

Kamil KRASUSKI¹

WYKORZYSTANIE PROGRAMU TRIMBLE RTX-PP DO WYZNACZENIA WSPÓŁRZĘDNYCH STACJI REFERENCYJNEJ

W artykule przedstawiono rezultaty badań dotyczących wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnej RYKI na podstawie obserwacji GPS w programie Trimble RTX-PP. Obliczenia zrealizowano w serwisie Trimble RTX-PP dla dwuczęstościowych obserwacji kodowo-fazowych z odbiornika Trimble NetRS. Model matematyczny wyznaczenia pozycji w oparciu o kombinację liniową Ionosphere-Free w serwisie Trimble RTX-PP został zaprezentowany oraz opisany. Wstępne rezultaty badań pokazują, iż błędy średnie dla współrzędnych geocentrycznych stacji referencyjnej RYKI nie przekraczają 1 cm na przestrzeni kilku dni pomiarowych. Dodatkowo w pracy przedstawiono błędy średnie współrzędnych dla innych stacji referencyjnych z województwa lubelskiego. W artykule również współrzędne wszystkich stacji referencyjnych w układzie ITRF2008 zostały przetransformowane do układu ETRF2000 i porównane z wartościami katalogowymi.

Słowa kluczowe: GPS, błąd średni, dokładność, kombinacja liniowa Ionosphere-Free

1. Wprowadzenie

Na przełomie 2007 i 2008 rozpoczęto budowę systemu precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego dla obszaru Polski (w skrócie ASG-EUPOS). Obecnie system ASG-EUPOS składa się z ponad 120 stacji referencyjnych (jedno- lub dwusystemowych) równomiernie rozmieszczonych na terytorium Polski [9]. W ramach stacji systemu ASG-EUPOS można wyróżnić stacje referencyjne tworzące podstawową osnowę fundamentalną (stacje ASG-EUPOS wchodzące w skład sieci EPN, osnowa 1 klasy) oraz stacje referencyjne tworzące podstawową osnowę bazową (pozostałe stacje ASG-EUPOS, osnowa 2 klasy). O przynależności do danej klasy osnowy decyduje w głównej mierze dokładność wyznaczenia współrzędnych horyzontalnych i wysokości geodezyjnej [8].

Na bazie wszystkich istniejących i pracujących permanentnie stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS następuje przeniesienie układu geocentrycznego

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Kamil Krasuski, Starostwo Powiatowe w Rykach, Wydział Geodezji, Kartografii i Katastru Nieruchomości, +48818657487, e-mail: kk_deblin@wp.pl

ETRF2000 na obszar Polski (tzw. układ odniesienia PL-ETRF2000 na epokę 2011.0) [5, 8]. Najważniejszymi zadaniami systemu ASG-EUPOS w ramach realizacji układu PL-ETRF2000 są m. in.: zapewnienie ciągłości rozwiązania współrzędnych w rozwiązaniu dobowym (również w tygodniowym i miesięcznym); zapewnienie wiarygodności i wysokiej dokładności wyznaczanych współrzędnych; utrzymanie i konserwacja układu PL-ETRF2000; zapewnienie nawiązania dla odbiorników ruchomych, pracujących w trybie RTK lub RTN i wykorzystywanych w pracach geodezyjnych. Współrzędne stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS są podane na stronie internetowej [10] i na bieżąco zaktualizowane w nagłówkach zbiorów obserwacyjnych RINEX.

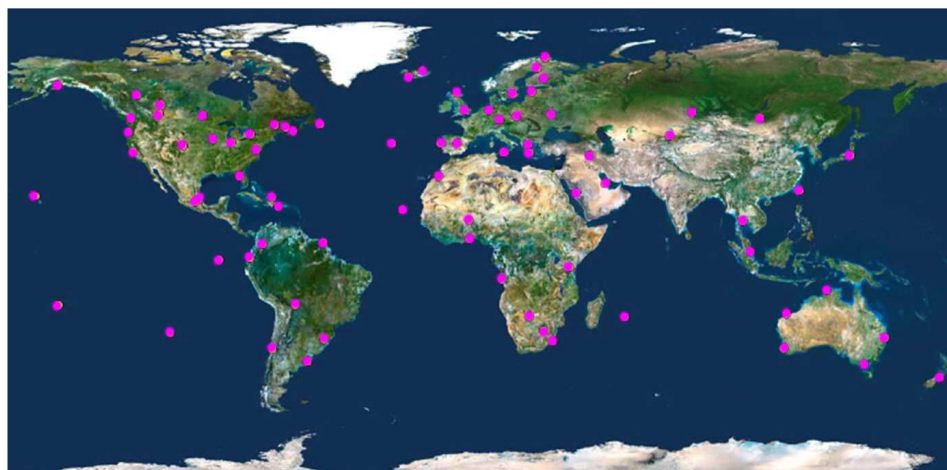
Wiarygodność wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS może być również uzyskana z wykorzystaniem komercyjnych programów geodezyjnych takich, jak Trimble RTX-PP (ang. RTX Post-Processing). Szczególnie jest to ważne w przypadku odzwierciedlenia stanu faktycznego wyznaczanych współrzędnych na dany moment czasu rejestracji obserwacji satelitarnych. W takim rozwiązaniu współrzędne stacji referencyjnej są wyznaczone zazwyczaj w układzie ortokartezjańskim ECEF i przy zastosowaniu współczynników transformacji Helmerta (transformacja 7- i 14-parametrowa) mogą być wyrażone w konkretnej realizacji układu ETRF [1]. Serwis Trimble RTX-PP umożliwia wyznaczenie współrzędnych stacji referencyjnej w układzie globalnym ITRF lub układzie geocentrycznym o zasięgu kontynentalnym (np. układ odniesienia NAD dla Ameryki Północnej) [2].

