

Obliczenia dla pomiarów statycznych GPS z wykorzystaniem systemu EPN

AKTYWZNIE I WIRTUALNIE Z EUREF



Po wydaniu milionów na system ASG-EUPOS z GUGiK wychodzą zalecenia kupowania wyłącznie drogich odbiorników GNSS. W ten sposób ideę powszechnego pożytku z krajowego systemu aktywnej sieci geodezyjnej dla gospodarki narodowej szlag trafia.

RYSZARD PAŹUS

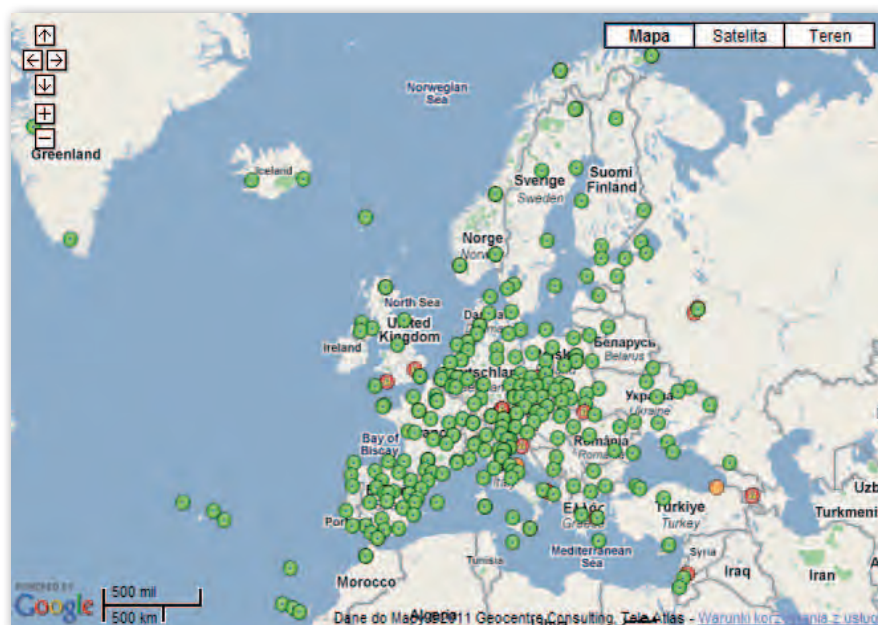
Główny geodeta kraju wydał *Zalecenia techniczne, Pomiaru satelitarne GNSS oparte na systemie stacji referencyjnych ASG-EUPOS*, w których pkt 8.4, dotyczący serwisu geodezyjnego POZGEO, brzmi: „Nie zaleca się do zakładania osnowy pomiarowej wykorzystania współrzędnych wyliczonych w serwisie POZGEO ze zbiorów obserwacyjnych z odbiorników L1 oraz ze zbiorów obserwacyjnych z odbiorników L1/L2 krótszych niż 40 minut”. Dodatkowo na stronach ASG-EUPOS możemy znaleźć taki lapsus dotyczący serwisu geodezyjnego POZGEO D: „W przypadku generowania wirtualnych stacji referencyjnych należy pamiętać, że plik obserwacyjny jest przygotowywany w oparciu o najbliższą stację referencyjną (przejmując także charakterystykę jej anteny). (...) Metoda wykorzystująca wirtualne stacje referencyjne w postprocessingu (podejście drugie) nie jest zalecana do stosowania jako podstawowa,

a jedynie w celach kontrolnych dla metody klasycznej w celu sprawdzenia prawidłowości uzyskanych nia wyników”. Metodą klasyczną nazywa się tutaj nawiązanie do fizycznych stacji referencyjnych ASG-EUPOS. Ale w punkcie 15.1 *Zaleceń* dotyczącym serwisu nawigacyjnego NAWGEO mamy taki zapis: „Do wykonywania pomiarów RTK dopuszcza się wykorzystanie fazowych odbiorników L1 z możliwością pomiaru RTK”.

Tu metoda poprawek wirtualnych VRS jest w grupie podstawowych (pkt 16.3 a).

