

Autorska metoda obliczeń dla pomiarów statycznych GPS

# AKTYWZNIE I WIRTUALNIE Z POZGEO D

Kłopoty z serwisem POZGEO ASG-EUPOS pojawiły się pod koniec listopada ub.r. Z powodu poważnych usterek technicznych system został zawieszony. Najbardziej dotkliwie odczuły to małe firmy geodezyjne, posiadające tylko po jednym odborniku GPS i niewielkie doświadczenie w postprocessingu.

RYSZARD PAŻUS

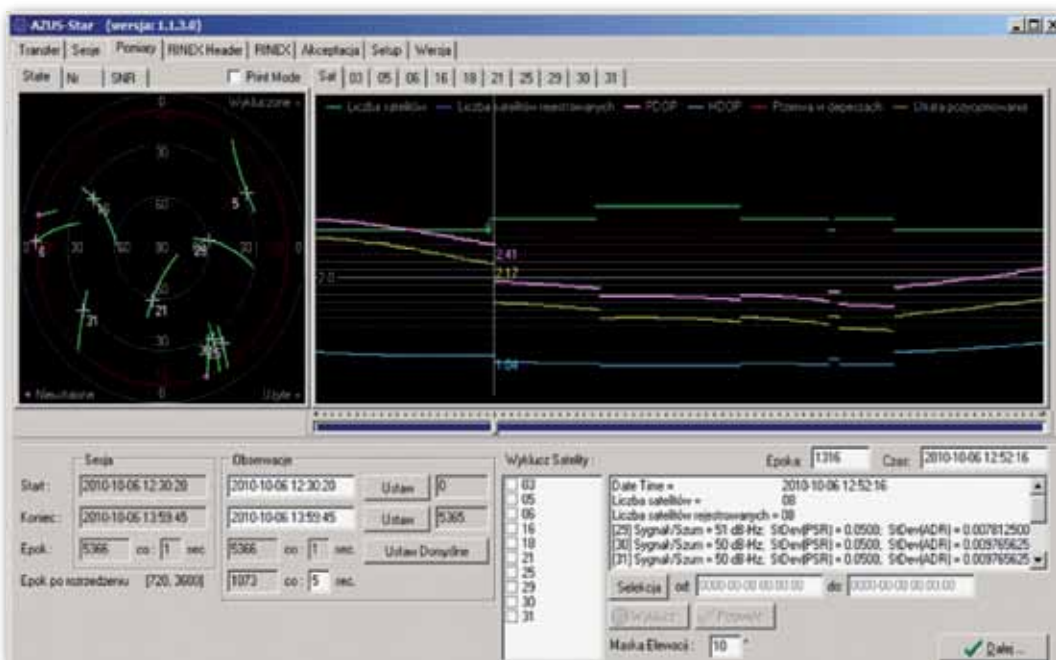
## • PRZYKŁAD

Dla wszystkich tych użytkowników opracowałem metodę obliczeń nie tylko omijając wspomniane problemy, ale prostszą, bardziej ekonomiczną i spełniającą wymogi standardów technicznych, w tym kontroli jakości obliczeń. Procedurę tę najlepiej pokazać na przykładzie, który będzie prezentowany krok po kroku. 90-minutowa sesja pomiarowa została zrealizowana jednocześnie w odborniku AZUS Star na punkcie 3601 POLREF BAŁUTY. Warunki pomiarowe: PDOP, VDOP,

HDOP i inne pokazane są na diagramie (rys. 1). Otrzymane rezultaty łatwo zweryfikować przez porównanie z danymi z banku osnów podstawowych CODGIK (punkt klasy Is 3601 POLREF), dla którego współrzędne katalogowe wynoszą:

$x_{1992} = 486251.478$  m,  $y_{1992} = 609522.402$  m  
i  $H_{Kronstadt} = 89.244$  m,  $N_{2001} = 31.774$  m,  
czyli  $h_{elip.} = 122.018$  m. Zestawienie punktów nawiazania i punkt kontrolny wyznaczany pomiarem satelitarnym są pokazane w tabeli (rys. 2).

