

Andrzej Uznański

**ANALIZA PRECYZJI I DOKŁADNOŚCI
POZYCJONOWANIA PUNKTÓW NA BAZIE
SERWISU NAWGEO SYSTEMU ASG-EUPOS**

***ANALYSIS OF PRECISION AND ACCURACY
OF POINT POSITIONING BASED ON NAWGEO SERVICE
OF ASG-EUPOS SYSTEM***

Streszczenie

Uruchomienie w Polsce systemu ASG-EUPOS w maju 2008 r. spowodowało istotny wzrost wykorzystywania pomiarów satelitarnych w czasie rzeczywistym w geodezji. Parametry podawane przez odbiornik GPS/GNSS w zakresie jakości wyznaczonej przez niego pozycji nie są najczęściej wiarygodne. Ponadto często pojęcia precyzji i dokładności nie są rozróżniane znaczeniowo i stosowane jako synonimy. W pracy przedstawiono wyniki analizy precyzji i dokładności wyznaczania pozycji w pomiarach Real Time Network z wykorzystaniem serwisu NAWGEO systemu ASG-EUPOS. Istotnym aspektem zastosowanej technologii testowej był projekt lokalizacji punktów testowych oraz wykorzystanie dokładnych pomiarów naziemnych do kontroli jakości współrzędnych referencyjnych punktów testowych, które obliczono z pomiarów statycznych GPS. Wnioski z testów sformułowano na podstawie 4475 pomiarów RTN wykonanych w 149 seriach pomiarowych na 27 punktów testowych. Na podstawie wyników pomiarów testowych stwierdzono wysoką precyzję wyznaczanych pozycji punktów w pomiarach RTN. Natomiast ich dokładność była istotnie niższa, szczególnie w przypadku wyznaczonych wysokości punktów. Zaobserwowano też tendencje do otrzymywania rozwiązań z kilkucentymetrowymi błędami systematycznymi, które ograniczają możliwość zwiększenia pewności co do jakości wyników pomiaru punktu na podstawie uśredniania powtarzanych nad punktem pomiarów RTN.

Słowa kluczowe: sieciowe pomiary kinematyczne w czasie rzeczywistym, ASG-EUPOS, NAWGEO, precyzja, dokładność

Summary

The launching of ASG-EUPOS system in Poland in May 2008 resulted in a significant increase in the use of satellite real-time measurements in surveying. The parameters provided by the GPS/GNSS receiver in the scope of quality of the determined position are mostly unreliable. Moreover, the concepts of precision and accuracy are frequently not distinguished in their meaning and used as synonyms. The paper presents the results of the analysis of precision and accuracy in determining position in Real Time Network measurements using NAWGEO service of ASG-EUPOS system. An important aspect of the applied testing technology was the design of test point location and the use of accurate ground-based measurements for quality control of the reference coordinates of test points, which were calculated from the GPS static measurements. The conclusions from the tests were based on 4475 RTN measurements carried out in 149 test runs on 27 test points. Based on the results of the test measurements, high precision of the determined positions of the points in the RTN measurements was identified. However, their accuracy was significantly lower, particularly for the determined heights of the points. Tendencies were observed to obtain solutions with a few-centimeter biases that limit the possibility of increasing confidence regarding the quality of the results of point measurement based on the averaging of the RTN measurements repeated over the point.

Key words: Real Time Network, ASG-EUPOS, NAWGEO, precision, accuracy

WPROWADZENIE

System ASG-EUPOS (Aktywna Sieć Geodezyjna European Position Determination System) [www.aseupos.pl] jest systemem wspomagającym wyznaczenie pozycji punktów z pomiarów satelitarnych. Tego typu rozwiązanie, w postaci sieci naziemnych stacji referencyjnych pracujących permanentnie określane jest mianem CORS (Continuously Operating Reference Stations) i zaliczane do grupy systemów satelitarnych GBAS (Ground Based Augmentation Systems) wspomagających z Ziemi globalne systemy pozycjonowania GPS. Powszechnie wykorzystywane są dwa systemy nawigacji satelitarnej o zasięgu globalnym: NAVSTAR i GLONASS. Wyznaczanie współrzędnych punktów w oparciu o więcej niż jeden system GPS klasyfikowane jest jako rozwiązanie typu GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Pierwszym systemem GBAS w Polsce o zasięgu regionalnym była Małopolska Sieć Pozycjonowania Precyzyjnego (MSPP) [www.gps.malopolska.pl/], obejmująca obszary województw śląskiego i małopolskiego. Realizacja systemu ASG-EUPOS umożliwiła wdrożenie w całej Polsce sieciowych pomiarów kinematycznych w czasie rzeczywistym RTN (Real Time Network).