W yjściem z sytuacji jest wykonywanie przez geodetów obliczeń samodzielnie. Są one proste, zajmują kilka minut, dają zdecydowanie dokładniejsze rezultaty i spełniają wymogi standardów technicznych z pełnym udokumentowaniem obliczeń w raporcie końcowym [patrz GEODE-

Rys. 1. Rozmieszczenie punktów EUREF





FOT. ZE ZBIORÓW AUTORA

Punkt 3601 POLREF Bałuty, na którym wykonywano pomiary testowe (patrz też fot. obok)

TA 1/2011 – red.]. W celu sprawdzenia prawidłowości wyników typowym rozwiązaniem dla małych obiektów jest założenie np. trzech punktów osnowy pomiarowej syt.-wys., których wzajemne położenie jest sprawdzone bezpośrednio w czasie pomiarów tachimetrem elektronicznym.

Dla użytkowników odbiorników dwuczęstotliwościowych, dla których tachimetr elektroniczny pozostaje podstawowym instrumentem, przedstawiam dodatkowo metodę wykorzystania systemu EPN, czyli EUREF Permanent Network. Okazuje się bowiem, że pod warunkiem zastosowania profesjonalnych algorytmów obliczania wektorów i wyrównania, w pomiarach statycznych nie ma żadnej potrzeby posiadania odbiornika dwuczęstotliwościowego i dodawania GLONASS. Wystarczy, że stacje referencyjne takie pomiary wykonują. A co najciekawsze – te profesjonalne rozwiązania są darmowe.

Według stanu na 12 marca 2011 roku europejską permanentną sieć geodezyjną EUREF tworzy 246 stacji referencyjnych GNSS – rys. 1. Sieć została założona techniką GPS. Pierwszą kampanię pomiarową obejmującą Europę Zachodnią przeprowadzono w 1989 roku, po której dość szybko rozszerzono obszar projektu na cały kontynent. Początek EUREF jako organizacji permanentnej sieci geodezyjnej z centrami operacyjnymi i koordynatorem sięga 1995 roku.

Wypada w tym miejscu wyjaśnić różnice między EUREF a EUPOS. EUREF to aktywna sieć geodezyjna Europy, podczas gdy EUPOS jest systemem regionalnym obejmującym zasięgiem obszar Europy Centralnej i Wschodniej, który w założeniu ma służyć potrzebom

nawigacji lądowej, morskiej i lotniczej, ale też pozycjonowania geodezyjnego. Przykładem takiego pozycjonowania poprzez serwis nawigacyjny jest system NAWGEO ASG-EUPOS. Poza miastem Berlin, w Senacie którego mieści się jednostka koordynująca ten wielofunkcyjny system, do EUPOS należą kraje: Bośnia i Hercegowina, Bułgaria, Czechy, Estonia, Węgry, Kazachstan, Łotwa, Litwa, Macedonia, Mołdawia, Czarnogóra, Polska, Rumunia, Rosja, Serbia, Słowacja i Ukraina, a Słowenia ma status obserwatora. EUPOS obejmuje około 25% terytorium UE, ale wliczając europejską część Rosji i Kazachstanu, jest to około 60% obszaru naszego kontynentu. Do organizacji nie przystąpiły kraje Europy Zachodniej.

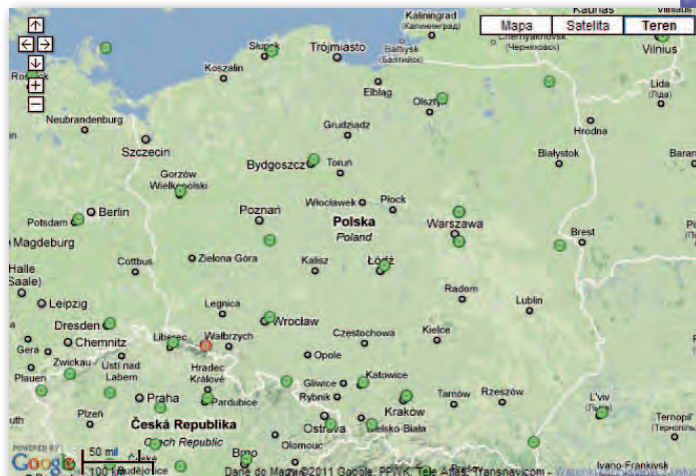
Z 246 stacji EUREF dla Polski użytecznych jest 31. 20 z nich należy do EPN: bbys, bisk, bogo, bpd1, bydg, cfrm, clib, cpar, crak, dres, ganp, gwwl, kato, kraw, lodz, redz, swki, tubo, viln, zywi, a 11 działa w sieci globalnej IGS: bogi, bor1, joz2, lama, penc, wroc, sass, pots, riga, sulp, uzhl (rys. 2).

