania do transformacji oraz szczegółów będących przedmiotem ewidencji gruntów i budynków:
  - a) minimum 6 wspólnych satelitów,
  - b) poprawki sieciowe lub jedna stacja referencyjna oddalona nie więcej niż 5 km,
  - c) PDOP do 3,0,
  - d) błąd średni składowej poziomej  $\pm 0,02$  m,
  - e) czas pomiaru co najmniej 30 sekund (dla interwału 1-sekundowego);
- dla pomiarów szczegółów sytuacyjnych z I grupy dokładnościowej (według Instrukcji G-4):
  - a) poprawki sieciowe lub stacja referencyjna oddalona do 15 km,
  - b) PDOP do 4,0,
  - c) błąd średni składowej poziomej  $\pm 0,03$  m,
  - d) czas pomiaru co najmniej 5 sekund (interwał 1-sekundowy),
- dla pomiarów szczegółów sytuacyjnych z II grupy dokładnościowej:
  - a) poprawki sieciowe lub stacja referencyjna oddalona do 30 km (wynika z zaleceń ogólnych),
  - b) PDOP do 6,0 (wynika z zaleceń ogólnych),
  - c) błąd średni składowej poziomej  $\pm 0,05$  m,
  - d) czas pomiaru co najmniej 3 sekundy (interwał 1-sekundowy),
- dla pomiarów szczegółów sytuacyjnych z III grupy dokładnościowej:
  - a) poprawki sieciowe lub stacja referencyjna oddalona do 30 km (wynika z zaleceń ogólnych),
  - b) PDOP do 6,0 (wynika z zaleceń ogólnych),
  - c) błąd średni składowej poziomej  $\pm 0,10$  m,
  - d) czas pomiaru do 3 sekund, wyjątkowo 1 sekunda.

### 2.3. Spostrzeżenia praktyczne

Na szczególną uwagę zasługują zalecane warunki pomiaru szczegółów wyłączonych z I grupy dokładnościowej: punktów osnowy, punktów dostosowania do transformacji i punktowych szczegółów ewidencyjnych. Intuicyjnie wydają się zbędne tak wysokie wymagania w odniesieniu do budynków (trudności w identyfikacji kształtu) oraz punktów ewidencyjnych innych niż znaki graniczne. Tak długi zadany czas pomiaru (30 s) będzie też ważnym czynnikiem zwiększającym jego czasochłonność.

Drugą wątpliwość budzą kryteria odległościowe dla nawiązań jednopunktowych. Na rysunku 1 przedstawiono ich dopuszczalne zasięgi. W odniesieniu do osnów i punktów ewidencyjnych jest to około 2,5% powierzchni kraju, dla innych szczegółów I grupy dokładnościowej 22% powierzchni, a dla pozostałych szczegółów (z grupy II i III) – około 75% powierzchni. Wynika z tego, że z praktycznego punktu widzenia niezbędne jest stosowanie poprawek powierzchniowych.



Rys. 1. Zasięgi dopuszczalności pomiarów GPS/RTK w nawiązaniu do pojedynczej stacji referencyjnej systemu ASG EUPOS – zasięgi 5- i 15-kilometrowe [5].

Problemem wydaje się też wybór między trybami VRS i MAC, jako że nie do końca znane są użytkownikowi zastosowane w nich algorytmy, co powoduje konieczność wyboru określonej metody w oparciu o zbyt ograniczoną wiedzę. Wydaje się, że wykonawca pomiarów przed rozpoczęciem pracy zmuszony jest do przeprowadzenia testów kontrolnych lub opierania się na doświadczeniach innych użytkowników systemu.

### 3. Wyrównanie obserwacji GPS/RTK względem sieci ASG i stacji komercyjnych

#### 3.1. Przedmiot i zakres badań

Testy różnych sposobów wyrównania obserwacji GPS/RTK obejmowały porównanie wyników pomiarów wykonanych wielokrotnie w tym samym miejscu, na stacjach kontrolnych zlokalizowanych w Mosinie (ozn. RN, główna) i Poznaniu (PP, pomocnicza). Stacja poznańska oddalona jest o kilkaset metrów od obu komercyjnych stacji bazowych, a od najbliższej stacji ASG w Borówcu (BOR1) – ok. 17 km. Mosińska stacja testowa oddalona jest od Borówca o niemal 15 km zaś od stacji komercyjnych o ponad 17 km. W sieci ASG działa też stacja obsługiwana przez ZGiKM GEOPOZ, jednak pełni ona funkcję rezerwową i dlatego nie nawiązywano do niej omawianych tu pomiarów.