Celem pracy jest analiza precyzji i dokładności wyznaczania pozycji z wykorzystaniem serwisu NAWGEO systemu ASG-EUPOS. Podobnie jak w przypadku funkcjonującej od września 2006 r. Małopolskiej Sieci Pozycjo-

nowania Precyzyjnego (MSPP), opartej na tych samych rozwiązaniach firmy Trimble, co i wdrożone w systemie ASG-EUPOS, szacowana dokładność wyznaczania współrzędnych sytuacyjnych punktów określona została jako nie gorsza niż 3 cm, a dokładność wyznaczania wysokości jako nie gorsza niż 5 cm, przy poziomie ufności wynoszącym 99.9% [www.gps.malopolska.pl].

W testach wykorzystano strumienie danych dostępne w najpopularniejszym serwisie NAWGEO i protokole RTCM v.3.1: Master Auxiliary Concept (MAC), Virtual Reference Station (VRS) oraz danych z najbliższej stacji referencyjnej (POJ).

Wnioski z testów sformułowano na podstawie 4475 pomiarów RTN 27 punktów testowych. Podstawą analiz były różnice współrzędnych z pomiarów RTN w stosunku do dokładnych współrzędnych punktów testowych obliczonych z pomiarów statycznych, których jakość ustalono na podstawie dokładnych pomiarów naziemnych. W przypadku użycia do pomiarów naziemnych precyzyjnych instrumentów klasycznych możliwe jest uzyskanie dokładności pomiaru odległości oraz wyznaczenie wysokości punktów z dokładnością wyższą niż 1 mm.

PROJEKT LOKALIZACJI PUNKTÓW TESTOWYCH I WYKONANE POMIARY

Lokalizację stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS starano się zaprojektować tak, aby równomiernie pokrywały obszar całego kraju, a odległość odbiornika GPS użytkownika do najbliższej z nich nie przekraczała 35 km. Wprawdzie nie wszędzie to kryterium udało się spełnić, jednakże odstępstwa są sporadyczne. Lokalizację punktów testowych zaprojektowano tak, aby znajdowały się one na 3 różnych kierunkach od stacji KRAW w Krakowie. Punkty na danym kierunku stabilizowano w 3 grupach odległych od stacji KRAW kolejno o około 12 km, 21 km i 35 km (rys. 1). Każda grupa składa się z 3 punktów stabilizowanych w odległościach wzajemnych od kilkunastu do ok. 100 metrów, z zachowaniem wizur między nimi. Odległość minimalną grupy punktów od stacji KRAW dobrano na granicy dokładnego rozwiązania wektora w odniesieniu do fizycznej stacji referencyjnej. Odległość maksymalna wynikała ze wspomnianych założeń projektowych lokalizacji stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS.

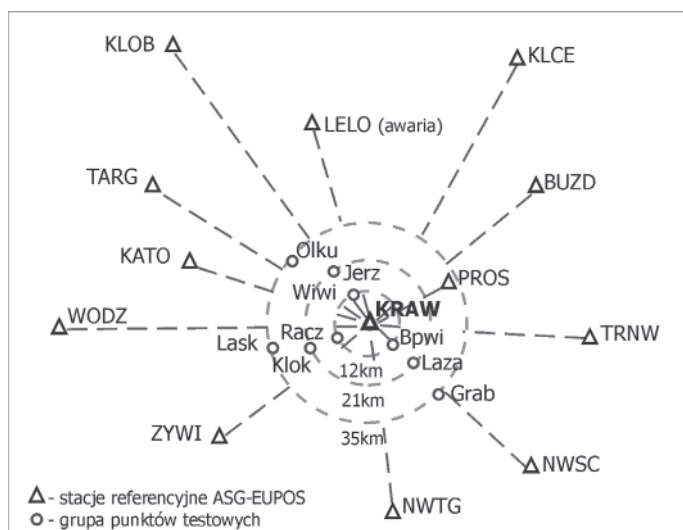
Dla punktów testowych wykonano omówione poniżej pomiary.