EUREF to aktywna sieć geodezyjna obejmująca zasięgiem obszar całej UE. Jest to system bardzo profesjonalnie zarządzany i, co najważniejsze, pozwalający na automatyzowanie obliczeń, co zostanie przedstawione na przykładzie. Możemy więc w nim, w prostej procedurze obliczeniowej, zastosować metodę wykorzystującą

tworzenie wirtualnych punktów nawiązania naszych pomiarów. Na dodatek sami wybieramy, z ilu stacji referencyjnych i z jak długiej sesji te punkty tworzymy, co pozwala na zdecydowaną poprawę dokładności ich wyznaczenia. Warto dodać, że w obliczeniach uwzględniane są wszystkie wymagane korekty efemeryd, zegarów i stanu jonosfery z materiałów źródłowych serwisu globalnego IGS (International GNSS Service). Nie trudno więc zauważyć, że metoda tutaj przedstawiana idzie w innym kierunku niż szeroko reklamowane stosowanie odbiorników dwuczęstotliwościowych, na dodatek z 220 kanałami i częstotliwością zegara 100 Hz. Moim zdaniem są to nieprofesjonalne pomysły generujące niepotrzebne koszty. A przecież opłacalność pomiarów jest szczególnie istotna w zastosowaniach praktycznych na potrzeby gospodarki narodowej, czyli tych, dla których ASG-EUPOS została założona.

Wróćmy jednak do zasadniczego tematu. Nasza sesja obserwacyjna, z uwagi na krótkie wektory między stacjami wirtualnymi a punktami wyznaczanymi, może być skrócona. W związku z rozrzedzeniem rejestracji pomiarów na stacjach EUREF optymalnym rozwiązaniem jest też tworzenie punktu wirtualnego dla naszego pomiaru z całej doby, co zdecydowanie podnosi dokładność wyznaczenia, zwłaszcza kiedy w czasie doby występują zakłócenia spowodowane aktywnością Słońca, szczególnie duże w bieżącym roku.

W przedstawianych przykładach obliczeń, podobnie jak w artykule styczniowym [1], wykorzystano program GNSS Solutions firmy Ashtech. Przykładowe obliczenia pokazano dla tej samej dwu-

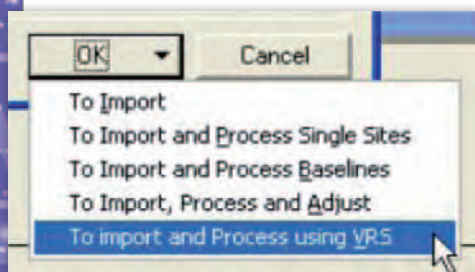


Rys. 2. Rozkład punktów EUREF dla Polski

20 17 marzec 2011 10:33:07 ETRF2000 epoch 2005 EPN stations only
 Site coordinates: http://epncb.cma.be/_trackingnetwork/coordinates/index.php
 Station log: <ftp://epncb.cma.be/pub/station/log>
 Done by: GeoDigitalGPS, Warsaw, Poland Contact: Ryszard Pazus <http://www.geodigitalgps.eu/kontakt/>
 for use with Absolute Antenna Calibrations http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/images/ant_info.html