Rys. 1. Warunki pomiarowe dla sesji przykładowej (90 minut)





Autor na punkcie pomiarowym

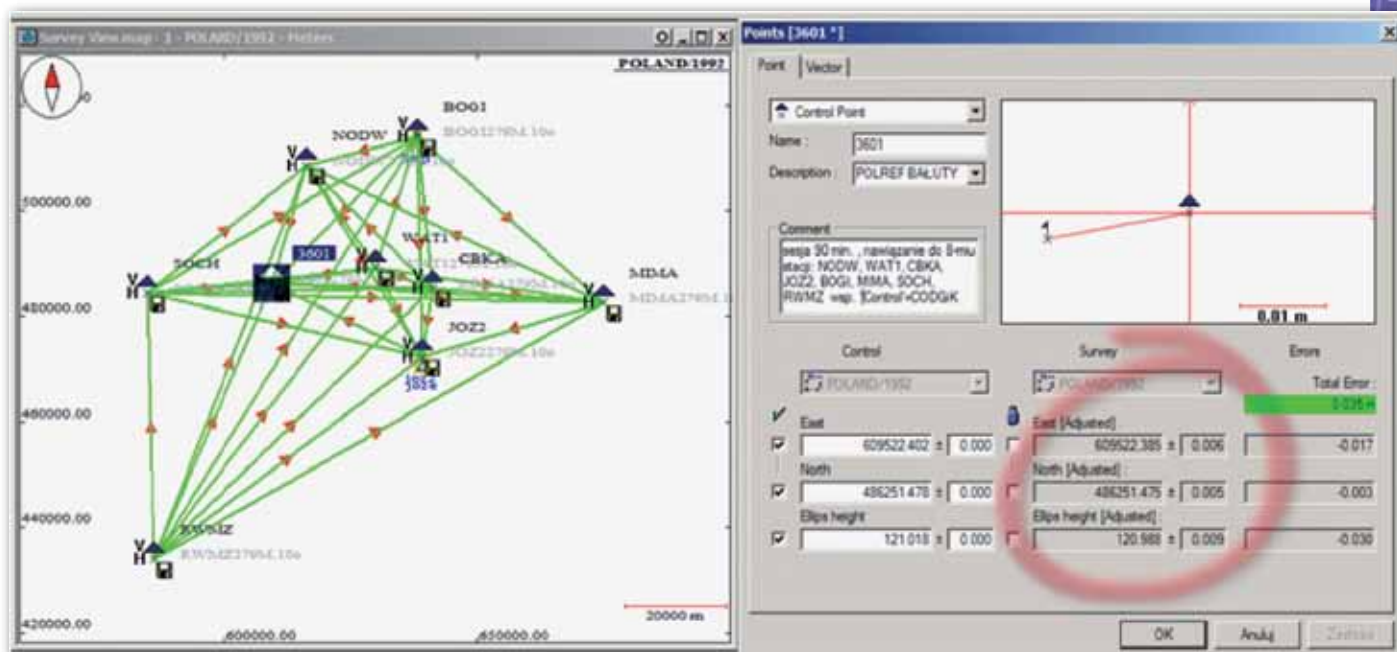
cających ocenę dokładności. Na diagramie (rys. 3) pokazano rezultaty wyrównania pełnego, tzn. z nawiązaniem do wszystkich punktów w otoczeniu punktu wyznaczanego. Jest ich osiem. Ale uwaga! Do wyrównania wzięto też wektory trywialne. Jest ich aż 27, bo tyle można utworzyć pomiędzy punktami stałymi. Współzrzednymi wyjściowymi (zwykle z mniejszym przybliżeniem) tutaj wyjątkowo były współzrzedne z banku osnów podstawowych. Zwraca uwagę wysoka dokładność wyrównania, bo  $m_x=0.006$  m,  $m_y=0.005$  m (czyli  $m_p=0.008$  m) i  $m_h=0.009$  m, przy czym ocena dokładności to błąd na poziomie ufności 95%, chociaż koresponduje ona z różnicami  $\Delta x=-0.017$  m,