Zakres merytoryczny testów obejmował:

- 1) rozrzut wyników wielokrotnego pomiaru:
  - a) w rozwiązaniu sieciowym,
  - b) w nawiązaniu do 1 stacji ASG,
  - c) względem stacji komercyjnych,
- 2) rozrzut wyników w funkcji czasu,
- 3) wpływ odległości od anteny,
- 4) zależność między czasem pomiaru a jego dokładnością.

Obserwacje wykonywane w kilkugodzinnych cyklach:

- pomiary z poprawkami sieciowymi VRS nawiązane do stacji Poznań, Borówiec (BOR1) i Nowy Tomyśl (NWTM),
- pomiary z poprawkami w trybie MAC,
- pomiary względem macierzystej stacji referencyjnej – odpowiednio TPI-NET i Leica,
- pomiary w powiązaniu ze stacją lokalną (połączenie radiowe, odległość ok. 500 m).

Pomiary rejestrowano w układzie współrzędnych „2000” strefa 6, przy ustawionym błędzie współrzędnych płaskich po wyrównaniu  $\pm 0,01$  m i czasie pomiaru co najmniej 5 sekund.

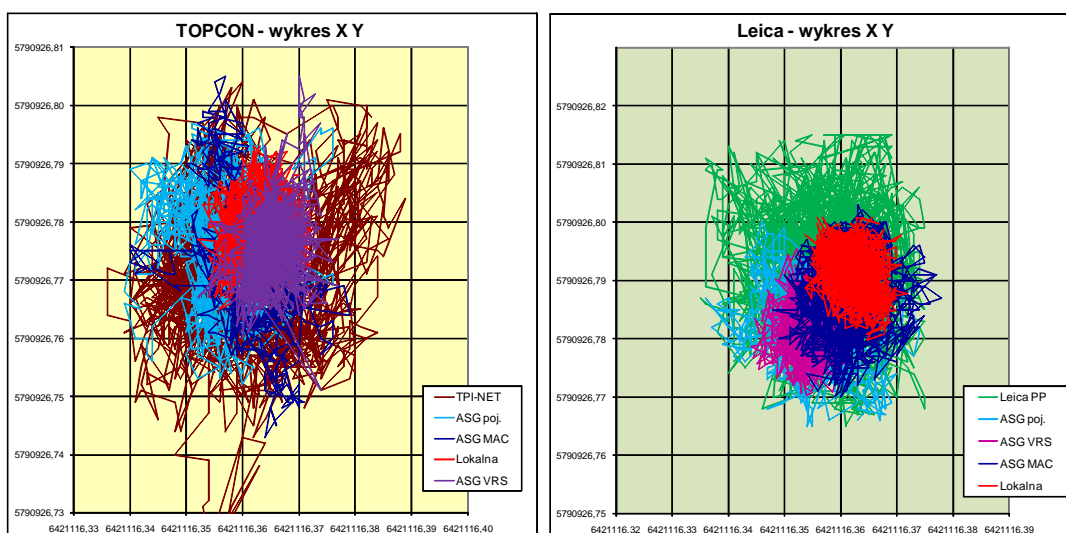
Do testów użyto odbiorniki TOPCON HiPer Pro oraz Leica Viva GS15.