Stacyjne GPS (STS GPS), w ramach 3 sesji statycznych GPS, przeprowadzanych równocześnie 9 odbiornikami firmy Leica: 3 odbiorniki SR399E, 1 odbiornik SR9500, 3 odbiorniki SR530 oraz 2 odbiorniki GX1230GG. W trakcie danej sesji pomiarem objęte były wszystkie punkty znajdujące się na jednym z trzech kierunków od stacji KRAW. Sesje statyczne GPS trwały od minimum 7 do 10 godzin. Pomiary STS GPS nawiązano do stacji referencyjnych

systemu ASG-EUPOS. W dniach realizacji pomiarów awarii uległa stacja LELO.

Tachymetryczne wykonano precyzyjnym instrumentem Leica TCA2003 o dokładności odczytu kątów poziomych i pionowych wynoszącą 0,5" i dokładności pomiaru odległości 1mm + 1ppm. Pomiar wykonywano w minimum 3 seriach, odległości między punktami umożliwiały bardzo dokładne celowanie, a oprogramowanie tachymetru obliczało jakość pomiarów kątowych na stanowisku.

Niwelację precyzyjną prowadzono niwelatorem kodowym DNA03 charakteryzującym się odchyleniem standardowym pomiaru wysokości 0.3 mm/km, przy użyciu łat inwarowych.



Rysunek 1. Szkic punktów testowych i stacji referencyjnych
Figure 1. Sketch of test points and reference stations

A RTN wykonano z wykorzystaniem sygnałów satelitów NAVSTAR GPS, jednym odbiornikiem GX1230GG wyposażonym w moduł Siemens MC75 na bazie strumieni danych serwisu NAWGEO wykorzystujących protokoły RTCM w wersji 3.1: RTCM_3_1_MAC (Master Auxiliary Concept), RTCM_3_1_VRS (Virtual Reference Station), RTCM_3_1_POJ (najbliższa stacja referencyjna wybierana przez system ASG-EUPOS automatycznie), RTCM_3_1_MAC przy wyborze w odbiorniku GPS w opcji Ref. Network rozwiązania sieciowego VRS (MACvrs). W procedurze pomiarowej wykonywano serię 30 pomiarów trwających przeciętnie 6 jednosekundowych epok w odniesieniu do ww. strumieni danych sieciowych – poprawek korekcyjnych i obser-

wacji wirtualnych. Po pomiarze na trzecim, ostatnim punkcie w grupie, przeprowadzano jeszcze raz pomiar na punkcie mierzonym jako pierwszy w grupie przy użyciu obserwacji VRS i danych MAC (obserwacje stacji głównej i korekty dla stacji pomocniczych), jako najczęściej wykorzystywanych przez użytkowników. W sumie wyznaczono 4475 pozycji 27 punktów testowych w 149 seriach pomiarowych. W kilku przypadkach wyznaczonych pozycji w serii było nieco powyżej 30. Natomiast dla punktu RACZ01 seria pomiarów powtórnych VRS liczyła 26 pozycji ze względu na pojawienie się problemu z dostępnością danych z sieci ASG-EUPOS.

Pomiary naziemne były podstawą określenia jakości współrzędnych referencyjnych punktów testowych obliczonych z pomiarów statycznych GPS.

WYZNACZENIE I KONTROLA JAKOŚCI WSPÓLRZĘDNYCH REFERENCYJNYCH PUNKTÓW TESTOWYCH

Teorię jakości sieci geodezyjnych ujętą pojęciami precyzji, dokładności oraz niezawodności sformułował W. Baarda [Baarda 1967, Baarda 1968]. Była ona rozwijana przez P. Teunissena oraz jego współpracowników z TU w Delft w licznych pracach, m.in. [Teunissen 1998]. Przykład testowy metody zaimplementowanej w programie Leica Geo Office [Leica Geosystems, 2008] można znaleźć w [Uznański 2008].