### ● AKTYWNIEM I FIZYCZNIE

Zanim przejdziemy do opisu metody z zastosowaniem punktów wirtualnych, proponuję najpierw zapoznać się z rezultatami metody postprocesingu z nawiązaniem do fizycznych stacji referencyjnych. Tu ważne będzie podejście do poprawnej oceny dokładności, z którą nie wszyscy sobie radzą, nawet profesjonalści [1]. Powszeczne jest bowiem zaniechanie usuwania wektorów trywialnych, co w ujęciu matematycznym oznacza grupę wektorów nic niewnoszących do rozwiązania, ale – jak jednak się okaże – zniekształ-

Define Control Points								
Name	East	95% Err.	North	95% Err.	Ellips he	95% Err.	Control	Fixed
3601	609522.402	0.000	486251.478	0.000	121.018	0.000	Hor.&Ve	Fixed
BOGI	638185.755	0.000	514071.922	0.000	139.935	0.000	Hor.&Ve	Hor.&V
CBKA	641217.959	0.000	485199.604	0.000	125.212	0.000	Hor.&Ve	Hor.&V
JOZZ	639168.430	0.000	472135.259	0.000	152.524	0.000	Hor.&Ve	Hor.&V
MMA	674916.625	0.000	482555.259	0.000	200.750	0.000	Hor.&Ve	Hor.&V
NODW	618261.738	0.000	508617.793	0.000	125.717	0.000	Hor.&Ve	Hor.&V
RWMZ	586271.916	0.000	433841.631	0.000	187.635	0.000	Hor.&Ve	Hor.&V
SOCH	584859.863	0.000	484338.323	0.000	133.914	0.000	Hor.&Ve	Hor.&V
WAT1	629913.923	0.000	489239.970	0.000	151.680	0.000	Hor.&Ve	Hor.&V

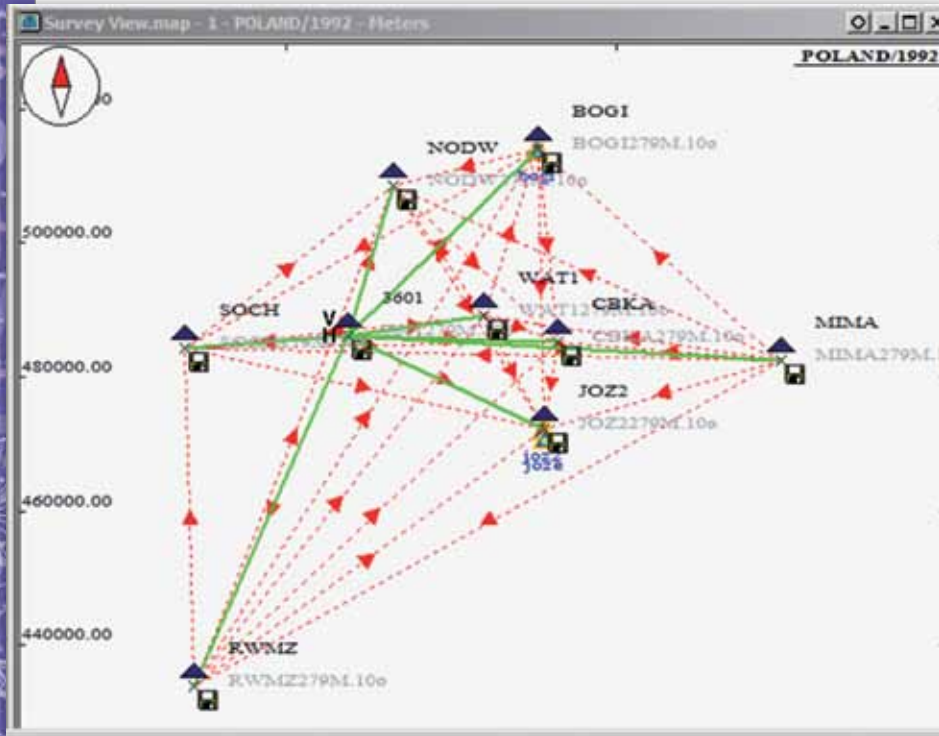
Rys. 2. Zestwienie punktów nawiązania i punkt kontrolny