#### 3.2. Wyniki testów porównawczych

Na rysunkach 2 pokazano zbiór wyników uzyskanych dla odbiorników TOCPON HiPer Pro (ozn. T) i Leica GS15 (ozn. L). Oba odbiorniki wykazały rozrzut wyników pomiaru nawiązanego do lokalnej stacji bazowej w zakresie  $\Delta x = \pm 0,010$  m i  $\Delta y = \pm 0,007$  m. Porównywalny (dla T) lub nieznacznie większy (L) rozrzut wykazały wyniki wyrównane w trybie VRS, a zdecydowanie gorsze

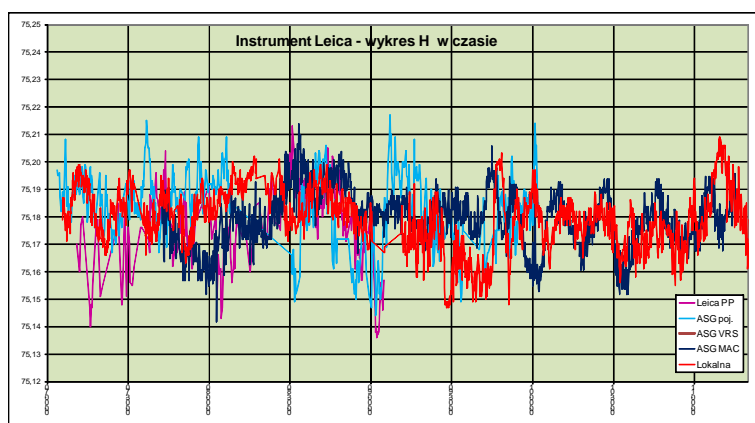
wyniki uzyskano w trybie MAC. W tym ostatnim rozwiązaniu wyraźnie mniejsze błędy uzyskano odbiornikiem L (rozzrut  $\Delta x = \pm 0,017$  m i  $\Delta y = \pm 0,015$  m) niż T ( $\Delta x = \pm 0,032$  m i  $\Delta y = \pm 0,018$  m). W nawiązaniu do pojedynczej stacji (odległej o ok. 17 km) pomiary odbiornikiem L mieściły się w granicach  $\Delta x = \pm 0,016$  m i  $\Delta y = \pm 0,016$  m, a odbiornikiem T odpowiednio:  $\Delta x = \pm 0,024$  m i  $\Delta y = \pm 0,019$  m. Uzyskane wyniki pokazują, że żaden z kilku tysięcy wykonanych pomiarów w dowolnym trybie wyrównania powierzchniowego nie przekracza błędu (rozzrutu) liniowego  $\Delta P = \pm 0,024$  m (odbiornik L) oraz  $\Delta P = \pm 0,037$  m (odbiornik T), co daje odpowiednio błędy średnie (dla przedziałów 5-sekundowych)  $mP = \pm 0,013$  m (L) i  $mP = \pm 0,018$  m (P), a więc znacznie lepiej niż jest to oczekiwane w jakichkolwiek przepisach technicznych. Jednakże trzeba mieć na uwadze, że wyniki te są obciążone zmiennymi w czasie kilkucentymetrowymi błędami systematycznymi.

Zdecydowanie gorszymi dokładnościami charakteryzują się wyniki pomiarów nawiązanych do stacji komercyjnych. Odbiornik L połączony ze stacją sieci Leica dawał rozrzuty w granicach  $\Delta x = \pm 0,024$  m i  $\Delta y = \pm 0,019$  m, czyli  $\Delta P = \pm 0,031$  m. Tymczasem pomiary odbiornikiem T (nawiązany do sieci TPI-NET) w jednej z serii pomiarowych „odeszły” od pozostałych o kilkanaście centymetrów. Jeśli je pominąć, uzyska się rozrzuty odpowiednio:  $\Delta x = \pm 0,029$  m,  $\Delta y = \pm 0,026$  m i  $\Delta P = \pm 0,039$  m, jeśli nie, to  $\Delta P = \pm 0,105$  m. Oznacza to mniej więcej tyle, że obserwacje nawiązane do tych stacji spełniają kryteria dokładnościowe stawiane pomiarom satelitarnym, jednak stacja TPI-NET wykazała pewną niestabilność. Być może przyczyny tego można szukać w użyciu stosunkowo starego zestawu odbiorników, podczas gdy w testach (L) stosowano najnowsze odbiorniki serii Viva (z roku 2010).



Rys. 2. Wyniki pomiarów testowych uzyskanych za pomocą odbiorników TOPCON HiPer Pro II (T) oraz Leica Viva GS15 (L).

Wykres 3 ilustruje zmienność wyników pomiaru wysokościowego odbiornikiem L.