Pojęcie precyzji dotyczy bliskości powtarzanych obserwacji wokół średniej z próbki, natomiast dokładność odnosi się do bliskości obserwacji wokół wartości prawdziwej. Zazwyczaj wartość prawdziwa nie jest znana i posługujemy się wartością najbardziej prawdopodobną. W metodzie najmniejszych kwadratów wprowadzone jest odchylenie standardowe, które wyraża stochastyczną zmienność obserwacji. Precyzja sieci może być zdefiniowana jako wpływ zmienności stochastycznej obserwacji sieci na współrzędne jej punktów. Do prezentacji precyzji stosowane są także absolutne i względne elipsy błędów standardowych, zwane elipsami ufności.

Niezawodność może być określona jako zdolność do wykrycia obserwacji obciążonych błędem grubym lub systematycznym i określana jest wówczas mianem niezawodności wewnętrznej. Estymacja wpływu nie wykrytych błędów grubych i systematycznych na estymowane wielkości określana jest jako niezawodność zewnętrzna.

Idea procedury testowej zakładała wykorzystanie własnych punktów testowych, których współrzędne należało wyznaczyć jak najdokładniej, gdyż miały one mieć charakter współrzędnych referencyjnych dla pomiarów RTN.

Wyniki obliczeń sieci satelitarnych w zakresie estymacji jakości rozwiązania są zbyt optymistyczne. Informacje w tym aspekcie, adekwatne do tematyki niniejszego opracowania można znaleźć już w [Baran, Zieliński 1997]. Z tego

powodu konieczne było wykorzystanie dokładnych pomiarów tachymetrycznych i niwelacyjnych w celu kontroli jakości rozwiązania sieci wektorów GPS.

Obliczenia pomiarów satelitarnych, tachymetrycznych i niwelacyjnych wykonano w programie Leica Geo Office v.7.0. Postprocessing wektorów GPS pomierzonych w sesjach statycznych przeprowadzony został z wykorzystaniem precyzyjnych orbit satelitów oraz parametrów kalibracyjnych anten GPS ustawionych nad wykorzystanymi w pomiarach punktami referencyjnymi systemu ASG-EUPOS oraz anten GPS użytych w pomiarach testowych [www.ngs.noaa.gov/orbits/]. Wysokości normalne punktów wyznaczono w oparciu o model Geoida Niwelacyjna 2001 oraz pomierzone przewyższenia między punktami.

Ocenę jakości pomiarów statycznych oraz jakość obliczonych na ich podstawie współrzędnych oparto na analizie wyników postprocessingu oraz wyrównania wektorów GPS, porównania zredukowanych długości wektorów GPS oraz zredukowanych wyników pomiarów tachymetrem TCA2003, porównania różnic wysokości elipsoidalnych i wyników niwelacji precyzyjnej instrumentem DNA03.

Precyzja wyznaczenia współrzędnych punktów testowych była wysoka. Wartości odchyłeń standardowych dla współrzędnych sytuacyjnych były na poziomie poniżej 1 mm (średnio 0.5mm), a dla wysokości na poziomie 2 mm. Wartości obliczonej niezawodności zewnętrznej są dla poszczególnych współrzędnych analogiczne do wartości odchyłeń standardowych, wskazując na dużą „czułość” testów statystycznych w detekcji błędów we współrzędnych punktów. Świadczy to o małych błędach losowych w obserwacjach, gdyż w przeciwnym przypadku poziom detekcji testów statystycznych byłby na mniej rygorystycznym poziomie [Uznański 2008].