Rys. 3. Rezultaty wyrównania pełnego

Done	Refere	Reference Data	Rover	Rover Data	Mode	Min Ele	Deselect	Mask	Orbit Type	L1 L2
<input checked="" type="checkbox"/>	3601	3601279M.10e	BO	BOG279M.10e	Static	10.0			Precise SP3	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	3601	3601279M.10e	MM	MMA279M.10e	Static	10.0			Precise SP3	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	3601	3601279M.10e	RIV	RVM279M.10e	Static	10.0			Precise SP3	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	3601	3601279M.10e	SOC	SOCH279M.10e	Static	10.0			Precise SP3	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	3601	3601279M.10e	NOD	NODW279M.10e	Static	10.0			Precise SP3	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	3601	3601279M.10e	WA	WAT1279M.10e	Static	10.0			Precise SP3	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	3601	3601279M.10e	CBK	CBKA279M.10e	Static	10.0			Precise SP3	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	3601	3601279M.10e	JOZ	JOZ2279M.10e	Static	10.0			Precise SP3	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	NODW	NODW279M.10e	CBK	CBKA279M.10e	Static	10.0			Precise SP3	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	NODW	NODW279M.10e	JOZ	JOZ2279M.10e	Static	10.0			Precise SP3	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	NODW	NODW279M.10e	BO	BOG279M.10e	Static	10.0			Precise SP3	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	NODW	NODW279M.10e	MM	MMA279M.10e	Static	10.0			Precise SP3	<input checked="" type="checkbox"/>

Rys. 4. Usuwamy wektory trywialne



Rys. 5. Pozostaje sieć w formie rozety

Name	Description	East	North	Ellips heig	Status	Constraints
1	3601 POLREF BAŁUTY	609522.402	486251.479	121.018	Adjusted	Horizontal & Vertical Fixed
2	BOGI	638185.765	514071.934	139.938	Adjusted	No constraints
3	CBKA	641217.996	485199.605	125.234	Adjusted	No constraints
4	JOZ2	639168.464	472135.240	152.569	Adjusted	No constraints
5	MIMA	674916.662	482555.249	200.794	Adjusted	No constraints
6	NODW	616261.740	508617.810	125.730	Adjusted	No constraints
7	RWMZ	586271.937	433841.612	167.684	Adjusted	No constraints
8	SOCH	584659.666	484336.332	133.939	Adjusted	No constraints
9	WAT1	629913.942	489239.968	151.711	Adjusted	No constraints

Rys. 6. Współrzędne otrzymane w wyniku obliczeń

$\Delta y = -0.003$  m i  $\Delta h = -0.030$  m. W  $\Delta h$  mamy jeszcze błąd  $m_N$  rzędu 2-3 cm. Trzeba dodać, że wszystkie te wektory trywialne pochodzą z sesji pomiarowych odbiornikami dwuczęstotliwościowymi, bo takie są na stacjach referencyjnych ASG-EUPOS. To dodatkowe zamącenie całego układu (rys. 3).

Zobaczmy, co stanie się w przypadku, kiedy wyrównanie odbędzie się bez tych wektorów. Ale dla otrzymania poprawnej oceny dokładności potrzebna jest tu

zupełnie inna procedura. Nigdzie w literaturze fachowej nie spotkałem się z takim podejściem, więc pokrótce je opiszę. Przyjmując jako punkt stały nasz punkt wyznaczony, obliczamy współrzędne, nazwijmy je pośrednimi, punktów stacji referencyjnych. Wektory trywialne usuwamy (rys. 4). Pozostaje więc sieć w formie rozety (rys. 5), z której otrzymujemy współrzędne (rys. 6).

Teraz te współrzędne pośrednie wystarczy poddać transformacji Helmerta-

-Hausbrandta, tzn. transformacji konformnej 1. stopnia z korektą prof. Stefana Hausbrandta, by w rezultacie otrzymać najbardziej rzetelną ocenę dokładności współrzędnych punktu wyznaczanego  $m_x = 0.0077$  m,  $m_y = 0.0070$  m,  $m_p = 0.0104$  m ( $x = 609522.389$  m,  $y = 486251.477$  m).