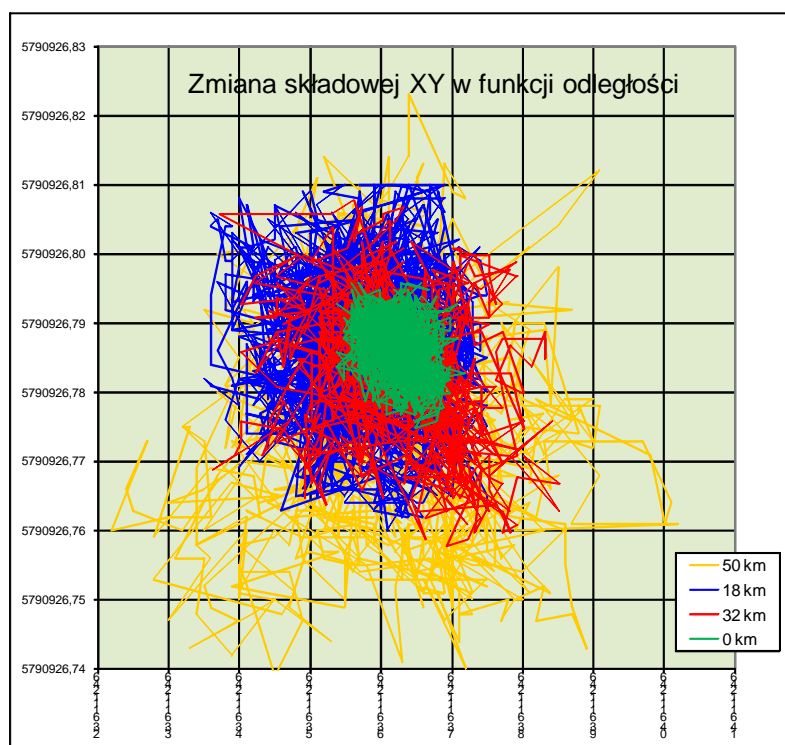


Rys. 3. Odchyłki wysokościowe pomiarów odbiornikiem Leica Viva GS15 (L).

Obserwacja powyższych wykresów prowadzi do zadziwiającego wniosku, że w zasadzie wszystkie metody korekcyjne prowadzą do podobnych dokładnościowo wyników różniących się między sobą w granicach  $\Delta H = \pm 0,040$  m. Charakterystyka rozkładu tych błędów w czasie obejmuje okresy, gdzie rozbieżności są bardzo zróżnicowane (wartości średnie przesunięte o 2-3 cm) i takie, kiedy zachodzi wyraźna zgodność między nimi. Na podstawie wyników omawianych testów można zatem stwierdzić, że uzyskanie zawartego w różnego rodzaju opisach i specyfikacjach prognozy dokładnościowego  $m_H = \pm 0,050$  m jest realne w każdym z wariantów wyrównania.

### 3.3. Wyniki testu na odległość od bazy

Aby określić zmiany dokładności pomiarów GPS/RTK wynikające ze zmiany odległości od stacji referencyjnej wykonano 4 serie pomiarów testowych z nawiązaniem do pojedynczej stacji. Testy wykonano odbiornikiem Leica Viva GS15 (L) z ustawieniami parametrów pracy takimi jak poprzednio. Rysunek 4 ilustruje rozrzut wyników pomiaru w rzucie na płaszczyznę x, y układu „2000”.



Rys. 4. Rozrzut wyników pomiaru GPS/RTK (L) w funkcji odległości, dla wektorów 18-, 32- i 50-kilometrowych, w porównaniu do wyników uzyskanych względem lokalnej stacji bazowej.

Wyniki potwierdzają zależność między odległością od anteny a dokładnością: podczas, gdy dla bliskiej anteny wyniki mieszczą się wewnątrz okręgu o promieniu 8 mm, to w granicach 18-32 km okrąg błędów ma promień 23-25 mm. Test dla odległości około 50 km od anteny bazowej dał wyniki mieszczące się wewnątrz okręgu o promieniu 40 mm. Podobna analiza wykonana dla składowej H wykazała wielkie podobieństwo rozrzutu wyników dla wszystkich testów (poza wyrównaniem na najbliższy punkt), to jest  $\Delta H = \pm 0,06$  m.