Niezależna kontrola wyników opracowania pomiarów satelitarnych STS GPS zrealizowana instrumentami klasycznymi potwierdziła ich wysoką jakość. Wyniki pomiarów tachymetrem elektronicznym i niwelatorem kodowym dla pomiarów GPS można uznać za praktycznie bezbłędne, gdyż charakteryzują się dokładnością pomiaru o rząd wielkości wyższą. Porównywano wyznaczone długości wektorów GPS oraz odpowiadające im odległości z pomiarów instrumentem TCA2003. Z 27 punktów dla 14 różnice te były mniejsze od 1 mm, a dla pozostałych 13 punktów nie przekroczyły 2 mm.

Z pomiarów satelitarnych obliczone zostały wysokości elipsoidalne. Na podstawie modelu Geoida Niwelacyjna 2001 możliwe było wyznaczenie dla punktów testowych wysokości normalnych. Z niwelacji precyzyjnej obliczone zostały przewyższenia między punktami w danej grupie. Dla jednego z punktów w danej grupie wyznaczano wysokość normalną z modelu Geoidy Niwelacyjnej 2001, a wysokości pozostałych punktów wyznaczano na podstawie przewyższeń pomierzonych niwelatorem cyfrowym DNA03. Wartości różnic między różni-

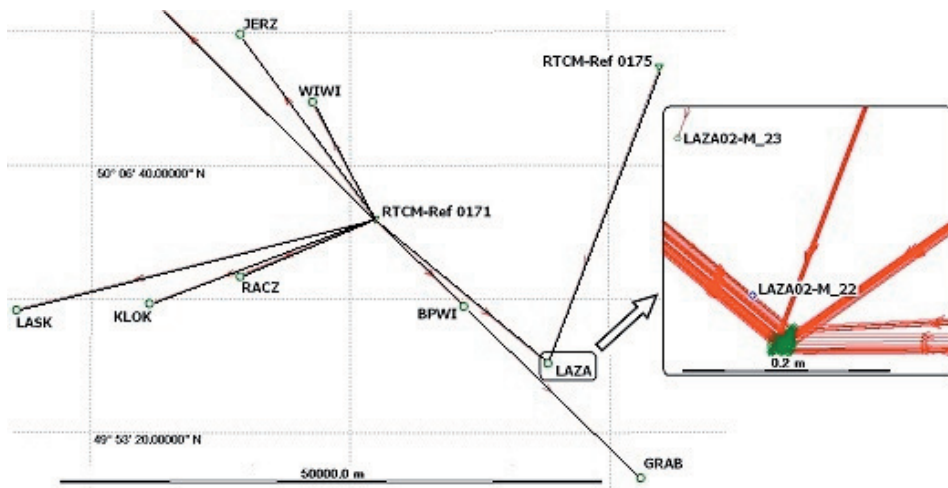
camy wysokości elipsoidalnych punktów z pomiarów STS GPS oraz przewyższeń niwelacyjnych (1) nie przekroczyły 2.5 mm.

$$Dh = Dh^{DNA03} - Dh^{STSGPS} \quad (1)$$

Z analizy opracowanych pomiarów STS GPS wynika, że wyznaczone współrzędne punktów testowych z satelitarnych pomiarów statycznych można przyjąć za dokładne i użyć jako współrzędnych referencyjnych do porównań ze współrzędnymi z pomiarów RTN.

ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW RTN

Pomiary RTN zostały wykonane na 27 punktach w 149 trzydziestoelementowych seriach. Analizie poddano 4475 pozycji punktów testowych. Z całego testu usunięto dwa odstające pomiary (rys. 2). Pierwszy pomiar odstający wystąpił na punkcie LAZA02 jako 22 w serii pomiarowej i był ostatnim przed automatyczną zmianą stacji referencyjnej w serwisie RTCM_3_1_MAC



Rysunek 2. Wpływ automatycznej zmiany stacji referencyjnej systemu ASG-EUPOS na obliczone współrzędne punktu [Leica Geo Office, ver.7.0]

Figure 2. The influence of an automatic change of the ASG-EUPOS reference station upon the calculated coordinates of the point [Leica Geo Office, ver.7.0]

z KRAW na PROS. Dla następnego pomiaru odbiornik GPS obliczył tylko rozwiązanie kodowe. Był to jedyny taki przypadek we wszystkich pomiarach. W kolejnych rozwiązaniach tego punktu po zmianie stacji referencyjnej nie

można dostrzec czynnika systematycznego. Podobne zdarzenie automatycznej zmiany stacji referencyjnej miało miejsce na punkcie sąsiednim LAZA01, ale w tym przypadku nie zarejestrowano pozycji odstających z tego powodu. Z informacji uzyskanych z Centrum Zarządzającego systemem ASG-EUPOS wynika, że w raportach wygenerowanych przez oprogramowanie Trimble Infrastructure Software oraz przez moduły udostępniające dane dla użytkowników nie ma sygnałów o problemach w działaniu stacji KRAW.