I na koniec tej części istotna uwaga. Dokładności tutaj otrzymywane to rezultat długiej sesji obserwacyjnej, bo aż 90-minutowej. Niewiele gorsze wyniki otrzymuje się w sesjach 40-minutowych. Sesje jeszcze krótsze wymagają bardzo dobrego PDOP ( $< 2.0$ ). Podsumowując tę część, trzeba stwierdzić, że zarówno długość sesji, jak i czas trwania obliczeń postprocessingu (około 15-20 minut) trochę zniechęcają. Pora więc przejść do zasadniczego tematu.

#### • AKTYWNI I WIRTUALNI

Opisana poniżej procedura wykonywania postprocessingu została przygotowana dla użytkowników odbiorników AZUS, którzy zamierzają wykonywać własne obliczenia (nie tylko przy użyciu serwisu POZGEO ASG-EUPOS), ale może być z powodzeniem stosowana także przez użytkowników innych odbiorników. Spełnia ona kryteria standardów technicznych. Procedurę tę można opisać jako metodę wykorzystania stacji wirtualnych symulujących poprzez pliki RINEX sesje pomiarowe odbiornikiem dwuczęstotliwościowym dla celów: wyznaczenia położenia punktu odbiornikiem jednoczęstotliwościowym i kontroli obliczeń. Przedstawiona procedura obliczeń jest alternatywą do obliczeń wykonywanych w nawiązaniu do fizycznych punktów nawiązania (stacji referencyjnych ASG-EUPOS). W przedstawianych przykładach wykorzystano programy GNSS Solutions firmy Ashtech-Magellan. Przy okazji porównano programy korzystające ze zróżnicowanych sposobów podejścia do wyrównywania obserwacji. W GNSS Solutions jest to wyrównanie w układzie 2D+1, z opcją pokazywania wyników w układzie 3D w prezentacjach graficznych, co jest zgodne z instrukcją G-2 [GUGiK, 2001]. Skorzystano też z dostępnego na rynku programu Topcon Tools (wersja demo i beta), w których są możliwe obliczenia w układzie geocentrycznym XYZ.

#### • OPIS METODY

Metoda polega na wygenerowaniu dwóch wirtualnych stacji referencyjnych w pobliżu punktu wyznaczanego,

odpowiadających co najmniej sesjom obserwacyjnym 40-minutowym. Należy tu dodać, że te wirtualne sesje są równoważne pomiarom odbiornikami dwuczęstotliwościowymi. Stacje referencyjne są tworzone tak, aby odległość między nimi była znana i łatwo rozpoznawalna w celach kontrolnych. Jest to z kolei równoważne z wirtualnym pomiarem kontrolnym między punktami wirtualnymi. Tu przyjęto odległość 10.000 m, chociaż może być oczywiście też inna. Wyrównanie swobodne (jeden punkt wirtualny jako stały) bez otrzymania zakładanej wielkości wektora między punktami wirtualnymi sygnalizuje błędy grube i takie obliczenia nie są akceptowane. Powodem jest najczęściej za krótka sesja obserwacyjna, zwykle poniżej 10 minut. Poza istotnym wskaźnikiem PDOP dochodzą tu inne wpływy, takie jak jonosfera czy zakłócenia przeszkodami terenowymi.

Nasza sesja obserwacyjna na punkcie wyznaczonym musi zawierać się wewnątrz okresu sesji wirtualnych. Gdyby była dłuższa, to początek i koniec sesji wirtualnych ograniczyłby ją i spowodował faktyczne jej skrócenie. Wyrównanie wektorów wykonuje się w nawiązaniu do jednego z punktów wirtualnych, drugi jest punktem kontrolnym, do którego wektor powinien dawać w wyniku założoną przez nas wielkość, czyli 10.000 m. Odchyłka od tej wielkości jest kontrolą obliczeń, ale nie daje oceny dokładności wyznaczenia naszego punktu. W ten sposób mamy możliwość wyznaczania dokładnego w sesjach skróconych przy zastosowaniu odbiornika jednoczęstotliwościowego. Dla PDOP < 2,0 wystarcza sesja 20-minutowa dla otrzymania dokładności lepszych od 1 cm w poziomie i wysokości. Prowadzone w ten sposób obliczenia nie dość, że efektywne, to zajmują niewiele czasu. Mając z serwisu POZGEO D dane ze stacji referencyjnych, jesteśmy w stanie całość obliczeń wykonać w ciągu kilku minut.