Respektując obawy twórców wspomnianych na wstępie oficjalnych zaleceń GGK [5] poprawne wydaje się stwierdzenie, że nawet w tak dużej odległości jak ta przyjęta w teście (tj. 50 km) można spodziewać się poprawnych wyników pomiaru większości szczegółów sytuacyjnych. Jak widać na wykresie, żaden z wyników nie odstaje znacząco od średniej, co świadczy o ich bardzo dużej spójności, a w konsekwencji utwierdza w przekonaniu o poprawności wyników pojedynczego, losowo wykonanego pomiaru.

### 3.4. Wyniki testu na czas trwania pomiaru

W celu określenia zależności błędu pomiaru od czasu jego trwania, przeprowadzono test obliczeniowy polegający na ocenie rozrzutu wyników i ich dokładności dla grup obserwacji obejmujących przedziały czasowe rejestracji: 5, 10, 20, 30, 45 i 60 sekund. Jako dane źródłowe posłużyły 4 bloki kilkudziesięciominutowych obserwacji odbiornikami T i L, w wersji nawiązania do pojedynczej stacji ASG oraz VRS. Typowe obserwacje trwały po około 7-11 sekund, zatem na wstępie przeliczono je drogą interpolacji na odcinki czasu 5- i 10-sekundowe. Następnie grupując, obliczono średnie wartości współrzędnych dla pozostałych przedziałów czasowych.

Tablica 1. Zmiany dokładności (rozrzutu) wyników pomiaru RTK w funkcji czasu rejestracji

	Syntetyczny czas pomiaru RTK na stanowisku (s)							Wzrost dokładności (%)				
	5	10	20	30	45	60		10	20	30	45	60
pomiar sytuacyjny												
T_poj.	0,039	0,037	0,035	0,035	0,033	0,031	mm	5	10	12	17	20
T_VRS	0,033	0,030	0,028	0,026	0,024	0,022	mm	10	18	23	29	34
L_poj.	0,021	0,017	0,016	0,015	0,014	0,013	mm	17	23	29	33	39
L_VRS	0,040	0,037	0,035	0,034	0,031	0,026	mm	7	13	16	22	35
	<b>0,033</b>	<b>0,031</b>	<b>0,029</b>	<b>0,027</b>	<b>0,025</b>	<b>0,023</b>	<b>mm</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>32</b>
Wysokości												
T_poj.	0,049	0,045	0,042	0,042	0,041	0,037	mm	7	14	14	16	23
T_VRS	0,061	0,058	0,054	0,050	0,044	0,045	mm	5	12	18	28	26
L_poj.	0,032	0,030	0,026	0,023	0,022	0,019	mm	7	19	28	33	40
L_VRS	0,049	0,047	0,042	0,041	0,034	0,034	mm	4	14	16	30	31
	<b>0,048</b>	<b>0,045</b>	<b>0,041</b>	<b>0,039</b>	<b>0,035</b>	<b>0,034</b>	<b>mm</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>27</b>	<b>30</b>

Wyniki zawarte w tablicy 1 zostały uśrednione i zapisane w tekście czcionką pogrubioną. Analizowane 4 serie pomiarów potwierdzają uznawane powszechnie przekonanie, że metodą RTK można uzyskać błąd poziomy pomiaru mniejszy niż  $\pm 0,03$  m oraz błąd wysokościowy – mniejszy niż  $\pm 0,05$  m. Zawarte w tabeli dane potwierdzają też tendencję do wzrostu dokładności (zmniejszenia rozrzutu) wyników od 10% przy przedłużeniu czasu z 5 do 10 sekund do 30% przy przedłużeniu do 60 sekund, czyli 12-krotnym wydłużeniu czasu prac polowych.