Name	Place	Reference	Epoch	X	Y	Z	Height To ARP	Antenna
bbsy	Banska Bystrica, Slovakia	ETRF00	2005.00	3980359.129	1382291.868	4772771.754	0.1180	TRM41249.00
bisk	Zlate Hory, Czech Republic	ETRF00	2005.00	3898946.258	1223993.142	4881826.245	0.0350	ASH701946.2
bogo	Borowa Gora, Poland	ETRF00	2005.00	3633739.309	1397433.930	5035353.289	0.0000	ASH700936C_M SNOW
bpd1	Biala Podlaska, Poland	ETRF00	2005.00	3615990.164	1544390.863	5005373.524	0.0000	TRM55971.00 TZGD
bydg	Bydgoszcz, Poland	ETRF00	2005.00	3647217.210	1184604.101	5079624.990	0.0000	TRM55971.00 TZGD
cfrm	Frydek Mistek, Czech Republic	ETRF00	2010.00	3924573.173	1301971.015	4840464.492	0.0660	LEIAT504 LEIS
clib	Liberec, Czech Republic	ETRF00	2010.00	3903195.523	1050232.253	4917869.641	0.0660	LEIAT504 LEIS
cpar	Pardubice, Czech Republic	ETRF00	2010.00	3949919.083	1116467.043	4865832.540	0.0650	LEIAT504 LEIS
crak	Rakovnik, Czech Republic	ETRF00	2010.00	3982251.317	972921.323	4870394.772	0.0650	LEIAT504 LEIS
dres	Dresden, Germany	ETRF00	2005.00	3904725.007	954013.172	4935789.792	0.5660	LEIAR25 LEIT
ganp	Ganovce, Slovakia	ETRF00	2005.00	3929181.852	1455236.517	4793653.708	0.3830	TRM57971.00 NONE

Rys. 3. Dane geodezyjne punktów EUREF



Rys. 4. Opcja automatycznego obliczania

dziesiętominutowej sesji zrealizowanej odbiornikiem AZUS Star na punkcie 3601 POLREF Bałuty. Metoda obliczeń zilustrowana jest krok po kroku. Kroków tych jest niewiele, a procedura obliczeniowa jest banalnie prosta.

P przed przystąpieniem do obliczeń wymagana jest konfiguracja programu. Wykonuje się to jednorazowo. Przede wszystkim należy wprowadzić dane geodezyjne stacji referencyjnych, do których należą: współrzędne XYZ, parametry stacji i anten, układ odniesienia i automatyczne ścieżki pobierania danych poprzez internet z serwera EUREF. Ponieważ najbardziej interesuje nas metoda wykorzystująca punkty wirtualne, wskazane jest też ustalenie, do jakiej odległości system ma nam wskazywać możliwe nawiązania (rys. 3). Program GNSS Solutions podejmie obliczenia punktu wirtualnego, jeżeli będzie miał co najmniej trzy punkty nawiązania. Są one ustawiane domyślnie jako trzy najbliższe, ale możemy to łatwo zmienić, również dodając dodatkowe. Sugerowany zasięg 250 km dotyczy naszych całodobowych sesji wirtualnych. Skracanie tych sesji nie ma sensu. Wprawdzie czas obliczeń sesji całodobowych na komputerze jest nieco dłuższy (chodzi o sekundy), ale za to zyskujemy pewność dokładnego

rezultatu, rzędu 1 cm w poziomie i 2 cm w pionie. Bo dokładność naszych pomiarów to właśnie dokładność wyznaczenia współrzędnych punktu wirtualnego. Między naszym punktem a punktem wirtualnym – przy rozwiązaniu ustalonym jednoznacznie („fixed”) – zawsze otrzymamy dokładność rzędu kilku mm.

I czas wreszcie przedstawić tych parę kroków obliczeniowych zajmujących w sumie kilka minut:

- Wprowadzenie do programu naszego pliku obserwacyjnego RINEX i danie polecenia utworzenia w jego pobliżu punktu wirtualnego (rys. 4) dla okresu danej doby od 01:00:00 do 23:00:00.