Metoda ma swoje zalety, ale też wadę. Nie wynika ona z naszego działania, tylko z niepodawania przez system ASG-EUPOS błędów wyznaczenia  $m_p$  i  $m_n$  punktów wirtualnych. Błędy te są podstawą oceny dokładności. Problem braku takiej oceny dokładności powoduje, że np. w metodach RTK i RTN wszyscy producenci zachwalają otrzymanie wysokich milimetrowych dokładności. Jest to nieprawda, na którą dają się nabrać niektórzy wykonawcy.



Rys. 7. Dokładność można oceniać pośrednio na podstawie wpływów geometrycznych i jonosferycznych

```

E:\TRANS~1\TKF.EXE
TRANSFORMACJA KONFOREMNA
PUNKCJA: współczynniki(1) czy przeliczenia(2)?... 1
nazwa zbioru N.U.W.X.Y ..... tie_UR
stopień transformacji..... 1
MX = .0039 MY = .0026 MP = .0047
UXmax = -.0082 UYmax = .0058 UPmax = .0086
    
```

Rys. 8. Najbardziej rzetelną ocenę dokładności dają błęd transformacji

Widać to wyraźnie na forach dyskusyjnych w internecie. Do czasu uporania się ASG-EUPOS z tą wadą proponuję oceniać dokładność wyznaczenia pośrednio z wpływów geometrycznych i jonosferycznych. I tak, np. dla 6 października 2010 r. w czasie od 12:30:00 do 13:10:00 było jak na rys. 7.

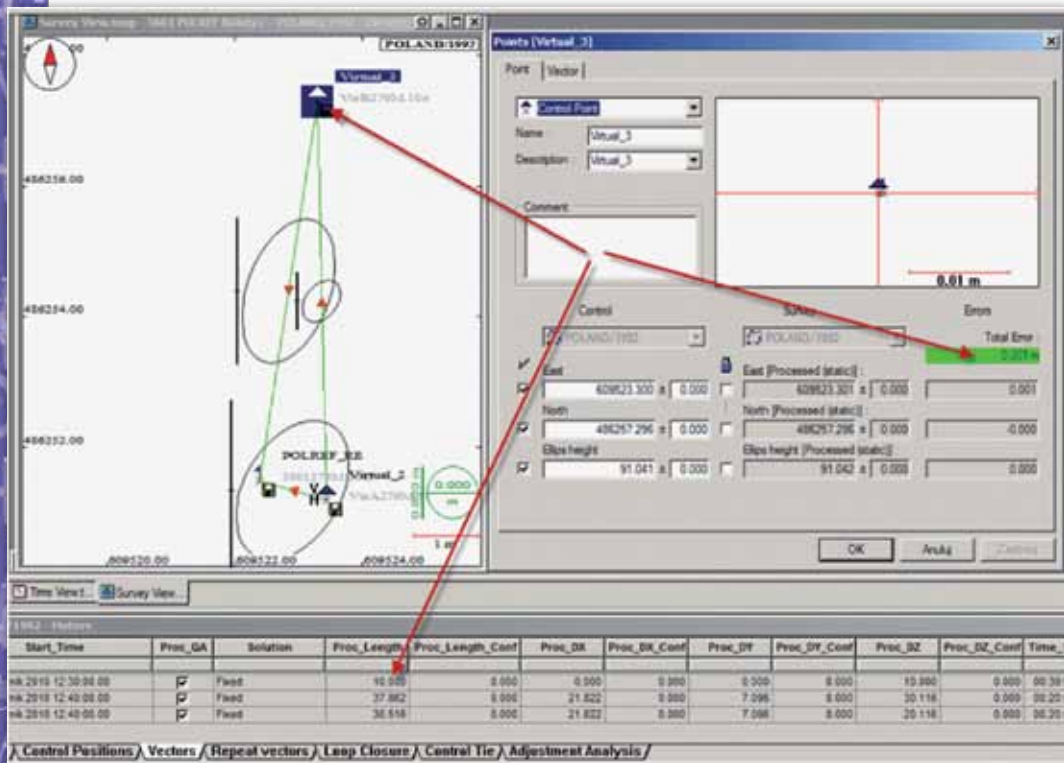
Łączny wpływ daje  $m_p = 0.017$  m (gdzie  $m_{(geometr.)} = 0.011$  m,  $m_{(jono.)} = 0.013$  m) i taki powinniśmy przyjmować dla punktów wirtualnych, a w konsekwencji dla punktu wyznaczanego. Inną metodą otrzymania dokładności wyznaczenia