Zestawienie ekstremalnych wartości obliczonych różnic współrzędnych oraz odchyłeń standardowych w analizie precyzji i dokładności całego pomiaru zawiera tabela 1.

Tabela 1. Wartości ekstremalne różnic współrzędnych w analizie precyzji i dokładności
Tabela 1. Extreme values of the coordinate differences in the analysis of precision and accuracy

| Statystyka [mm] | P_ΔY | D_ΔY | P_ΔX | D_ΔX | P_ΔHel. | D_ΔHel. |
|----------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Przedział | [-15, 14] | [- 23, 30] | [-15, 16] | [-27, 72] | [-27, 33] | [-53, 84] |
| Odchylenie standard. | 2 | 7 | 4 | 12 | 6 | 19 |

Precyzja dla całej badanej próby testowej zawarła się dla współrzędnych sytuacyjnych w przedziale od -0.015 m do 0.015 m, przy czym ponad 96% rozwiązań różniło się od wartości średniej o nie więcej niż ± 5 mm. Zakres wartości różnic w analizie dokładności pomiarów RTN był istotnie większy. Dwukrotnie większy zakres przedziału precyzji wysokości w stosunku do zakresów przedziałów współrzędnych sytuacyjnych potwierdza ogólnie formułowaną relację dokładności tych współrzędnych.

Informacje z histogramów dokładności pomiarów RTN zawiera tabela 2. Dla większej czytelności danych w tabeli wartości zerowe zastąpiono kreską. W przypadku współrzędnej X widoczny jest wyraźnie błąd systematyczny. Stwierdzono zerową częstość wystąpień w przedziale $\pm 40 \div \pm 50$ mm przy 60 pomiarach o jeszcze mniejszej dokładności. Szczegółowa analiza serii pomiarowych wykazała, że są to całe 2 serie pomiarowe na punkcie OLKU01, strumienie POJ oraz MAC (rys. 3). W przypadku współrzędnych sytuacyjnych analiza precyzji i dokładności wskazuje na występowanie różnic współrzędnych o zbliżonych wartościach, z wyjątkiem wspomnianych 2 z 149 serii pomiarowych. Istotna jest jednakże różnica liczebności w poszczególnych przedziałach wskazująca na niższą dokładność pomiarów RTN. O ile ponad 96% wyników ma precyzję nie gorszą niż 5 mm, o tyle analogiczną dokładność ma mniej niż 2/3 pomiarów. Dla wysokości rozbieżności są większe. Nieco ponad 2/3 pomiarów charakteryzowało się precyzją wyznaczenia wysokości na poziomie do 5 mm, ale w przypadku dokładności w analogicznym przedziale znalazła się mniej niż co piąta wartość. Wartości ekstremalne różnic wysokości w analizie dokładności są ponad

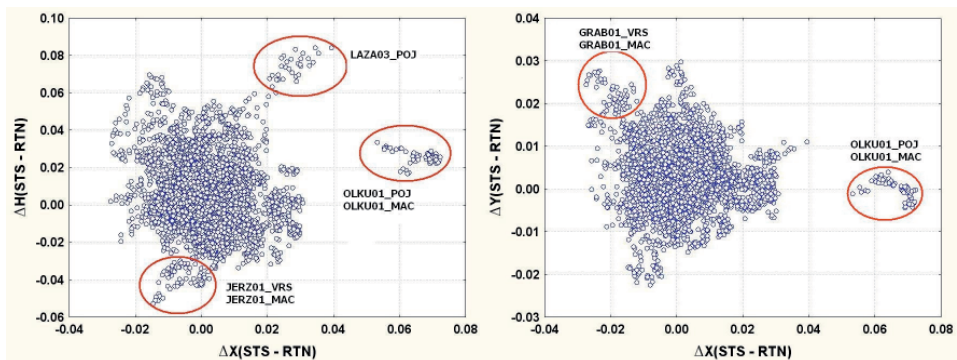
dwukrotnie większe niż w przypadku precyzji pomiarów. Wystąpiły również całe serie pomiarowe, w których można dostrzec czynnik systematyczny o wartości kilku centymetrów (rys. 3). Częściej, niż w co dziesiątym pomiarze dokładność wysokości punktu znalazła się w przedziale, w którym nie było już wartości w analizie precyzji.

Tabela 2. Udział liczbowy i procentowy precyzji (P) i dokładności (D) współrzędnych w przedziałach

Tabela 2. Numerical and percentage share of precision (P) and accuracy (D) of the coordinates in intervals

| Współrzędna Przedział [mm] | ΔY | | | | ΔX | | | | ΔH | | | |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | P | P % | D | D% | P | P % | D | D% | P | P % | D | D% |
| ± 5 | 4301 | 96.1 | 2834 | 63.3 | 3872 | 86.5 | 2053 | 45.9 | 3047 | 68.1 | 845 | 18.9 |
| (0, -5) ∪ (5, 10) | 159 | 3.6 | 981 | 21.9 | 520 | 11.6 | 1176 | 26.3 | 1008 | 22.5 | 930 | 20.8 |
| (-20, -10] ∪ [10, 20) | 14 | 0.3 | 570 | 12.7 | 82 | 1.8 | 909 | 20.3 | 384 | 8.6 | 1471 | 32.9 |
| (-30, -20] ∪ [20, 30) | - | - | 89 | 2.0 | - | - | 264 | 5.9 | 30 | 0.7 | 701 | 15.7 |
| (-40, -30] ∪ [30, 40) | - | - | - | - | - | - | 12 | 0.3 | 5 | 0.1 | 309 | 6.9 |
| (-50, -40] ∪ [40, 50) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 127 | 2.8 |
| (-70, -50] ∪ [50, 70) | - | - | - | - | - | - | 43 | 1.0 | - | - | 71 | 1.6 |
| (-90, -70] ∪ [70, 90) | - | - | - | - | - | - | 17 | 0.4 | - | - | 20 | 0.4 |

Na rysunku 3 oznaczono elipsami kilka przykładów trzydziestoelementowych serii pomiarowych, których wyniki istotnie różniły się od współrzędnych referencyjnych z pomiarów STS GPS. Cechą charakterystyczną dla serii pomiarów RTN jest ich duża precyzja i mniejsza dokładność obliczonych współrzędnych punktów.



Rysunek 3. Wykresy rozrzutu różnic współrzędnych w analizie dokładności [Statistica wer.9]
Figure 3. Diagrams of scattering coordinate differences in accuracy analysis [Statistica ver.9]

PODSUMOWANIE

Sieciowe pomiary kinematyczne w czasie rzeczywistym RTN (Real Time Networks) są najszybszym i najbardziej ekonomicznym sposobem prowadzenia pomiarów geodezyjnych. Przeprowadzenie pomiaru jednoosobowo jest możliwe w zasadzie tylko w tej technice pomiarowej. Współrzędne punktu można uzyskać bezpośrednio w terenie nawet w ułamku sekundy. Dane z systemu ASG-EUPOS aktualnie są udostępniane nieodpłatnie.

Podstawowym mankamentem pomiarów RTN wpływającym na spektrum możliwych zastosowań jest dokładność współrzędnych punktów, istotnie niższa niż możliwa do osiągnięcia z pomiarów tachymetrami elektronicznymi. Do innych mankamentów pomiarów RTN należy zaliczyć wymóg odkrytego horyzontu wokół mierzonego punktu, wrażliwość na zakłócenia sygnałów satelitarnych, wątpliwości, co do niezawodności obliczonych współrzędnych z tak krótkich pomiarów, konieczność łączenia się odbiornika GPS poprzez sieć GSM z Casterem systemu ASG-EUPOS, problemy z dostępem do danych z systemu ASG-EUPOS powodujące przestoje w realizacji pomiarów. Na obszarze objętym pomiarem, występowały bardzo częste problemy z dostępnością danych z systemu ASG-EUPOS. Najczęstsze i najdłuższe przerwy w prowadzeniu pomiarów RTN zdarzały się w godzinach 10:00 – 13:00 i dotyczyły zawsze obserwacji VRS, często także danych MAC, a zdarzało się, że pomiarów w ogóle nie można było wykonywać. Problemy z danymi ASG-EUPOS występowały także w innych godzinach.

Analiza wyników pomiarów testowych wykazała bardzo dużą precyzję wyznaczania pozycji punktów niezależnie od wybranego rodzaju danych sieciowych. Dla pozycji sytuacyjnych obliczonych ze współrzędnych X oraz Y pomiary o precyzji na poziomie ± 1 cm stanowią 97.1% wszystkich 4475 pomiarów. Natomiast dla wysokości w analogicznym przedziale znalazło się 90.6% rozwiązań. W przypadku badania dokładności wyznaczania pozycji poziomej punktów w przedziale ± 1 cm znalazło się 58.4% rozwiązań, a dla wysokości 39.5% pomiarów. W tabeli 3 zestawiono procentowy udział rozwiązań w przedziale do 1 cm i w przedziale od 1 do 2 cm w analizie precyzji i dokładności. Ze względu na istotne zróżnicowanie dokładności wyznaczania pozycji poziomej punktów i wysokości, w danych tabeli dokonano odpowiedniego podziału. W przypadku wysokości punktów analiza dotyczy wartości bezwzględnych różnic wysokości.

Ważnym spostrzeżeniem z analizy wyników pomiarów jest możliwość otrzymywania błędów systematycznych o wartości kilku centymetrów. Przy czym istotność wniosku polega na tym, że cały strumień danych daje rozwiązania obciążone czynnikiem systematycznym. Kontrolny, kolejny pomiar na punkcie, nie przyniesie żadnej poprawy dokładności wyniku uśrednionego.

Tabela 3. Udział procentowy rozwiązań w przedziałach
Tabela 3. Percentage share of solutions in intervals

| Wielkość | XY precyzja | H precyzja | XY dokładność | H dokładność |
|----------|-------------|------------|---------------|--------------|
| ± 1 cm | 97.1 % | 90.61% | 58.37% | 39.53% |
| (10, 20] | 99.95% | 99.20% | 89.05% | 72.54% |

BIBLIOGRAFIA

- Baarda W. *Statistical concepts in geodesy*. Publication on Geodesy, New Series, Netherlands Geodetic Commission, vol. 2, No 4, Delft 1967, 74 ss.
- Baarda W. *A testing procedure for use in geodetic networks*. Publication on Geodesy, New Series, Netherlands Geodetic Commission, vol. 2, No 5, Delft 1968, 97 ss.
- Baran L.W., Zieliński J.B. *Geodetic reference Frame in Poland – national Report for 1996*. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Sofia, 4 – 7 June 1997, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Astronomisch-Geodätische Arbeiten, Heft Nr 58, München 1997, s. 191 - 194.
- Leica Geosystems *Leica Geo Office v. 7.0. Program documentation*. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2008.
- Teunissen P.J.G. *Minimal detectable biases of GPS data*. Journal of Geodesy 72, 1998, s. 236-244.
- Uznański A. *Quality Control of geodetic network at Leica Geo Office*. Geomatics and Environmental Engineering, vol. 2, no. 1, AGH University of Science and Technology Press, Cracow 2008, s. 77 - 84.
- www.asgeupos.pl/
www.gps.malopolska.pl/
www.ngs.noaa.gov/orbits/

Dr inż. Andrzej Uznański
 auznan@agh.edu.pl
 tel. 012 617 23 14

Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa
 Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
 Akademia Górniczo-Hutnicza
 al.Mickiewicza 30
 30-059 Kraków