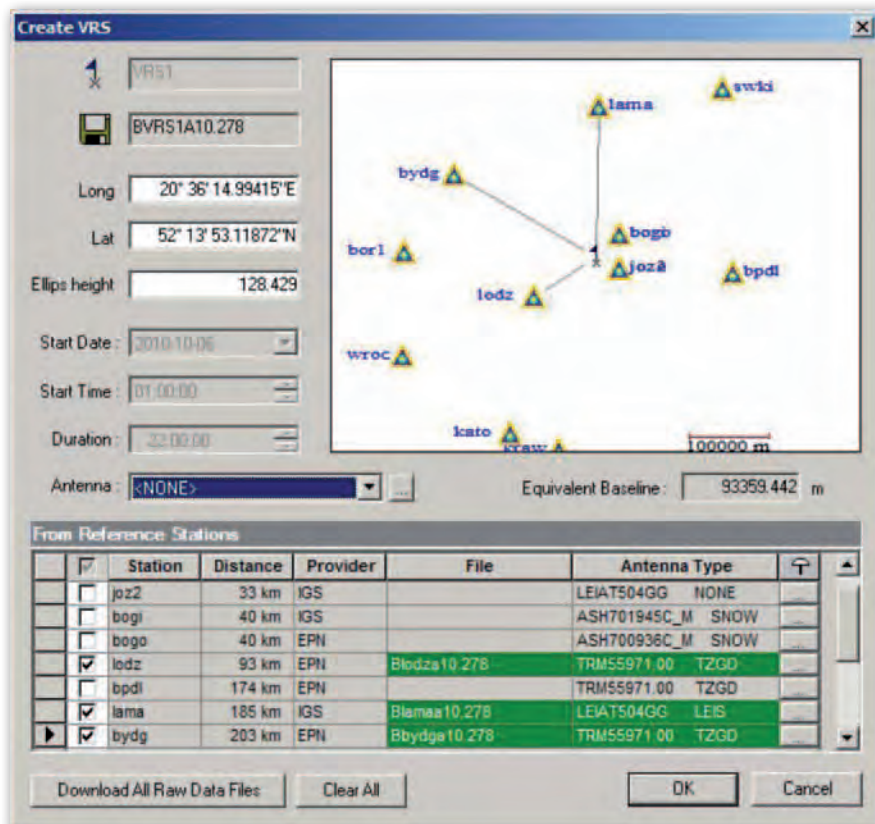
- Program sugerował trzy najbliższe stacje: joze, joz2 i bogi (33 km, 33 km

i 40 km), ale aby przykład nasz był reprezentatywny dla obszaru całego kraju, specjalnie wybrano trzy odleglejsze punkty nawiązania: lodz, lama, bydg (93 km, 185 km i 203 km) – rys. 5.

- Pobranie danych trwa kilkanaście sekund. Pliki nie są duże, bo z interwałem 30 sekund.

- Wybierając opcję „OK”, wydajemy polecenie wyrównania zebranych sesji stacji referencyjnych i utworzenia z nich punktu wirtualnego łącznie ze związaniem naszego punktu. Trwa to około minuty (zależy od procesora komputera PC).

- I to już koniec naszych obliczeń. Otrzymujemy odpowiedni raport dokumentujący obliczenia (rys. 6). W zależności



Rys. 5. Dane dla punktu wirtualnego w pobliżu 3601 POLREF Bałuty

Raport wyrównania pomiarów statycznych

GNSS Solutions, Copyright (C) 2005 by Magellan Navigation, 2011-03-12 13:22:19

www.pro.magellangps.com

Nazwa projektu : 3601 POLREF Bałuty z EUREF

Układ odniesienia : POLAND/1992

Strefa czasowa : (UTC+01:00) Sarajewo, Skopie, Warszawa, Zagrzeb

Jednostki długości : Metry

Układ odniesienia

Coordinate system

Name : POLAND/1992

Punkty stałe : 1

Punkty wyznaczane : 1

sesja wirtualna ze stacji EUREF: łódź (93 km)
łama (185 km IGS), bydź (203 km)

Punkty stałe i kontrolne

Id	Współrzędne	Błąd	Status	Kontrola
VR51	609521.579	95% 2* σ 0.000	stała	
	486253.493	0.000	stała	
Wys. elipsoid.	128.426	0.000	stała	