położenia punktu wirtualnego jest wysłanie tego pliku do serwisu POZGEO. Ale najbardziej rzetelną ocenę dokładności dają błęd opisanej wcześniej transformacji. Dla sesji wirtualnej 40-minutowej, z interwałem 1 sekundy, dla naszego punktu wyznaczanego błąd ten wynosi niewiele, bo  $m_p = 0.005$  m. To bardzo ważny wniosek, który prawdopodobnie można przyjmować jako dokładność a priori podobnie wyznaczanych punktów wirtualnych (rys. 8). Oczywiście nasuwa się uwaga, że najlepiej nie skracać sesji wirtualnej, tylko ją wydłużać, na-

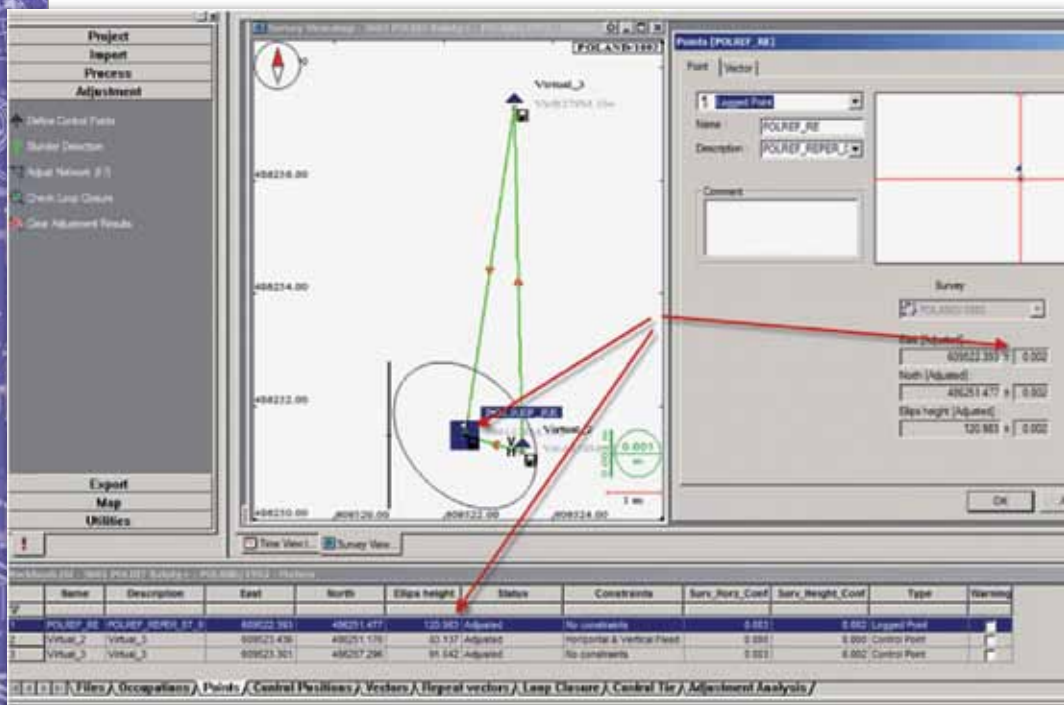
```

3601279M.100 - Notatnik
Plik Edycja Format Widok Pomoc
2.10 OBSERVATION DATA G (GPS) RINEX VERSION / TYPE
AZUS Star 1.1.0.0 Ryszard Pazus 2010-12-05 14:14:50 PGM / RUN BY / DATE
Signal Strength values S1,S2 are in dBHz COMMENT
OS: 6.1 build:7600 COMMENT
3601 MARKER NAME
Ryszard Pazus GeoDigitalGPS OBSERVER / AGENCY
AZUS_BHD10040364 LQMS L6X010011RW0000 REC # / TYPE / VERS
0 ANT # / TYPE
DF 5232 GPS L1 APPROX POSITION XYZ
3664283.3095 1377619.3347 5018694.0720 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 0 0.0000 0.0000 WAVELENGTH FACT L1/2
COMMENT
COMMENT
COMMENT
4 C1 L1 D1 S1 # / TYPES OF OBSERV
1.000 INTERVAL
2010 10 06 13 07 00.000000 GPS TIME OF FIRST OBS
TIME OF LAST OBS
END OF HEADER
1.000
0.000
VRS1: X=3664283.000, Y=1377619.000, Z=5018680.000
VRS2: X=3664283.000, Y=1377619.000, Z=5018690.000
d=10.000m
    
```