Uwzględniając fakt, że do analizy wykorzystano wstępnie przetworzone dane pomiarowe można sformułować intuicyjnie przyjmowany wniosek, że wydłużanie ilości obserwacji daje wzrost dokładności wielkości wynikowych, jednak nie jest to zależność liniowa. W efekcie – wydłużanie czasu pomiaru ponad doświadczalnie uznawane granice nie ma logicznego uzasadnienia. Jeśli pominąć typowe czynniki obniżające jakość pomiarów GPS, to w oparciu o uzyskane wyniki można stwierdzić, że:

- 1) technika RTK umożliwia uzyskanie wymaganych prawem dokładności zarówno w oparciu o poprawki sieci ASG jak i sieci lokalnych (komercyjnych),
- 2) pomiar w nawiązaniu do pojedynczej stacji może być wykonywany odpowiednio dokładnie przy większych odległościach niż podano w Zaleceniach GUGiK [5] – nawet ponad 30 km od stacji bazowej,
- 3) nie rozstrzygnięto, jakie rozwiązanie prowadzi do lepszych wyników, uznając, że zarówno MAC i VRS jak i niezbyt odległe nawiązanie jednopunktowe zapewniają uzyskanie dokładności przewidywanych w instrukcjach technicznych dla szczegółów I klasy dokładnościowej,
- 4) wydłużanie minimalnego czasu pomiaru ponad 5 sekund nie prowadzi do istotnego podniesienia jego dokładności, jak też nie gwarantuje zmniejszenia ryzyka wystąpienia błędu grubego.

#### 4. Wnioski końcowe

Uzyskane wyniki znajdują potwierdzenie w podobnych pracach (np. [6,7]) jak i w powszechnych oczekiwaniach wobec tej metody.

Komentując wywód przedstawiony w niniejszym opracowaniu, jak i wyniki pomiarów i obliczeń na danych testowych uzasadnione wydaje się uznanie, że na obecnym etapie wyznaczanie położenia punktu sposobem RTK gwarantuje uzyskanie zalecanych dokładności dla najbardziej wymagających pomiarów terenowych (punkty ewidencyjne, osnowy pomiarowe i punkty wspólne transformacji). Kryteria zalecane w urzędowych przepisach wydają się być zbyt wygórowane, przy czym przekroczenie ich nie powoduje zagrożenia istotnego spadku dokładności i wiarygodności wyników. Jednakże niedoświadczony operator odbiornika realizujący ściśle wspomniane zalecenia może być spokojny o odpowiednio wysoką jakość uzyskanych wyników.

#### Literatura

- [1] WYCZAŁEK I., Tryb RTK pomiarów satelitarnych gadżet czy rewelacja? *Geodeta*, 9 (40), 1998, s. 32-34.
- [2] RIZOS C., Network RTK research and implementation – A geodetic perspective, *Journal of Global Positioning Systems*, 1 (2), 2002, s. 144-150.
- [3] BOSY J., GRASZKA W., LEONCZYK M., ASG-EUPOS. A Multifunctional Precise Satellite Positioning System in Poland, *European Journal of Navigation*, 5 (4), 2007, s. 2-6.
- [4] FOTOPOULOS G., CANNON M.E., An overview of multi-reference station methods for cm-level positioning. *GPS solutions*, 4 (3), 2001, s. 1-10.
- [5] GUGiK, 2011: Zalecenia techniczne: “Pomiary satelitarne GNSS oparte na systemie stacji referencyjnych ASG/EUPOS”.
- [6] EDWARDS S., CLARKE P., GOEBELL S., PENNA N., An examination of commercial network RTK GPS service in Great Britain. *TSA report*, 2008, ([http://www.trimble.com/pdf/TSA\\_Report.pdf](http://www.trimble.com/pdf/TSA_Report.pdf), dost. 1.06.2011).
- [7] JARROUSH J., ADLER R., ZEIBAK M., Cadastre surveys with Real Time Kinematic GPS (RTK) as a basis for future survey regulations, FIG Working Week 2005 and GSDI-8, Cairo, Egypt, 16-21.04.2005.

#### INVESTIGATIONS ON USING SATELLITE SURVEYS AT RTK MODE REFERENCED TO ASG NETWORK AND LOCAL STATIONS

#### Summary

The paper presents practical tests of the accuracies of GNSS surveys made under RTK mode established for one or more stations of ASG EUPOS network. As a result of long-lasting surveys it was stated that, regardless of the time of a single measurement, adjustment method and the required accuracy of the group of situational details is obtained. Tests in function of a distance from the base have shown that the vectors to 30 km comparable results can be obtained. It can be stated that the research confirms the conservative attitude of the creators of technical recommendations for the measurements based on the ASG network.