Punkty wyznaczane

Nr/Nazwa	Współrzędne	Błąd	Status	Kontrola
3601_BALU	609522.386	0.002	Obliczona (wirtualnie)	
	486251.508	0.002	Obliczona (wirtualnie)	
Wys. elipsoid.	120.996	0.002	Obliczona (wirtualnie)	

dane z banku osnów CODGiK
dla 3601 POLREF Bałuty
y = 609522.402
x = 486251.478
h = 120.985 (N = 31.761 m)

Pliki obserwacyjne

Nazwa	Czas rozpoczęcia	Interwał	Liczba Epok	Rozmiar (Kb)	L1 GPS
3601279M.10c	10/10/06 14:40	1	1201	392	
BVRS1A10.278	10/10/06 01:00	30	2627	5209	L1/L2 GPS/GLONASS

sesja 22 h z interwałem 30 sekund

Obserwacje

z uwagi na interwał 30 s na VR51 z pliku przyjęto
do obliczeń co 30. epokę (czyli 40 epok)

Punkt	Typ anteny	Antena	Typ Wys.	Typ Odbiornika	Czas rozpoczęcia	Nazwa pliku
3601_BALU	DF 5232 GPS L1	1.538	Pionowa	AZUS Star	10/10/06 14:40:00	3601279M.10c
VR51	<NONE>	0.000	Pionowa	BRIDGE MBP	10/10/06 01:00:00	BVRS1A10.278

Obliczenia

z punktu	Plik obserwacji	do punktu	Plik obserwacji	Metoda	Numer
VR51	BVRS1A10.278	3601_BALU	3601279M.10c	Statyczna	1

Wektory obliczone

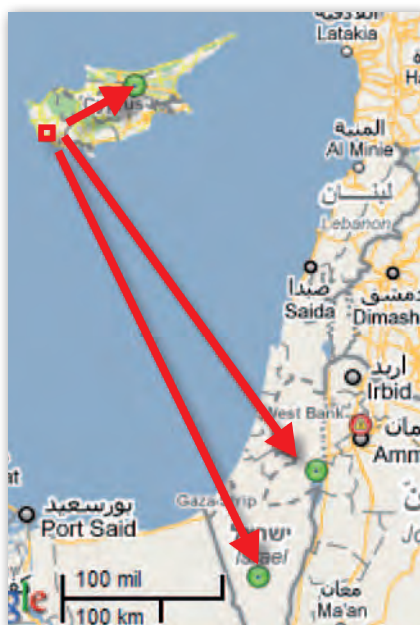
Identyfikator wektora	Długość Wektora	Ufność 95% 2* σ	Składowe Wektora	Ufność 95% 2* σ QA	SV PDOP	Rozwiązanie
VR51 - 3601_BALU	7.733	0.009	X -3.045	0.004	8	1.9 Jednoznaczne (Fixed)
10/10/06 14:40			Y -0.329	0.002		
			Z -7.101	0.004		

Rys. 6. Raport końcowy dla punktu 3601 POLREF Bałuty (dodatkowy komentarz na czerwono)

ci od potrzeb mamy do wyboru układ 2000, 1992 lub BLH.

● W rezultacie otrzymaliśmy różnice z wielkościami katalogowymi $\Delta x = -0.030$, $\Delta y = -0.016$, $\Delta h = +0.011$. Gdybyśmy wykonywali pomiar do trzech najbliższych stacji referencyjnych (33 km, 33 km i 40 km), to wynik byłby podobny ($x = 486251.472$, $y = 609522.381$, $h = 120.983$). Czyli $\Delta x = -0.006$, $\Delta y = -0.021$, $\Delta h = -0.002$.