Rys. 9. Pliki RINEX i nawigacyjne z serwisu POZGEO D



Rys. 10. Obliczamy wektory



Rys. 11. Następnie wyrównujemy je w wyrównaniu swobodnym

wet do rozpiętości pozwalającej opracować jednym postprocessingiem nasze dwie czy trzy sesje, jeśli są wykonywane jedna po drugiej.

Pozostaje zilustrowanie tej metody przykładem. Tutaj wykorzystamy sesję 20-minutową. Tworzymy dwie stacje wirtualne w pobliżu naszego punktu na

podstawie danych z nagłówka naszego RINEX. Z serwisu POZGEO D ściągamy dla tych dwóch stacji pliki RINEX i pliki nawigacyjne GPS (rys. 9). Obliczamy wektory (rys. 10), które wyrównujemy w wyrównaniu swobodnym (rys. 11). I to jest koniec naszych obliczeń. Pozostaje tylko wydrukować raport dla do-

kumentacji technicznej. Do tego celu będzie trzeba prawdopodobnie zmienić układ współrzędnych na 2000, co wykonuje się bardzo prosto (od razu mamy wszystkie tabele w tym układzie).

Na zakończenie należy podkreślić ważne kryteria jakości takiej procedury obliczeń. Rozwiązania tych krótkich wektorów muszą być typu *fixed*, a na dodatek odległość między punktami wirtualnymi równa naszej założonej, czyli 10.000 m. Takie rezultaty dają już sesje pomiarowe 10-minutowe (u nas była sesja 20-minutowa). Jeżeli do tego dodamy na obliczenia kilka minut, mamy atrakcyjną alternatywę dla serwisu POZGEO.

Na zakończenie dygresja. Może się wydawać, że punkty wirtualne to jakieś nowoczesne podejście do obliczeń geodezyjnych. Nic bardziej mylnego. Autor tego opracowania był w zespole nagrodzonym przez prezesa GUGiK w 1969 roku za opracowanie metody triangulacji wirtualnej zastępującej krajową sieć wypełniającą na potrzeby wyrównania sieci 1 klasy. Cel był trochę inny, bo trzeba było opracować metodę pozwalającą na wyrównanie przy pamięci operacyjnej komputera 4 kB.

DR RYSZARD PAŹUS  
(GeoDigitalGPS)

Wykorzystano oprogramowanie:

- GNSS Solutions firmy Ashtech-Magellan wersja 3.10.11 (postprocessing);
- TKF dr. inż. Witolda Gedymina (transformacja konforemna);
- AZUS\_Star firmy GeoDigitalGPS wersja 1.1.3.0 mgr. Aleksandra Mroza (preprocessing).

Literatura:

- [1] Potterfield. M., Geodetic Solutions, [http://www.geodeticsolutions.com/#trivial\\_baselines](http://www.geodeticsolutions.com/#trivial_baselines);
- [2] Pażus R., Osada E., Olejnik S., 2002:Geoida niwelacyjna 2001, GEODETA 5 (84), [www.geoforum.pl/archiwum](http://www.geoforum.pl/archiwum);
- [3] Pażus R., 2001: Instrukcja techniczna G-2: Szczegółowa pozioma i wysokościowa osnowa geodezyjna i przeliczenia współrzędnych między układami, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa.