

Wyrównanie pomiarowych osnów zintegrowanych przy zastosowaniu programu C-GEO wraz z przykładami, cz. II

Lekcja praktyczna

Po teoretycznym omówieniu w GEODECIE 2/2013 problematyki łącznego wyrównania obserwacji satelitarnych i klasycznych oraz modułu wyrównania osnów w programie C-GEO firmy Softline nadszedł czas na przedstawienie przykładów. W niniejszym artykule prezentowane są rozwiązania obejmujące pomiary satelitarne (statyczne i RTK) oraz klasyczne tachimetryczne. Łączne wyrównanie przeprowadzono metodą najmniejszych kwadratów.

Jerzy Biegalski
Rafał Kocierz

Dla potrzeb aktualizacji mapy zasadniczej, obsługi tyczenia zabudowy jednorodzinnej oraz ewentualnych pomiarów powykonawczych założono w terenie 4 punkty osnowy pomiarowej (rys. 1). Przy wybieraniu miejsc stabilizacji punktów kierowano się wygodą ich późniejszego wykorzystania, nienaruszalnością podczas prac budowlanych

oraz warunkiem najkrótszej celowej nawiązania (musi być dłuższa niż 40 m). Ponieważ w pobliżu rozpatrywanego obszaru nie odnaleziono żadnego punktu osnowy geodezyjnej, zdecydowano się na nawiązanie założonych punktów pomiarowych do układu państwowego przez zrealizowanie na dwóch z nich statycznego pomiaru GPS i wykorzystanie stacji sieci ASG-EUPOS.

• Wyrównanie osnowy z wektorami mierzonymi statycznie

Zastosowano jednoczesnościowy odbiornik Leica GS20, a pomiar na każdym z wyznaczonych punktów trwał w przybliżeniu 30 minut. W celu precyzyjnego opracowania statycznych pomiarów fazowych zastosowano metodę zaproponowaną przez R. Pażusa [10], polegającą na nawiązaniu pomiarów do stacji wirtualnych. Wydawać by się mogło, że przy zakładaniu osnów pomiarowych nie ma sensu używać metod statycznych, skoro w znacznie krótszym czasie ten sam efekt można uzyskać technologią RTK/RTN. Jednak ceny odbiorników umożliwiających pomiar w tym trybie (dwuczesnościowych) zaczynają się od około 20 tys. zł netto.

To dosyć dużo, jeśli geodeta większość pomiarów wykonuje tachimetrem elektronicznym, a GNSS chce wykorzystać jedynie do zakładania osnów pomiarowych. Natomiast najprostsze odbiorniki do pomiarów statycznych są do nabycia już za około 5 tys. zł netto (np. Azus-Star+ czy CHC X20). Do opracowania pomiarów fazowych można wykorzystać darmowe w zakresie obliczeń jednoczesnościowych oprogramowanie GNSS Solutions [10], a dla potrzeb kontrolnych użytkownik może przesłać zarejestrowane dane do serwisu POZGEO w celu automatycznego obliczenia końcowych współrzędnych.

W naszym przykładzie wykorzystano serwis POZGEO D do wygenerowania obserwacji dla stacji wirtualnej (technologia VRS firmy Trimble) znajdującej się pomiędzy punktami wyznaczonymi (rys. 1) oraz dla kontroli pobrano zarejestrowane dane dla pobliskiej fizycznej stacji permanentnej OPLE. Wszystkie obliczenia wektorów GPS (postprocessing obserwacji) wykonano w programie Leica GeoOffice (LGO), a następnie w postaci pliku tekstowego zaimportowano do programu C-GEO. Wykorzystano format eksportu LeicaRTKBaselineCGEO.FRT przygotowany przez firmę Softline w celu ułatwienia i ujednolicenia procedury wczytywania obliczonych danych.

Pomiary na dwóch pozostałych punktach osnowy zrealizowano tachimetrem Nikon DTM410. Kontrolnie pomierzono również odległość między punktami, na których wykonano pomiary GPS (5001-5002). Zarejestrowane dane biegunowe 3D wczytano bezpośrednio do modułu tachimetrycznego programu C-GEO (rys. 2). Następnie usunięto błędne pomiary, zweryfikowano numerację punktów oraz oznaczono punkty osnowy jako nawiązania. Do obliczenia obserwacji pomierzonych w dwóch



Rys. 1. Szkic osnowy pomiarowej

Tachimetria (5003.TCH)

Stanowisko: 5003 Data pomiaru: Uwagi:

Wys. instr.: 1.570 Godz. pomiaru: Opcje

Lp	Numer	Odl. prz.	Kierunek	Kąt zenit.	Hc	Domiar	X	Y	H	mp	mH
1	5001	41.30	0.0002	100.0359	1.700		5611546.66	6488688.43	170.958		
2	5002	54.14	347.3965	99.4651	1.700		5611553.34	6488648.91	171.437		
3	5002	54.12	147.3944	300.5321	1.700		5611553.34	6488648.91	171.437		
4	5001	41.31	199.9965	299.9619	1.700		5611546.66	6488688.43	170.958		
5											

Kierunek na pikietę m0: 0.0000

Rys. 2. Moduł obliczeń tachimetrycznych w programie C-GEO

Pomiar kątów metodą kierunkową

Stanowisko 5003

Stan.	Cel	I poł.	II poł.	Dzred. I	Dzred. II	fk	fd
5003	5001	0.0002	199.9965	41.30	41.31	-0.0037	-0.01
	5002	347.3965	147.3944	54.14	54.12	0.0021	0.02

Kąty średnie

Cel	Kąt 0.0000	Kąt	Odl.zred
5001	0.0000		41.30
		347.3971	
5002	347.3971		54.13

Stanowisko 5004

Stan.	Cel	I poł.	II poł.	Dzred. I	Dzred. II	fk	fd
5004	5001	399.9998	200.0037	55.36	55.36	-0.0039	0.00
	5002	51.4107	251.4075	40.71	40.73	-0.0032	-0.02

Kąty średnie

Cel	Kąt 0.0000	Kąt	Odl.zred
5001	0.0000		55.36
		51.4073	
5002	51.4073		40.72

podczas importu są automatycznie uśredniane. Dodano również pomierzoną odległość zredukowaną między punktami mierzonymi techniką GNSS, która pełni funkcję bezpośredniej kontroli pomiarów satelitarnych. Dla potrzeb wyrównania niezbędne jest określenie błędów pomiaru. Mają one kluczowe znaczenie w procesie obliczeniowym i przy ich ustalaniu należy zachować ostrożność. W naszym przykładzie pomiary tachymetryczne wykonywano, sygnalizując cel za pomocą tyczki pomiarowej z lustrem, jednak przy pomiarach kątowych celowano na styk szpica tyczki z zastabilizowanym znakiem (stąd dokładność na poziomie 30^{cc}). Mając na uwadze wcześniejsze zastrzeże-

położeniach lunety oraz wyznaczenia różnic między tymi pomiarami służy moduł „Dziennik kątów i boków”. Wygenerowany dziennik sprawdzono pod kątem ewentualnych pomyłek w numeracji oraz błędów pomiaru (tabela powyżej).

Na podstawie pozyskanych danych wykonano szkic pomiaru osnowy pomiarowej na tle ortofotomapy oraz danych z ośrodka dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej (rys. 1). Po zebraniu wszystkich niezbędnych danych przystąpiono do wczytania ich do modułu wyrównania osnowy geodezyjnych, zaczynając od obliczonych wektorów GNSS. Poprzednio utworzony plik z programu LGO, oprócz informacji o składowych wektora oraz pełnej informacji o błędach pomiaru (macierzy wariancyjno-kowariancyjnej), zawiera również współrzędne geocentryczne stacji nawiązania. Wszystkie te dane zostały automatycznie zapisane w odpowiednich zakładkach modułu (rys. 3). Przy tej okazji należy zwrócić uwagę na wyznaczone bardzo małe błędy wektorów GNSS (nie uwzględniają one np. błędów centrowania czy też pomiaru wysokości anteny).

Rys. 3. Wczytywanie wektorów GNSS do modułu wyrównania

Rys. 4. Wprowadzenie błędów pomiaru

Stacja	Cel	Dzred. I	Dzred. II	fk	fd	q12	q13	vdK	dK wyr
1	OPLE	5002	-2 003.995	0.00000002	0.00000001	0.00000001	0.00000002		
2	OPLE	5002	4 032.946	0.00000005	0.00000001	0.00000001	0.00000001	q22	vdY
3	V618	5001	-4 630.008	0.00000001	0.00000001	0.00000001	0.00000001	q32	dY wyr
4	V618	5002	-1 999.443	0.00000004	0.00000001	0.00000001	0.00000006	q33	dZ wyr

Błędy pomiaru

Zestawy błędów: DTM410 na tyczkę

Pomiary klasyczne:

- Błąd pom. kąta HZ [g]: 0.0030
- Błąd pom. kierunku [g]: 0.0030
- Błąd pom. kąta V [g]: 0.0030
- Błąd pom. azymutu [g]: 0.0050
- Błąd dalmierza "a" [m]: 0.007
- Błąd dalmierza "b" [m]: 0.002
- Błąd wys. instr. [m]: 0.005
- Błąd wys. tyczki [m]: 0.005
- Błąd centrowania [m]: 0.003
- Błąd ust. tyczki [m]: 0.003
- Błąd pion. tyczki [g]: 0.0000
- Błąd przewyższenia [m]: 0.005
- Błąd przewyższenia na kilometr ciągu lub stanowisko [m]: 0.005

Pomiary GNSS:

- m0 a priori dla wektorów GNSS: 1.000000
- Błąd stały wektora GNSS [m]: 0.0000
- Błąd systematyczny wektora GNSS [m/km]: 0.0000

OK Anuluj

Po wczytaniu obserwacji satelitarnych zaimportowano do odpowiedniej zakładki modułu dane tachymetryczne, które dla przejrzystości obliczeń oraz eliminacji błędów kolimacji i inklinacji

nie, nie jest możliwe wykonanie pomiaru odległości z dokładnością nominalną instrumentu (czyli 3 mm + 3 ppm). Założono, iż czynnik stały błędu standardowego dalmierza będzie wynosił ±7 mm.

Wprowadzono również błędy centrowania (tachimetru, sygnału czy też odbiornika GPS) na poziomie ± 3 mm, zaś dokładność pomiaru wysokości na ± 5 mm. Przyjęte wartości wygodnie jest zapisać jako „Zestaw błędów” do wykorzystania przy następnej okazji (rys. 4).

W ostatnim etapie należy zdecydować, czy wyrównanie ma być tylko sytuacyjne, czy też przestrzenne. W dalszej kolejności moduł sam wyznaczy współrzędne przybliżone wszystkich punktów sieci, a następnie wyrówna obserwacje. Wyznaczone wielkości zostaną uwidocznione w odpowiednich zakładkach, a dla potrzeb wydruku zostanie sporządzony raport.

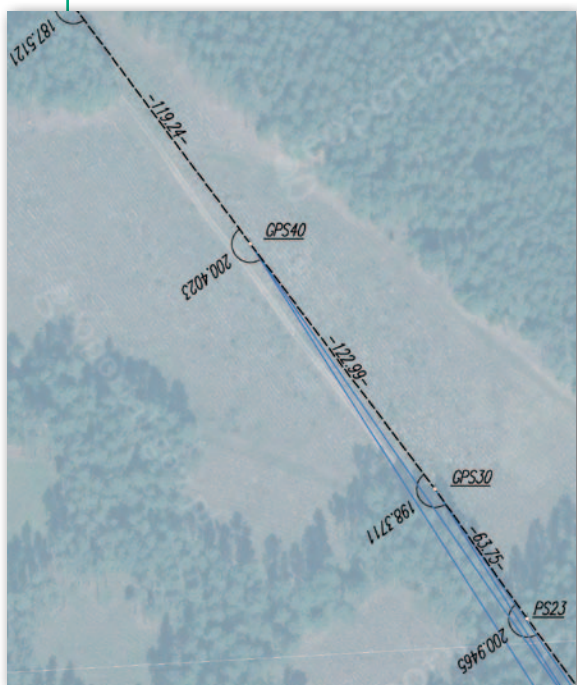
• Wyrównanie osnowy z punktami mierzonymi RTK/RTN oraz tachymetrycznie

W drugim przykładzie przybliżymy sposób łącznego wyrównania wektorów pomierzonych metodą RTK z obserwacjami klasycznymi (kąta i długościami). Pomiar sytuacyjny wykonano w zwartym obszarze leśnym. W terenie nie odnaleziono pobliskich punktów osnowy, dlatego punkty o dogodnym horyzoncie (rys. 5) pomierzono techniką RTN w nawiązaniu do sieci stacji referencyjnych ASG-EUPOS. Do pomiaru satelitarnego wykorzystano punkty skrajne i punkty środkowe osnowy pomiarowej (inaczej pojedynczy ciąg byłby za długi i nie spełniałby wymogów rozporządzenia). Pomiar odbiornikiem Leica Viva z kontrolerem CS10 wykonano na każdym punkcie dwukrotnie z niezależną inicjalizacją odbiornika. Pojedynczy pomiar obejmował minimum 30 epok (z interwałem rejestracji 1 s). Następnie sporządzono raport z pomiaru RTN. Za pomocą formularza firmy Softline (LeicaRTKBaselineCGEO.frt) wygenerowano plik tekstowy z informacją o położeniu wykorzystanych stacji referencyjnych, wyznaczonych wektorach i pełną charakterystyką dokładnościową.

Pozostałe punkty powiązane obserwacjami wykonanymi tachimetrem elektronicznym, a dane przetransmitowano bezpośrednio do programu C-GEO. Podobnie jak w pierwszym przykładzie niezbędne było „oczyszczenie pomiarów”

(np. poprawa numeracji punktów) i oznaczenie punktów nawiązania (rys. 6).

W celu późniejszego wyrównania obserwacji zestawionych w dziennikach pomiarowych zapisano je w bazie obserwacji w C-GEO. Można w niej składować wszystkie pomiary niezbędne do zakładania osnow, zarządzać nimi oraz je uśredniać (rys. 8). Tak przygotowane dane pozwalają przystąpić do wyrównania obserwacji oraz wyznaczenia najbardziej prawdopodobnych współrzędnych punktów osnowy pomiarowej. Prace rozpoczęto od wczytania do modułu wyrównania wektorów wyznaczonych metodą RTN, później zaimportowano obserwacje klasyczne w postaci kątów i długości boków. Ponieważ plik z odbiornika GNSS zawierał współrzędne geocentryczne stacji bazowych, możliwe było ich przeliczenie do właściwego układu płaskiego oraz wprowadzenie jako punktów stałych. Do wyrównania niezbędne są również błędy obserwacji. W przypadku wektorów GNSS wyznacza je oprogramowanie odbiornika, jednak w odniesieniu do obserwacji klasycznych ich wartości muszą być wprowadzone przez użytkownika. Na podstawie analizy pomiarów (np. pomiaru odległości w dwóch kierunkach) oceniono dokładność pomiaru odległości na ± 30 mm w przypadku błędu stałego oraz 3 mm błędu systematycznego, zaś błąd pomiaru kąta oszacowano na $\pm 30''$. Po uruchomieniu procedury obliczeniowej następuje automatyczne wyznaczenie współrzędnych przybliżonych oraz wyrównanie wszystkich zebranych obserwacji (z niezbędnymi redukcjami) według metody C.F. Gaussa. Wyniki obliczeń przedstawia rys. 9. Do operatu technicznego sporządza się raport z wyrównania przedstawiający cały proces obliczeniowy.



Rys. 5. Przykład usytuowania punktów RTN

Lp	Numer	Stanowisko	Data pom.	Rozm.	Zmodyf.	Zakres	Uwagi
1	1	TACH-1.TCH	2013.01.19	5 474	2013.01.19	1 do 63	
2	2	TACH-10.TCH	2013.01.15	18 430	2013.01.15	870 do 1063	
3	3	TACH-11.TCH	2013.01.15	10 523	2013.01.15	761 do 869	
4	4	TACH-12.tch	2013.01.15	18 040	2013.01.15	568 do 760	
5	5	TACH-13.tch	2013.01.15	7 125	2013.01.15	501 do 588	
6	6	TACH-14.tch	2013.01.15	13 577	2013.01.15	1157 do 1304	
7	7	TACH-15.tch	2013.01.15	8 356	2013.01.15	1305 do 1389	
8	8	TACH-16.tch	2013.01.15	26 529	2013.01.15	1390 do 1658	
9	9	TACH-17.tch	2013.01.15	16 576	2013.01.15	2016 do 2184	
10	10	TACH-18.tch	2013.01.15	25 819	2013.01.15	2185 do 2467	
11	11	TACH-19.tch	2013.01.15	12 025	2013.01.15	2396 do 2568	
12	12	TACH-2.TCH	2013.01.15	13 228	2013.01.15	64 do 202	
13	13	TACH-20.tch	2013.01.15	8 168	2013.01.15	3340 do 3419	
14	14	TACH-21.tch	2013.01.15	21 789	2013.01.15	3110 do 3339	
15	15	TACH-22.tch	2013.01.15	10 498	2013.01.15	3001 do 3108	
16	16	TACH-3.TCH	2013.01.15	13 972	2013.01.15	203 do 347	
17	17	TACH-4.TCH	2013.01.15	9 495	2013.01.15	348 do 446	
18	18	TACH-5.TCH	2013.01.15	5 333	2013.01.15	447 do 500	
19	19	TACH-6.TCH	2013.01.15	8 924	2013.01.15	1701 do 1792	
20	20	TACH-7.TCH	2013.01.15	10 272	2013.01.15	1793 do 1898	

• Konkretne wymagania

Autrzy artykułu starali się przybliżyć najistotniejsze różnice między instrukcjami technicznymi a rozporządzeniem z 2011 r. w zakresie obliczania osnowy pomiarowej.

Rys. 6. Zarządzanie wczytanymi obserwacjami tachymetrycznymi. W celu uśrednienia pomiarów wykonanych w dwóch położeniach oraz oceny dokładności pomiaru wygenerowano „Dzienniki pomiaru metodą kierunkową”

Opisano też zastosowanie aplikacji opracowanej po wejściu w życie rozporządzenia umożliwiającej przeprowadzenie procesu wyrównania ścisłego zgodnie z wymaganiami prawnymi. Nowe przepisy wprowadziły zmiany nie tylko „na papierze”, ale też w praktyce. Wiele z nich jest krytykowanych, są jednak i takie, które były niezbędne, gdyż instrukcje opracowane ponad 25 lat temu (np. G-1, G-2, G-4) były już przestarzałe. Rozporządzenie definiuje m.in. wymagania co do osnowy pomiarowej i realizacyjnej. Należy więc ułatwiać geodetom spełnienie wymagań nowych przepisów, wykonywanie prac jak najlepiej, najniższym kosztem i w najkrótszym czasie, tak aby inwestorzy nie traktowali geodezji jako najslabszego ogniwa procesu inwestycji.

Twórcy C-GEO spotykają się na co dzień z problematyką metod pomiaru osnów pomiarowych i ich przetwarzania z wykorzystaniem rachunku wyrównawczego. Niestety, teoria rachunku wyrównawczego jest w trakcie studiów geodezyjnych najczęściej niedoceniana. Powoduje to w praktyce zawodowym, pomiarem i opracowaniem osnowy pomiarowej. Może więc dobrze się stało, że nowe rozporządzenie stawia konkretne wymagania w tym zakresie.

Autorzy artykułu od początku 2012 r. notowali duże zainteresowanie geodetów problematyką jednoczesnego wyrównania osnów zawierających obserwacje klasyczne i satelitarne. Liczne pytania na internetowych forach geodezyjnych, wymiana korespondencji elektronicznej i rozmowy telefoniczne geodetów bezpośrednio z producentami oprogramowania C-GEO sygnalizowały potrzebę opracowania modułu ścisłego wyrównania osnów 3D/GNSS. Tworząc nowy moduł, przyjęto więc następujące założenia:

1. umożliwienie wyrównania osnów dwufunkcyjnych – sieci przestrzennych i zawierających obserwacje satelitarne,

2. maksymalne ułatwienie geodecie wykonywania skomplikowanego procesu obliczeniowego wyrównania ścisłego,

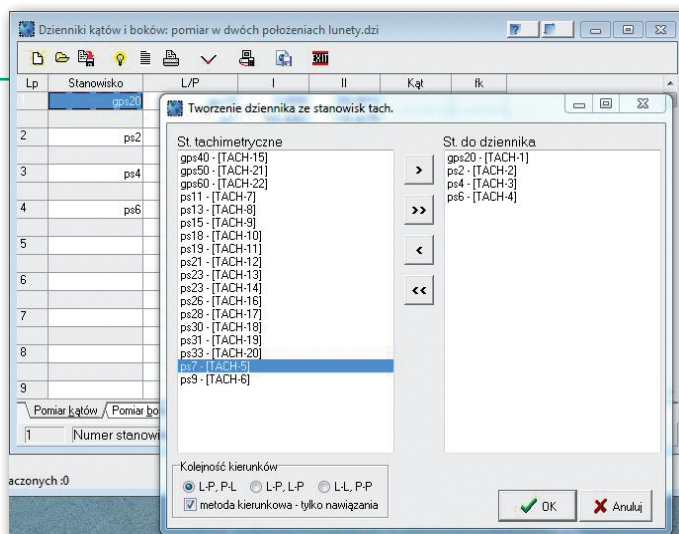
3. import wektorów GNSS wraz z ich błędami z różnych formatów plików i odbiorników,

4. wykorzystanie bezpośredniego dostępu do danych tachymetrycznych (współpraca C-GEO z tachimetrami),

5. tworzenie czytelnych raportów z obliczeń i opracowań graficznych przedstawiających wyrównaną osnowę pomiarową,

6. udostępnienie aplikacji prostej i wygodnej w użyciu, dostępnej dla jak największej grupy geodetów.

Zdaniem autorów cele te zostały spełnione i aplikacja udostępnia geodetom zaawansowane metody obliczeniowe



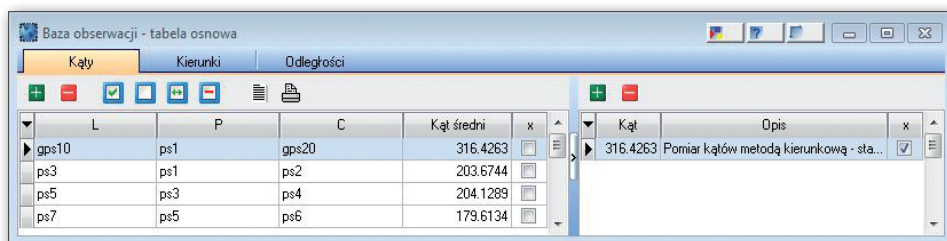
Rys. 7. Funkcja automatycznego generowania dzienników pomiarowych na podstawie zarejestrowanych stanowisk tachimetru

opakowane w wygodny interfejs użytkownika – co starano się pokazać w zamieszczonych przykładach.

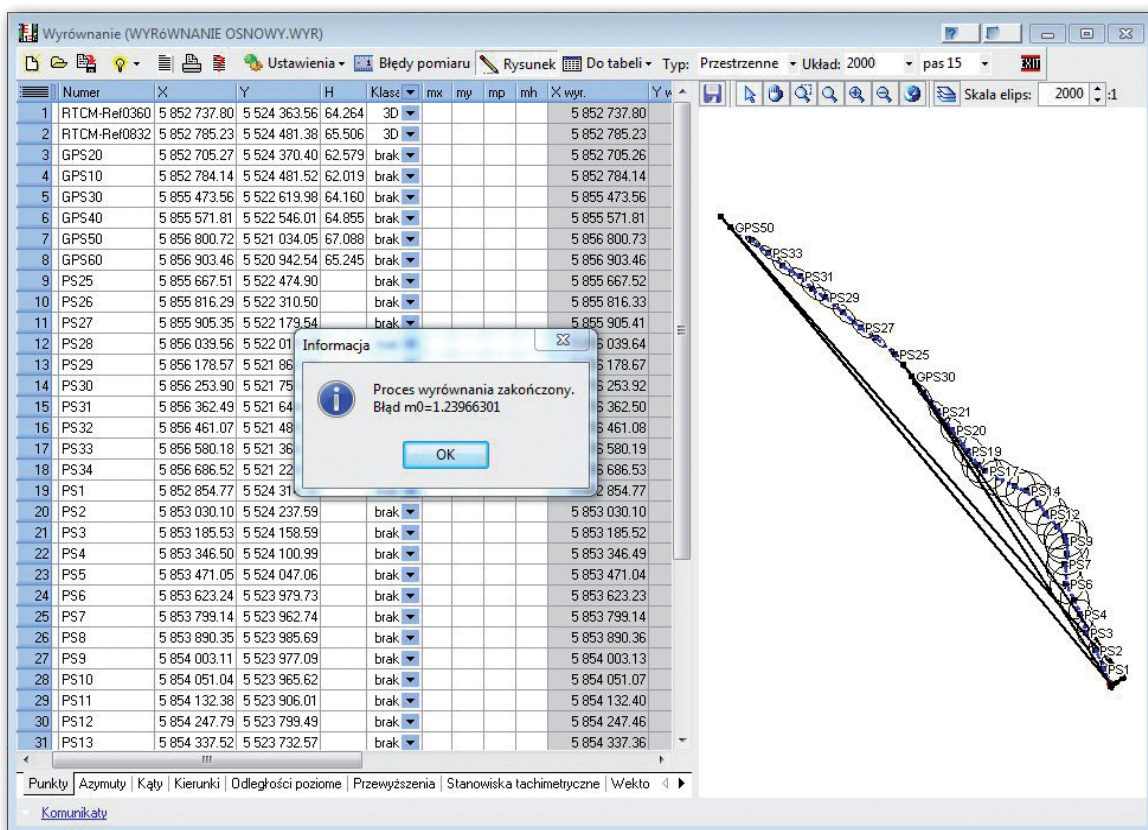
Jerzy Biegalski
Softline Plus
Rafał Kocierz

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Literatura w I części artykułu [GEODETA 2/2013]



Rys. 8. Baza obserwacji



Rys. 9. Okno programu wraz z wynikami wyrównania