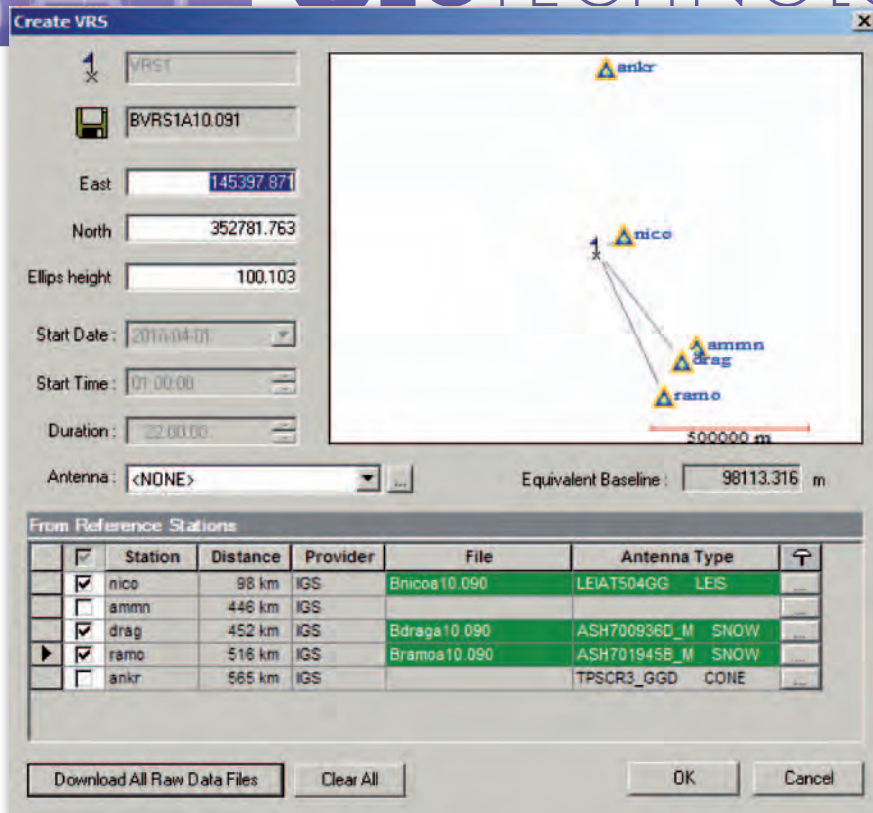
Tu istotna uwaga. Obliczenia wykonano programem w wersji darmowej (*free of charge*). Oznacza to, że postprocessing wykonano tylko na częstotliwości GPS L1, chociaż plik RINEX został wygenerowany dla L1/L2/ GPS/GLONASS. Pozostaje jeszcze do wyjaśnienia, czy różnica w stosunku do GPS L1/L2 jest istotna, skoro mieliśmy tu zastosowane te



same parametry: IGS Precise Orbits, IGS Precise Clocks i IGS Precise Ionospheric Grids (nazwy w oryginalnym brzmieniu). Warto pamiętać, że jeżeli obliczenia wykonujemy nazajutrz po pomiarach, to zamiast Precise będziemy mieli wersję Rapid lub Ultra-Rapid. Te same obliczenia powtórzone pełną wersją programu, czyli z postprocessingiem GPS L1/L2. Okazuje się, że dla naszego przykładu z dalszymi stacjami referencyjnymi różnica nie jest znacząca. W rezultacie otrzymano $\Delta x = +0.022$, $\Delta y = -0.006$, $\Delta h = +0.007$ ($x = 486251.500$, $y = 609522.396$, $h = 120.992$).

Przedstawiona tu metoda pomiaru odbiornikami jednoczesotliwościowymi ma jeszcze jedną zaletę. Można ją sto-

Rys. 7. Punkt wirtualny tworzony ze stacji Nikozja (nico) - Cypr, (drag) i (ramo) - Izrael



Rys. 8. Dane dla punktu wirtualnego na Cyprze

sować na obszarze UE. Przykładem jest pomiar wykonany odbiornikiem AZUS Star na Cyprze (rys. 7, 8). Sesja pomiarowa 25-minutowa, a dokładność wy-

znaczenia taka sama jak w poprzednim przykładzie. Mimo że stacje referencyjne bardziej odległe: nico (95 km), drag (452 km), ramo (516 km). Raport z ob-

liczeń w odwzorowaniu stosowanym na Cyprze (układ ETRF2000, epoka 2005.00) – rys. 9.