Serwis Trimble RTX-PP jest darmową aplikacją działającą 24 godziny na dobę jako serwer czasu rzeczywistego, stworzonym przez firmę Trimble. Serwis docelowo gwarantuje wyznaczenie współrzędnych stacji referencyjnej w trybie statycznym dla obserwacji z systemu GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU oraz QZSS-Zenith. Serwis Trimble RTX-PP stosuje do wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnej dwuczęstotliwościowe obserwacje kodowo-fazowe w oparciu o kombinację liniową Ionosphere-Free. Typowa dokładność wyznaczanych współrzędnych geodezyjnych z rozwiązania dobowego w serwisie Trimble RTX-PP wynosi poniżej 2 cm na poziomie ufności 95% [2, 11, 12].

W artykule przedstawiono wstępne rezultaty badań dotyczących wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnej RYKI z wykorzystaniem serwisu Trimble RTX-PP. Do badań posłużyły surowe obserwacje kodowo-fazowe GPS z dwuczęstotliwościowego odbiornika Trimble NetRS, zainstalowanego na stacji referencyjnej RYKI. Współrzędne stacji referencyjnej RYKI zostały obliczone w serwisie Trimble RTX-PP dla 7 dni pomiarowych (od 10 do 16 kwietnia 2014 r.). Otrzymane rezultaty z przeprowadzonych badań zostały zaprezentowane w pracy na odpowiednich wykresach graficznych. Całość artykułu podzielono na 5 części: wstęp, opis serwisu Trimble RTX-PP, model matematyczny wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnej RYKI w serwisie Trimble RTX-PP, opis eksperymentu i wstępne rezultaty badań, wnioski końcowe.

2. Opis serwisu Trimble RTX-PP

Serwis Trimble RTX-PP powstał w głównej mierze do wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnych wyposażonych w odbiorniki firmy Trimble, tj. NetR5, NetR8 i NetR9, rozmieszczonych na obszarze całej kuli ziemskiej (patrz Rys. 1). Odbiorniki, w liczbie ponad 100, zostały włączone do sieci firmy Trimble o nazwie CenterPoint RTX, która działa jako serwis precyzyjnego pozycjonowania w czasie prawie rzeczywistym i jest stosowana m. in. w rolnictwie, robotyce i automatyce. Wykorzystanie obserwacji satelitarnych z sieci CenterPoint RTX umożliwia wyznaczenie precyzyjnych orbit oraz zegarów satelitów, a także informacji na temat stanu atmosfery (określenie opóźnienia jonosferycznego i troposferycznego w skali globalnej), które są następnie implementowane w serwisie Trimble RTX-PP [3].



Rys. 1. Sieć odbiorników firmy Trimble, na podstawie [3]

Fig. 1. The receivers network of Trimble company, based on [3]

Serwis Trimble RTX-PP w swojej pierwotnej wersji wykorzystywał do wyznaczenia pozycji użytkownika obserwacje satelitarne z systemów GPS, GLONASS i QZSS-Zenith. Obecnie obserwacje z systemu BEIDOU mogą być również stosowane w procesie wyznaczenia pozycji użytkownika, a prace trwają nad wdrożeniem obserwacji z systemu GALILEO [12]. Serwis Trimble RTX-PP działa jako aplikacja czasu rzeczywistego 24 godziny na dobę pod adresem strony internetowej [11]. Udział użytkownika w procesie obliczeniowym w programie Trimble RTX-PP jest niewielki i ogranicza się wyłącznie do fazy rejestracji użytkownika w bazie oraz konfiguracji danych wejściowych. Dane wejściowe w postaci obserwacji satelitarnych powinny spełniać kilka warunków, tj.:

- obserwacje satelitarne muszą być zapisane w formacie RINEX 2.xx lub 3.xx (w przypadku odbiorników firmy Trimble akceptowalne również formaty wewnętrzne DAT, T01, T02, Quark),
- czas zarejestrowanych obserwacji powinien być większy niż 1 godzina i mniejszy niż 24 godziny,
- obserwacje satelitarne pochodzą z pomiaru statycznego,
- w procesie obliczeniowym wymagane są obserwacje dwuczęstotliwościowe kodowe (P1/P2 lub C1/P2) i fazowe (L1/L2) z systemów GPS, GLONASS, QZSS i BEIDOU [2].

Dodatkowo każdy użytkownik powinien ustawić na stronie serwisu Trimble RTX-PP następujące parametry [12]:

- docelowy układ odniesienia, w którym będą wyznaczone współrzędne stacji referencyjnej (np. ITRF, NAD, ETRS, GDA, SIRGA),
- określić płytę kontynentalną, w obszarze której jest rozmieszczona stacja referencyjna,
- wybrać plik RINEX z obserwacjami satelitarnymi,
- podać adres e-mail, na który będzie wysłany raport z przeprowadzonych obliczeń oraz wpisać kod weryfikujący prawdziwość wpisanych danych przez użytkownika.

Serwis Trimble RTX-PP po wykonaniu obliczeń odsyła na adres e-mail użytkownika raport w formacie PDF oraz XML. Czas oczekiwania na raport wynosi krócej niż 5 minut (zazwyczaj 2 lub 3 minuty). W raporcie końcowym z serwisu Trimble RTX-PP ujęte są parametry dotyczące m. in.

- epoki odniesienia, na którą są wyznaczane współrzędne,
- danych technicznych dotyczących anteny odbiornika,
- modelu płyty kontynentalnej,
- liczby użytych obserwacji w procesie obliczeniowym,
- liczby śledzonych satelitów przez antenę odbiornika,
- wartości wyznaczonych współrzędnych w układzie geocentrycznym ECEF oraz układzie geodezyjnym BLh,
- błędów średnich wyznaczonych współrzędnych w układzie geocentrycznym ECEF oraz układzie geodezyjnym BLh.

3. Model matematyczny wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnej w programie Trimble RTX-PP

Model matematyczny wyznaczenia pozycji anteny odbiornika w serwisie Trimble RTX-PP bazuje na wykorzystaniu obserwacji kodowych i fazowych na obu częstotliwościach nośnych w systemie GNSS (np. GPS). Dla każdej pary obserwacji kodowych (P1/P2) i fazowych (L1/L2) jest tworzona kombinacja liniowa dla techniki nieróżnicowej (tzw. zerowa różnica). W przypadku serwisu Trimble RTX-PP jest stosowana kombinacja liniowa Ionosphere-Free, która jest wolna od wpływu opóźnienia jonosferycznego (1 wyraz rozwinięcia zawiera

99% całkowitego opóźnienia jonosferycznego) oraz opóźnień sprzętowych *DCB* w pomiarach kodowych i *DPB* w pomiarach fazowych. Podstawowe równanie dla kombinacji liniowej Ionosphere-Free przyjmuje postać [6]:

$$\begin{aligned} P_3 &= d + C \cdot (dtr - dts) + Rel + Trop + MP_3 + \varepsilon_{P_3} \\ L_3 &= d + C \cdot (dtr - dts) + Rel + Trop + B_3 + \delta_{wu} + ML_3 + \varepsilon_{L_3} \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

P_3, L_3 - kombinacja liniowa Ionosphere-Free dla pomiarów kodowych i fazowych,

$$P_3 = \alpha \cdot P_1 + \beta \cdot P_2,$$

$$L_3 = \alpha \cdot L_1 + \beta \cdot L_2,$$

(P_1, P_2) - obserwacje kodowe P_1 i P_2 , wyrażone w metrach,

(L_1, L_2) - obserwacje fazowe L_1 i L_2 , wyrażone w cyklach,

$$\alpha = 2,546;$$

$$\beta = -1,546;$$

$$d = \sqrt{(x - X_s)^2 + (y - Y_s)^2 + (z - Z_s)^2},$$

d - odległość geometryczna pomiędzy anteną satelity a anteną odbiornika, zawiera informacje na temat: parametrów ruchu obrotowego Ziemi, nacisku atmosfery i oceanów, ruchu płyty kontynentalnej, pływów skorupy ziemskiej i oceanicznych, skali i początku układu odniesienia, centrum fazowego anteny satelity i odbiornika, precyzyjnych współrzędnych anteny odbiornika oraz anteny satelity;

(x, y, z) - współrzędne anteny odbiornika w układzie geocentrycznym,

(X_s, Y_s, Z_s) – współrzędne anteny satelity w układzie geocentrycznym,

C - prędkość światła;

dtr - chód zegara odbiornika;

dts - chód zegara satelity;

Rel - poprawka relatywistyczna do chodu zegara satelity (głównie mimośród orbity oraz efekt Shapiro);

$Trop$ - poprawka troposferyczna, zawiera informacje na temat parametrów ZHD , ZWD oraz gradientów troposferycznych;

B_3 - wartość rzeczywista nieoznaczoności fazy;

$$B_3 = \lambda_3 \cdot N_3 + SNHD + RWHD;$$

λ_3 - długość fali kombinacji liniowej L_3 , $\lambda_3 = 10,7$ cm;

N_3 - wartość całkowita nieoznaczoności fazy;

$$NHD = SNHD + RWHD;$$

NHD - opóźnienia sprzętowe kombinacji Ionosphere-Free, tzw. Narrow-Lane Hardware Delays;

$SNHD$ - opóźnienia sprzętowe dla satelitów;

$RNHD$ - opóźnienia sprzętowe dla odbiornika;

δ_{wu} - efekt wzajemnej orientacji układu satelita odbiornik;

MP_3 - efekt wielotorowości dla pomiarów kodowych;

ϵ_{P3} - szum pomiarowy obserwacji kodowych;

ML_3 - efekt wielotorowości dla pomiarów fazowych;

ϵ_{L3} - szum pomiarowy obserwacji fazowych.

Niewiadomymi w równaniu (1) są przyrosty do wyznaczanych współrzędnych stacji referencyjnej (3 parametry), chód zegara odbiornika (1 parametr), opóźnienie troposferyczne na kierunku zenitu dla części mokrej ZWD oraz gradienty troposferyczne (3 parametry), wartość całkowita nieoznaczoność fazy $N3$ (1 parametr wyznaczany dla każdego satelity w danej epoce pomiarowej). Informacje na temat chodu zegara satelity dts , opóźnień sprzętowych NHD oraz współrzędnych anteny satelity są dostarczane z serwisu sieci Center Point RTX. Parametry opóźnienia troposferycznego na kierunku zenitu dla części hydrostatycznej ZHD , poprawki relatywistycznej, efektu wzajemnej orientacji układu satelita odbiornik oraz efektu wielotorowości są wyznaczane z modeli. Rozwiązanie równania (1) odbywa się z zastosowaniem filtracji Kalmana w procesie sekwencyjnym [2, 3].

4. Eksperyment badawczy i wyniki

Serwis Trimble RTX-PP został wykorzystany w eksperymencie badawczym do opracowania obserwacji satelitarnych w trybie post-processingu ze stacji referencyjnej RYKI. W procesie wyznaczania współrzędnych stacji referencyjnej RYKI wykorzystano obserwacje GPS w formacie RINEX 2.11, pozyskane z odbiornika dwuczęstotliwościowego Trimble NetRS, którego infrastruktura techniczna jest umieszczona w budynku Starostwa Powiatowego w Rykach [10]. Eksperyment badawczy został wykonany w dniach od 10 do 16 kwietnia 2014 r. dla dobowych obserwacji GPS z interwałem 30-sto sekundowym. W ramach przeprowadzonego eksperymentu zrealizowano 4 badania, tzn.:

- wyznaczono współrzędne stacji referencyjnej RYKI dla każdego dnia pomiarowego oraz obliczono średnią wartość współrzędnych geocentrycznych wraz z dzienną powtarzalnością poszczególnych składowej na przestrzeni kilku dni,
- wyznaczono błędy średnie współrzędnych geocentrycznych na przestrzeni kilku dni pomiarowych,
- wyznaczono błąd położenia punktu w układzie geocentrycznym na przestrzeni kilku dni pomiarowych.

W trakcie przeprowadzonych testów badawczych, ustalono następującą konfigurację parametrów wejściowych w serwisie Trimble RTX-PP [11]:

- system nawigacyjny: GPS,
- tryb pozycjonowania: statyczny,
- źródło obserwacji satelitarnych: RINEX 2.11,
- dane obserwacyjne: nieróżnicowe dwuczęstotliwościowe obserwacje kodowo-fazowe,

- interwał obserwacji: 30 s,
- dane techniczne anteny: na podstawie pliku RINEX,
- źródło danych efemerydalnych i zegarów satelitów: na podstawie informacji z sieci CenterPoint RTX,
- układ współrzędnych: geocentryczny (ITRF2008) i geodezyjny BLH,
- płyta kontynentalna: Eurasia,
- transfer danych: z użyciem adresu e-mail użytkownika,
- epoka odniesienia dla wyznaczonych współrzędnych: na podstawie pliku RINEX.

Tabela 1. Wyniki współrzędnej X po kilku dniach obserwacji

Table 1. The results of X coordinate over few measurement days

Dzień pomiarowy	Liczba widocznych satelitów	Wartość współrzędnej X [m]	Wartość średnia współrzędnej X [m]	Dzienna powtarzalność współrzędnej X [m]
1	30	3680882.820	3680882.822	0.002
2	29	3680882.823		
3	29	3680882.823		
4	30	3680882.821		
5	30	3680882.825		
6	30	3680882.819		
7	29	3680882.825		

Tabela 2. Wyniki współrzędnej Y po kilku dniach obserwacji

Table 2. The results of Y coordinate over few measurement days

Dzień pomiarowy	Liczba widocznych satelitów	Wartość współrzędnej Y [m]	Wartość średnia współrzędnej Y [m]	Dzienna powtarzalność współrzędnej Y [m]
1	30	1481736.739	1481736.740	0.001
2	29	1481736.740		
3	29	1481736.740		
4	30	1481736.740		
5	30	1481736.741		
6	30	1481736.740		
7	29	1481736.740		

W tabelach 1, 2 i 3 przedstawiono wartości współrzędnej XYZ w układzie geocentrycznym ITRF2008 dla poszczególnych dni obserwacyjnych. Określono również liczbę widocznych satelitów w poszczególnym dniu obserwacyjnym. W ciągu całego cyklu obserwacyjnego 30 satelitów GPS było śledzonych przez antenę odbiornika przez 4 dni, a odpowiednio 29 satelitów przez 3 dni. Dla każdej wyznaczonej współrzędnej została obliczona wartość średnia (przy pomocy algorytmu średniej arytmetycznej) oraz dodatkowo określono dzienną powta-

rzalność współrzędnych XYZ (przy pomocy błędu średniego pojedynczego spostrzeżenia). Wartość dziennej powtarzalności współrzędnych XYZ jest najmniejsza dla współrzędnej Y (wynosi 1 mm), zaś największa dla współrzędnej Z (wynosi 3 mm). W przypadku współrzędnej X, parametr dziennej powtarzalności wynosi 2 mm.

Tabela 3. Wyniki współrzędnej Z po kilku dniach obserwacji

Table 3. The results of Z coordinate over few measurement days

Dzień pomiarowy	Liczba widocznych satelitów	Wartość współrzędnej Z [m]	Wartość średnia współrzędnej Z [m]	Dzienna powtarzalność współrzędnej Z [m]
1	30	4977132.543	4977132.542	0.003
2	29	4977132.543		
3	29	4977132.540		
4	30	4977132.539		
5	30	4977132.543		
6	30	4977132.540		
7	29	4977132.548		

Na rysunku 2 zaprezentowano wartości błędów średnich współrzędnych geocentrycznych XYZ oraz dodatkowo błędu położenia punktu w przestrzeni 3D (ang. *MRSE* parameter). Wartości błędów średnich *MX* dla współrzędnej X wahają się od 6 mm do 7 mm, przy czym wartość przeciętna tego parametru wynosi 6,5 mm. W przypadku składowej Y, błędy średnie *MY* oscylują w przedziale od 3 mm do 4 mm, ale ich wartość przeciętna wynosi prawie 4 mm. Najmniejszą dokładność wyznaczenia współrzędnej odnotowano dla składowej Z, gdyż dyspersja błędów średnich *MZ* waha się od 7 mm do 8 mm, a ich wartość przeciętna wynosi prawie 8 mm. Warto dodać, iż błędy średnie *MX* względem błędów średnich *MY* uległy pogorszeniu o około 70%. Natomiast błędy średnie *MZ* względem błędów średnich *MY* uległy pogorszeniu o ponad 95%. Z kolei błędy średnie *MZ* względem błędów średnich *MX* uległy pogorszeniu o około 20%.

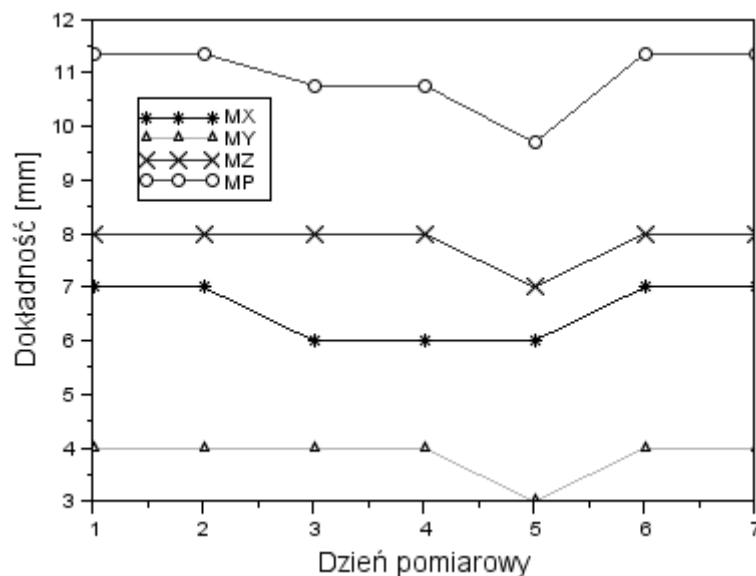
Na rysunku 2 przedstawiono również dzienną zmianę parametru błędu położenia punktu *MP* w przestrzeni 3D (ang. *MRSE* parameter). Parametr błędu położenia punktu *MP* dla współrzędnych geocentrycznych XYZ został wyznaczony na podstawie zależności [4, 7]:

$$MP \cong \sim MRSE = \sqrt{MX^2 + MY^2 + MZ^2} \quad (2)$$

gdzie:

MP- błąd położenia punktu w przestrzeni 3D (oznaczenie w polskiej literaturze),
MRSE- błąd położenia punktu w przestrzeni 3D (oznaczenie w zagranicznej literaturze),

MX- błąd średni składowej X,



Rys. 2. Błędy średnie współrzędnych XYZ i błąd położenia punktu
Fig. 2. Mean errors of XYZ coordinates and MRSE parameter

MY- błąd średni składowej Y,

MZ- błąd średni składowej Z.

Wartości parametru *MRSE* na przestrzeni 7 dni pomiarowych wahają się od 10 mm do 11,5 mm. Najmniejsze wartości parametru *MP* są widoczne w 5 dniu obserwacji, gdyż dokładność wyznaczonych współrzędnych XYZ jest w tym dniu najwyższa w rozrachunku tygodniowym. Najmniejsza dokładność parametru *MRSE* (około 11,5 mm) jest zauważalna w 1, 2, 6 i 7 dniu obserwacji.

5. Dyskusja

W ramach dyskusji przetestowano działanie programu Trimble RTX-PP dla kilku stacji referencyjnych z województwa lubelskiego, tj.: RYKI, OPLU, LUBL, BPDF, BILG, CHEL, WLDW, HRUB. Test zrealizowano dla dnia pomiarowego 01.06.2014 r.

Tabela 4. Błędy średnie współrzędnych XYZ i błąd położenia punktu dla stacji referencyjnych
 Table 4. The mean errors of XYZ coordinates and MRSE parameter for reference stations

Nazwa stacji referencyjnej	Współrzędna XYZ	Dokładność wyznaczenia współrzędnych XYZ [m]	Błąd położenia punktu M_p [m]
BILG	Współrzędna X	0.006	0.010
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	
BPDL	Współrzędna X	0.005	0.009
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	
CHEL	Współrzędna X	0.005	0.009
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	
HRUB	Współrzędna X	0.006	0.010
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	
LUBL	Współrzędna X	0.006	0.010
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	
OPLU	Współrzędna X	0.006	0.010
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	
RYKI	Współrzędna X	0.007	0.011
	Współrzędna Y	0.004	
	Współrzędna Z	0.008	
WLDW	Współrzędna X	0.006	0.010
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	

W Tabeli 4 przedstawiono wartości błędów średnich współrzędnych geocentrycznych w układzie ITRF2008 dla stacji referencyjnych. Najmniejszą wartość parametry MX odnotowano dla 2 stacji (BPDL oraz CHEL) i wynosi 5 mm, zaś największa występuje dla stacji RYKI i wynosi 7 mm. Dla pozostałych stacji dokładność współrzędnej X wynosi 6 mm. Dokładność współrzędnej Y wynosi 3 mm dla 7 stacji referencyjnych (OPLU, LUBL, BPDL, BILG, CHEL, WLDW, HRUB), zaś tylko dla stacji RYKI jest równa 4 mm. Dokładność współrzędnej Z wynosi 7 mm dla 7 stacji referencyjnych (OPLU, LUBL, BPDL, BILG, CHEL, WLDW, HRUB), zaś tylko dla stacji RYKI jest równa 8 mm. Parametru błędu położenia punktu $MRSE$ wynosi od 9 mm (stacje BPDL oraz CHEL) do 11 mm (stacja RYKI).

Tabela 5. Różnice współrzędnych XYZ dla każdej stacji referencyjnej

Table 5. The difference of XYZ coordinates for each reference stations

Nazwa stacji referencyjnej	Współrzędne przetransformowane do układu ETRF2000 [m]	Współrzędne katalogowe XYZ w układzie ETRF2000 [m]	Różnica [m]
	X= 3747351.696	X= 3747351.679	DX=0.017
	Y= 1568978.056	Y= 1568978.069	DY=-0.013
	Z= 4900768.683	Z= 4900768.671	DZ=0.012
BPDL	X= 3615990.168	X= 3615990.150	DX=0.018
	Y= 1544390.835	Y= 1544390.849	DY=-0.014
	Z= 5005373.520	Z= 5005373.509	DZ=0.011
CHEL	X=3678820.559	X=3678820.541	DX=0.018
	Y=1598100.873	Y=1598100.886	DY=-0.013
	Z=4942832.605	Z=4942832.619	DZ=-0.014
HRUB	X=3693100.714	X=3693100.698	DX=0.016
	Y=1635499.263	Y=1635499.274	DY=-0.011
	Z=4920024.101	Z=4920024.113	DZ=-0.012
LUBL	X=3694475.302	X=3694475.290	DX=0.012
	Y=1534437.439	Y=1534437.453	DY=-0.014
	Z=4951248.679	Z=4951248.698	DZ=-0.019
OPLU	X=3717924.475	X=3717924.463	DX=0.012
	Y=1500320.558	Y=1500320.574	DY=-0.016
	Z=4944130.966	Z=4944130.982	DZ=-0.016
RYKI	X=3680883.349	X=3680883.339	DX=0.010
	Y=1481736.375	Y=1481736.393	DY=-0.018
	Z=4977132.274	Z=4977132.288	DZ=-0.014
WLDW	X=3643581.032	X=3643581.021	DX=0.011
	Y=1588599.355	Y=1588599.370	DY=-0.015
	Z=4971661.141	Z=4971661.158	DZ=-0.017

Wyznaczone w programie Trimble RTX-PP współrzędne stacji referencyjnych w układzie ITRF2008 zostały przetransformowane do układu ETRF2000 [1] w celu sprawdzenia poprawności wykonywanych obliczeń. Dla każdej współrzędnej XYZ określono różnicę pomiędzy współrzędnymi przetransformowanymi do układu ETRF2000 a współrzędnymi katalogowymi w układzie ETRF2000 (patrz Tabela 5). W przypadku współrzędnej X, średnia wartość różnicy DX około 0.014 m, przy rozrzucie wyników od 0.010 m do 0.018 m. W przypadku współrzędnej Y, średnia wartość różnicy DY około -0.014 m, przy rozrzucie wyników od -0.018 m do -0.011 m. W przypadku współrzędnej Z, średnia wartość różnicy DZ około -0.009 m, przy rozrzucie wyników od -0.019 m do 0.012 m.

6. Wnioski

W artykule zaprezentowano wstępne rezultaty badań dotyczących wyznaczenia pozycji stacji referencyjnej RYKI oraz analizy dokładności pozycjonowania z wykorzystaniem serwisu komercyjnego Trimble RTX-PP. Eksperyment i testy badawcze zostały przeprowadzone z wykorzystaniem obserwacji GPS z dwuczęstotliwościowego odbiornika Trimble NetRS, zamontowanego w Starostwie Powiatowym w Rykach. Eksperyment zrealizowano w dniach od 10 do 16 kwietnia 2014 r. dla dobowych obserwacji GPS z interwałem 30-sto sekundowym. Obliczenia współrzędnych stacji referencyjnej RYKI wykonano w trybie statycznym w serwisie internetowym Trimble RTX-PP z użyciem kombinacji liniowej Ionosphere-Free. W artykule przedstawiono rezultaty badań dla stacji referencyjnej RYKI, tj.: błędy średnie współrzędnych XYZ, błąd położenia punktu MRSE, dzienną zmianę współrzędnych XYZ. Ponadto w artykule przetestowano działanie programu Trimble RTX-PP dla innych stacji referencyjnych, zlokalizowanych na obszarze województwa lubelskiego. Na podstawie przeprowadzonych badań wyciągnięto następujące wnioski:

- 1) błędy średnie wyznaczonych współrzędnych geocentrycznych XYZ stacji referencyjnych w układzie ITRF2008 są mniejsze niż 1 cm dla wszystkich 3 składowych;
- 2) dla wszystkich stacji referencyjnych najwyższą dokładność wyznaczenia współrzędnych posiada składowa Y, zaś najmniejszą dokładność składowa Z;
- 3) wartość błędu położenia punktu *MP* w przestrzeni 3D wynosi od 9 mm do 11 mm dla wszystkich stacji referencyjnych biorących udział w eksperymencie;
- 4) w pracy dokonano porównania współrzędnych XYZ dla wszystkich stacji referencyjnych pomiędzy współrzędnymi przetransformowanymi do układu ETRF2000 a współrzędnymi katalogowymi w układzie ETRF2000;
- 5) dla wszystkich stacji referencyjnych średnia wartość różnicy DX dla współrzędnej X wynosi 0.014 m;
- 6) dla wszystkich stacji referencyjnych średnia wartość różnicy DY dla współrzędnej Y wynosi -0.014 m;
- 7) dla wszystkich stacji referencyjnych średnia wartość różnicy DZ dla współrzędnej Z wynosi -0.009 m.

Literatura

- [1] Altamimi Z.: ITRF2008 and transformation to ETRF2000, EUREF Symposium, June, 2010, Gävle, Sweden.
- [2] Doucet K., Herwig M., Kipka A., Kreikenbohm P., Landau H., Leandro R., Moesmer M., Pagels C.: Introducing Ambiguity Resolution in Webhosted Global Multi-GNSS Precise Positioning with Trimble RTX-PP, Proceedings of the 25th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2012), September 17-21, Nashville, Tennessee, pp.1115-1125.
- [3] Leandro R., Landau H., Nitschke M., Glocker M., Seeger S., Chen X., Deking A., BenTahar M., Zhang F., Ferguson K., Stolz R., Talbot N., Lu G., Allison T., Brandl

- M., Gomez V., Cao W., Kipka A.: RTX Positioning: The Next Generation of cm-accurate Real-Time GNSS Positioning, Proceedings of the 24th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2011), September 20 - 23, 2011, Portland, OR, pp. 1460 - 1475.
- [4] Osada E.: Geodezja, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2001.
- [5] Ryczywolski M., Liwosz T.: Wykorzystanie sieci ASG-EUPOS w zadaniach związanych z realizacją systemu odniesień przestrzennych, Konferencja Realizacja Osnow Geodezyjnych a Problemy Geodynamiki, Grybów, 25-27 września 2014 r.
- [6] Sanz Subirana J., Juan Zornoza J. M., Hernández-Pajares M.: GNSS Data Processing, Volume I: Fundamentals and Algorithms, ESA Communications, ESTEC, Noordwijk, Netherlands, 2013.
- [7] Seeber G.: Satellite Geodesy, 2nd completely revised and extended edition, Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 10785 Berlin, Germany, 2003.
- [8] Szafranek K., Figurski M., Araszkiwicz A.: Zmierzch statycznego układu odniesienia w geodezji, GEODETA, nr 7, 2013, str. 28-34.
- [9] Wajda S.: System ASG-EUPOS- stan dzisiejszy i perspektywy rozwoju, Szkolenie ASG-EUPOS, Poznań, 2015 r.
- [10] URL: www.asgeupos.pl, aktualna na wrzesień 2015.
- [11] URL: <http://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>, aktualna na wrzesień 2015.
- [12] URL: <http://www.trimblertx.com/>, aktualna na wrzesień 2015.

Podziękowania

Autor artykułu składa podziękowania dla:

- serwisu ASG-EUPOS za udostępnienie plików obserwacyjnych RINEX ze stacji referencyjnej RYKI,
- serwisu on-line Trimble RTX-PP za wyznaczenie współrzędnych stacji referencyjnej RYKI.

UTILIZATION TRIMBLE RTX-PP SOFTWARE FOR DETERMINATION OF REFERENCE STATION COORDINATES

Summary

Article presents studies results concerning to determination of RYKI reference station coordinates using GPS observations in Trimble RTX-PP software. The computations in Trimble RTX-PP service were realized for dual-frequency code and phase observations from Trimble NetRS receiver. The mathematical formulation of position determination based on Ionosphere-Free linear combination in Trimble RTX-PP service was presented and described. Preliminary studies results show that mean errors of geocentric coordinates for RYKI reference station are less than 1 cm over few measurements days. Additionally, the mean errors of coordinates for another reference stations in Lubelskie Voivodeship was presented in paper. In paper, the coordinates of all reference stations in ITRF2008 frame was transformed to ETRF2000 and compared with catalogue data.

Keywords: GPS, mean error, accuracy, Ionosphere-Free linear combination

Przesłano do redakcji: 08.09.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.112