Jak widać, obliczenia są wyjątkowo łatwe i szybkie. Dodajmy do tego prostotę pomiarów naszych punktów, które są całkowicie zautomatyzowane i nie wymagają obsługi w czasie sesji pomiarowej. Możliwość zakładania punktów osnowy pomiarowej mamy więc w zasięgu ręki [2], praktycznie bez kosztów. W terenie wykonujemy po prostu inne czynności pomiarowe, nie zaprzęając sobie głowy pomiarami satelitarnymi.

Taka procedura daje rezultaty zdecydowanie dokładniejsze niż wymagania stawiane punktom osnowy pomiarowej i spełnia wymagania kontroli jakości według obowiązujących standardów technicznych. Mam na myśli obowiązujący stan techniczno-prawny, nie zalecenia GKG.

DR RYSZARD PAŹUS
(GeoDigitalGPS)

Raport wyrównania pomiarów statycznych

GNSS Solutions, Copyright (C) 2005 by Magellan Navigation, 2011-03-13 20:41:47
www.pro.magellangps.com

Nazwa projektu : Project165

Układ odniesienia : CYPRUS/CGRS93/LTM

Strefa czasowa : (UTC) Uniwersalny czas koordynowany

Jednostki długości : Metry

Układ odniesienia

Coordinate system

Name : CYPRUS/CGRS93/LTM
Type : Projected
Unit name : Meters
Meters per unit : 1
Vertical datum : Ellipsoid
Vertical unit : Meters
Meters per unit : 1

Datum

Name : CGRS93
Ellipsoid Name : WGS 84
Semi-major Axis : 6378137.000 m
Inverse Flattening : 298.257223563

Projection

Projection Class : Transverse Mercator
latitude_of_origin : 0° 00' 00.00000"N
central_meridian : 33° 00' 00.00000"E
scale_factor : 0.999950000000
false_easting : 200000.000 m
false_northing : -3500000.000 m

Punkty stałe : 1
Punkty wyznaczane : 1

Punkty stałe i kontrolne

Id	Współrzędne	Błąd 95% 2*m	Status	Kontrola
VRST	Y X Wys. elipsoid.	145397.871 352781.763 100.103	0.000 0.000 0.000	stała stała stała

Punkty wyznaczane

Mr/Nazwa	Współrzędne	Błąd 95% 2*m	Status	Kontrola
Trimithia	Y X Wys. elipsoid.	145395.638 352779.861 95.448	0.002 0.003 0.004	Obliczona (wirtualnie) Obliczona (wirtualnie) Obliczona (wirtualnie)

Pliki obserwacyjne

Nazwa	Czas rozpoczęcia	Interwał	Liczba Epok	Rozmiar (Kb)	Typ
CYP10911.10o	10/04/01 14:14	1	1546	591	L1 GPS/GLONASS
BVRS1A10.091	10/04/01 14:15	30	81	87	L1/L2 GPS

Obserwacje

Punkt	Typ anteny	Wys.	Typ	Typ	Odbiornika	Czas rozpoczęcia	Nazwa pliku
Trimithia	DF 5232 GPS L1	0.045	Pionowa	Wys.	AZUS Star	10/04/01 14:14:40	CYP10911.10o
VRST	<NONE>	0.000	Pionowa	Wys.	BRIDGE_MSP	10/04/01 14:15:00	BVRS1A10.091

Obliczenia

z punktu	Plik obserwacji	do punktu	Plik obserwacji	Metoda	Numer
VRST	BVRS1A10.091	Trimithia	CYP10911.10o	Stacyczna	1

Wektory obliczone

Identyfikator wektora	Długość Wektora	Ufność 95% 2*m	Składowa Wektora	Ufność 95% 2*m QA	SV PDOP	Rozwiązanie
VRST - Trimithia	5.502	0.008	X Y Z	-1.114 -3.339 -4.230	0.004 0.003 0.000	9 1.8 Jednoznaczne (Fixed)

Rys. 9. Raport końcowy wyznaczenia punktu na Cyprze