

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

# Ścisłe i jednorzędowo

Po wejściu w życie rozporządzenia regulującego wykonywanie prac geodezyjnych wiele zmieniło się w kwestii zakładania, pomiaru oraz obliczania osnów pomiarowych. Przepis ten wymusił na geodetach odejście od osnów wielorzędowych (co było często stosowane zwłaszcza na terenach, gdzie dawna osnowa III klasy praktycznie nie istnieje), a także od wykorzystywania przybliżonych metod uzgadniania ciągów sytuacyjnych. Od 9 listopada 2011 r. nieodzowne jest wyrównanie ścisłe osnów pomiarowych (metodą najmniejszych kwadratów), a w przypadku wykonywania pomiarów klasycznych oraz satelitarnych niezbędna jest ich integracja, tak by tworzyły jednorodne sieci jednorzędowe.

**Jerzy Biegalski**  
**Rafał Kocierz**

W niniejszym artykule zostanie przedstawiona problematyka łącznego wyrównania obserwacji satelitarnych (wektorów GNSS) oraz klasycznych (takich jak kąty poziome oraz pionowe, odległości, przewyższenia niwelacyjne) stanowiących jednorodną osnowę pomiarową zgodną z aktualnymi wymogami. W celu ukazania zmian w obowiązujących przepisach prawnych przedstawione zostaną regulacje dotyczące pomiarów i obliczeń sieci pomiarowych ze standardów technicznych [1] obowiązujących do 8 czerwca 2012 r., a także aktualne wymagania stawiane przez rozporządzenie w sprawie standardów technicznych... [2].

W dalszej części artykułu zostanie opisany moduł wyrównania osnów 3D/GNSS w jednym z popularnych programów geodezyjnych C-GEO firmy Softline wraz z przykładami wyrównania osnów opartych na pomiarach klasycznych i satelitarnych – wektorach wyznaczanych metodami statycznymi oraz RTK/RTN.

## • Osnowa pomiarowa w instrukcjach G-1 i G-4

Zgodnie z instrukcjami G-1 (wyd. IV z 1986 r.) i G-4 (wyd. III z 1983 r.) geodezyjne pomiary sytuacyjne i wysokościowe wykonywane były w nawiązaniu do geodezyjnej osnowy pomiarowej, która

jest rozwinięciem osnowy szczegółowej (§ 2 pkt 3 instrukcji G-1). W § 46 instrukcji G-1 określony został wymóg zastosowania procesu wyrównania sieci I klasy: „Sieci I klasy powinny być wyrównane według metod i zasad ustalonych w wyniku badań naukowych. Wyrównanie to powinno być przeprowadzone jednocześnie dla całej osnowy I klasy”. Dla punktów osnowy II klasy w § 70 napisano wprost: „Wyrównanie sieci II klasy powinno być wykonane ścisłe metodą pośredniczącą”.

Instrukcja G-4 zawierała opis metod pomiarów i obliczeń współrzędnych punktów osnowy pomiarowej oraz pomiarów i obliczeń współrzędnych szczegółów terenowych. Nie ma tam już mowy o obowiązku wyrównania ścisłego poziomej osnowy pomiarowej, przedstawiona jest za to lista metod, których można użyć do wyznaczenia punktów osnowy pomiarowej (§ 18 pkt 1): poligonizacja, aerotriangulacja, wcięcia, sieci modułowe, linie pomiarowe. Jedynie w kontekście wysokościowej osnowy pomiarowej znaleźć można pojęcie „wyrównania” (§ 85): „Istniejące ciągi niwelacyjne mogą być włączone do nowo zakładanej osnowy pomiarowej i ponownie wyrównane, jeśli dla punktu środkowego średni błąd nie przekracza 0,05 m”.

Takie zapisy w instrukcji G-4 nie powinny dziwić, gdyż opublikowano ją w 1983 r. Komputery osobiste klasy PC pojawiły się już wtedy w USA, ale w Polsce używało się jeszcze powszechnie mechanicznych arytmometrów, a elektroniczną technikę obliczeniową reprezentowały maszyny typu ODRA oraz zachodnie

kalkulatory programowane HP (z odwrotną notacją polską). Przy takich możliwościach obliczeniowych nierealne byłoby wymaganie od geodetów stosowania na co dzień procedur wyrównania ścisłego. W wyniku tych ograniczeń naturalne było także stosowanie rzędowości osnów pomiarowych. Dotyczyło to dopuszczenia dwurzędowych układów ciągów sytuacyjnych i ciągów niwelacyjnych oraz trójrzędowości linii pomiarowych.

Z upływem czasu docierał do Polski i rozwijał się coraz nowocześniejszy i dokładniejszy sprzęt pomiarowy (dalmierze i tachimetrie elektroniczne, precyzyjne niwelatory kodowe), coraz szybsze i tańsze komputery osobiste, tworzone było w kraju coraz lepsze i wydajniejsze oprogramowanie geodezyjne. W połowie lat 90. pojawiły się także odbiorniki GPS. Zaczęto stosować pomiary wektorów GPS w trybach RTK i statycznym, co ułatwiło zakładanie osnów pomiarowych. Od 2008 roku funkcjonuje w Polsce system ASG-EUPOS, dzięki któremu w prosty i tani sposób można wykonywać pomiary satelitarne punktów osnowy pomiarowej.

Pomiary satelitarne są dokładniejsze od klasycznych, a więc wykorzystywano je do zakładania osnowy wyższego rzędu. Dlatego od momentu powstania ASG pomiar punktów powszechnie wykonywany jest metodą GNSS i obliczenie ich współrzędnych odbywa się automatycznie, np. w serwisie POZGEO (rozwiązanie najtańsze i najpopularniejsze w małych firmach, bo nie wymaga kupna drogiego oprogramowania) lub ewentualnie z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania do postprocessingu (LGO – Leica GeoOffice, TBC – Trimble Business Center itd.). W przypadku potrzeby dogęszenia założonej osnowy pomiarowej (np. w miejscach o przesłoniętym horyzoncie) możliwy był pomiar nowych punktów w nawiązaniu do tych wcześniej pomierzonych technikami satelitarnymi. Punkty wyznaczone technikami GNSS były traktowane jako I rząd, zaś te mierzone metodami klasycznymi stanowiły II rząd.

Wyczyść stanowiska		Wczytaj stanowiska		Wstaw wiersz				
Numer stanowiska	Wys. instrumentu (i)	mi						
1	+	1002		1.45	0.005			
2	+	1002		1.45	0.005			
3	+	1018		1.62	0.005			
4	+	1017		1.62	0.005			
5	+	1016		1.57	0.005			
6	+	1015		1.68	0.005			
7	+	1014		1.65	0.005			
	-	1013		1.57	0.005			
8		Cel	Hz	D przestrz.	Kąt z. (V)	H celu	mHz	mD
		1015	155.9472	161.79	100.9436	1.56		
	-	1012				1.58		0.005
9		Cel	Hz	D przestrz.	Kąt z. (V)	H celu	mHz	mD
		1013	123.9496	190.86	100.7604	1.56		

Rys. 1. Okno programu z zestawieniem stanowisk tachimetrycznych do wyrównania

Jak widać, rozwój technologii pomiarowych i możliwości przetwarzania danych postępował bardzo szybko, a przepisy z początku lat 80. pozostawały niezmienione. Tak było do 9 listopada 2011 r., kiedy to zostało podpisane rozporządzenie ministra spraw wewnętrznych i administracji o dość długim tytule: *w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego*. Zakończyła się tym samym era instrukcji technicznych, a w geodezji zaczęło obowiązywać pierwsze z kilku przygotowanych rozporządzeń.

## ● Osnowa pomiarowa w rozporządzeniu w sprawie standardów...

Rozporządzenie *w sprawie standardów...* z 9 listopada 2011 r. (dalej: rozporządzenie) w rozdziale pierwszym w § 2 definiuje między innymi: ciąg poligonowy, a w odniesieniu do pomiarów GNSS – pomiarową technikę statyczną, kinematyczną RTK, RTN itd. Jak widać, prowadząca z jednej strony przypomina, czym są klasyczne konstrukcje geodezyjne, z drugiej zaś sankcjonuje prawnie nowoczesne metody pomiaru i w dalszych artykułach rozporządzenia uszczegóławia, w jaki sposób należy je stosować w pracach geodezyjnych.

Dość oczywiste jest potwierdzenie obowiązku wykonywania pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych na podstawie punktów osnowy geodezyjnej (instrukcja geodezyjna G4 mówiła o osnowie szczegółowej – § 10), a gdy gęstość punktów tej osnowy jest niewystarczająca, rozporządzenie wymaga uzupełnienia jej punktami osnow pomiarowych (§ 4.2).

Dość istotny wydaje się zapis § 16.1 o brzmieniu:

„Osnowy pomiarowe zakłada się w postaci:

- 1) pomiarowej osnowy sytuacyjnej;
- 2) pomiarowej osnowy wysokościowej;
- 3) pomiarowej osnowy sytuacyjno-wysokościowej (dwufunkcyjnej)”.

Nowością jest tu użycie pojęcia **osnowy dwufunkcyjnej** (nazwa ta pojawiła się w nowym wydaniu instrukcji G-2 z 2001 r., która jednak nigdy nie stała się standardem technicznym), a więc zawierającej punkty będące jednocześnie zarówno punktami osnowy sytuacyjnej, jak i wysokościowej. Taka osnowa może powstać przy wykorzystaniu technik, które z natury rzeczy są metodami trójwymiarowymi, czyli zakładanych odbiornikami GNSS lub tachimetrami elektronicznymi (np. ciąg poligonowy wraz z jednoczesną niwelacją trygonometryczną). Osnowa dwufunkcyjna to także wynik połączenia technik pomiaru sytuacyjnego z pomiarami wysokościowymi – niwelacyjnymi, co również pozwala na uzyskanie współrzędnych przestrzennych jej punktów.

Z kolei w § 17.1 opisane są zasady nawiązań osnowy pomiarowej do poziomej osnowy geodezyjnej, gdzie interesujący jest punkt mówiący o nawiązaniu:

„2) sieci punktów wyznaczanych metodą precyzyjnego pozycjonowania przy pomocy GNSS”.

Zapis ten należy rozumieć tak, że punkty wyznaczone powyżej opisaną metodą są dopuszczalne jako np. stanowiska tachimetru, z których są wykonywane pomiary szczegółów sytuacyjnych. W szczególności dotyczy to punktów pozyskanych technikami GNSS: ● statyczną, ● szybką statyczną, ● kinematyczną RTK lub RTN.

Osnowy pomiarowe zakładane zgodnie z rozporządzeniem muszą spełniać istotne kryterium – sieci jednorzędowej.

W następnym paragrafie zapisano drugie kluczowe wymaganie:

„§ 18.1. Dane obserwacyjne dotyczące osnowy pomiarowej wyrównuje się metodą najmniejszych kwadratów w układzie sieci jednorzędowej”.

Tak sformułowany zapis wymusza stosowanie wyrównania ścisłego do obliczenia osnowy sytuacyjnej, którą są zgodnie z § 20.1 ciągi poligonowe (również z punktami węzłowymi – § 20.6, a nawet ciągi wiszące pod dodatkowymi warunkami – § 20.4 i 5), wcięcia kątowe, liniowe, kątowno-liniowe.

Aby umożliwić późniejsze wyrównanie osnowy sytuacyjnej metodą najmniejszych kwadratów, w § 17.2 opisano wymagania w stosunku do zakładanych osnow:

- „1) wielopunktowe nawiązanie do punktów poziomej osnowy geodezyjnej;
- 2) co najmniej dwukrotny pomiar każdego mierzonego elementu;
- 3) wykonanie obserwacji nadliczbowych”.

Dzięki postawieniu tych warunków możliwe jest przeprowadzenie procesu wyrównania obserwacji metodą najmniejszych kwadratów, które między innymi wymaga obserwacji nadliczbowych.

## ● Opis modułu wyrównania osnow 3D/GNSS w C-GEO

W celu udostępnienia geodetom optymalnego narzędzia dla przetwarzania danych pomiarowych ze wszystkich nowoczesnych instrumentów pomiarowych, z wyrównaniem ścisłym obserwacji, autorzy oprogramowania C-GEO [3] wraz z pracownikiem naukowym Akademii Górniczo-Hutniczej Rafałem Kocierzem przystąpili na początku 2012 r. do opracowania nowego modułu dla programu C-GEO. Rozwiązanie to zostało udostępnione pod koniec grudnia.

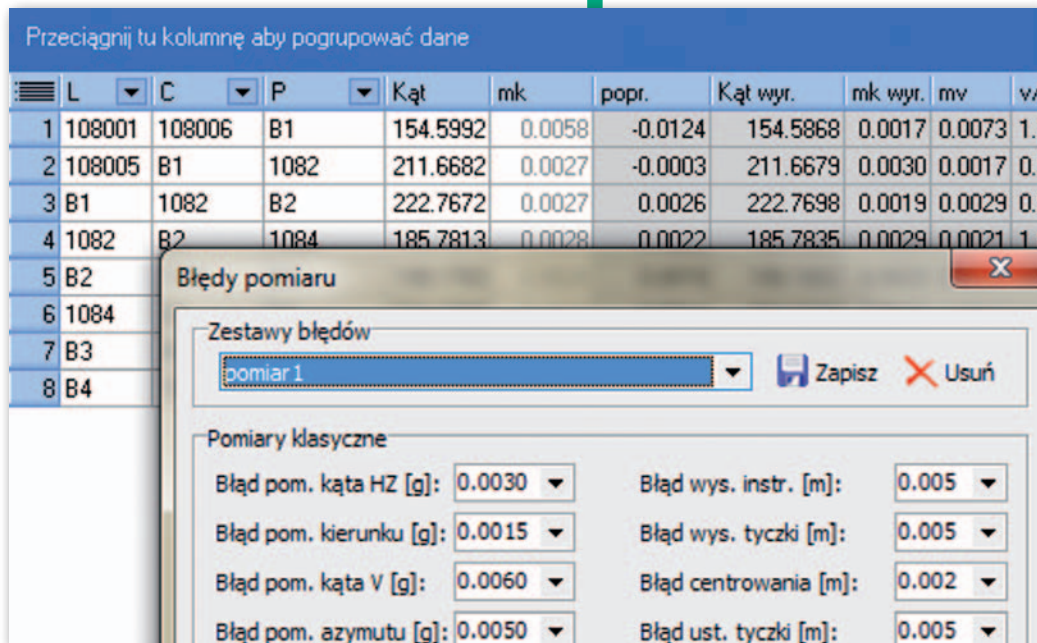
Wyrównanie ścisłe 3D/GNSS [4] korzysta z możliwości wymiany danych, jakie daje aplikacja C-GEO. W tej sytuacji użytkownik ma istotnie ułatwione zadanie w zakresie procesu zasilania różnorodnymi typami danych. W szczególności chodzi o:

**1. Obserwacje tachimetryczne** – C-GEO zapewnia odczyt danych z większości dostępnych na rynku tachimetrów elektronicznych (rys. 1).

**2. Niwelację geometryczną** – import danych z niwelatorów kodowych.

**3. Odczyt danych wektorów i ich macierzy błędów z odbiorników GNSS:**

● wyposażonych w oprogramowanie SurvCE, Fast Survey, TDS Survey Pro (format RW5),



Rys. 2. Ustawianie błędów pomiarowych i zarządzanie zestawami błędów

- Topcon i Sokkia – kontrolery z oprogramowaniem TopSURV (format TSJ),
- Trimble Data Collector (format DC),
- Leica (specjalnie przygotowany formularz eksportu),

- oraz pozostałych odbiorników GNSS i programów do postprocessingu pomiarów fazowych dzięki możliwości wczytywania plików tekstowych przy wsparciu kreatora importu danych z możliwością zapisu i stosowania szablonów formatów.

**4. Obserwacje w postaci odległości, kierunków, kątów i przewyższeń,** które można zaimportować do modułu, wykorzystując wcześniej zapisane w C-GEO zadania ciągów poligonowych, dziennika kątów i boków, bazy obserwacji. Import tego typu danych ułatwia także opcja importu z dowolnych plików tekstowych.

**5. Dane utworzone w dotychczas dostępnym w C-GEO module wyrównania ścisłego** sieci poziomych i niwelacyjnych (rozszerzenie pliku danych „WYR”). Dzięki temu można np. ponownie przeliczyć wcześniej wprowadzone dane w nowym module, uzupełniając je o dodatkowe obserwacje lub opcje.

Łącznie wyrównuje się zatem zarówno obserwacje na płaszczyźnie odwzorowania (odległości z poprawkami odwzorawczymi), kierunki, kąty, azymuty, przewyższenia niwelacyjne, jak i wektory GNSS. Dlatego istotny jest sposób redukcji obserwacji satelitarnych, które przedstawiane są w postaci wektora przestrzennego w układzie geocentrycznym. W wyniku analiz zdecydowano, iż najlepszym rozwiązaniem będzie transformacja wektora [dX dY dZ] wraz z jego pełną macierzą wariancyjno-kowariancyjną na wektor 2D [dN dE] w wybranym odwzorowaniu kartograficznym [5, 6] z wykorzystaniem ścisłych zależności funkcyj-

nych i przewyższenie zredukowane na podstawie opublikowanego przez GUGiK modelu geoidy niwelacyjnej 2001 [7].

Przeprowadzane badania testowe wykazały, iż różnice między przyjętym podejściem a wyrównaniem przeprowadzonym w układzie geocentrycznym (np. w uznanym programie Move3 [8]) są z punktu widzenia praktycznego zaniedbywalne (poniżej 1 mm). Metoda ta jest również wygodniejsza dla użytkownika, który nie musi dysponować danymi niezbędnymi do wyrównania w układzie geocentrycznym. Dla użytkowników, którzy wymagają najwyższych precyzji, a wykorzystują łącznie pomiary klasyczne oraz GNSS, w przyszłości zostanie wprowadzona możliwość wyrównania bezpośrednio w układzie geocentrycznym według algorytmów wykorzystanych przy łącznym wyrównaniu sieci dla całych Stanów Zjednoczonych oraz Kanady [9].

W module wyrównania istotna jest możliwość precyzyjnego zarządzania redukcją obserwacji ze względu na:

- średnią wysokość terenu,
- odwzorowanie,

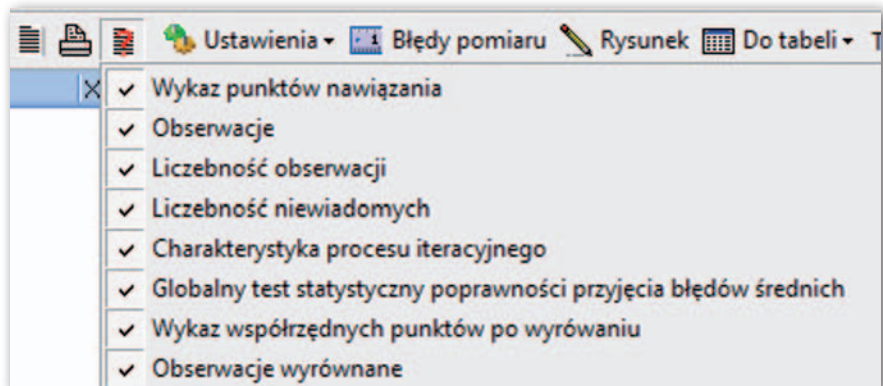
- krzywiznę Ziemi,
- refrakcję.

Możliwość dokładnej kontroli nad wprowadzanymi redukcjami ma duże znaczenie przy zakładaniu osnów realizacyjnych, które muszą mieć skalę narzuconą przez terenowe pomiary odległości w celu precyzyjnego realizowania długości ujętych w projekcie.

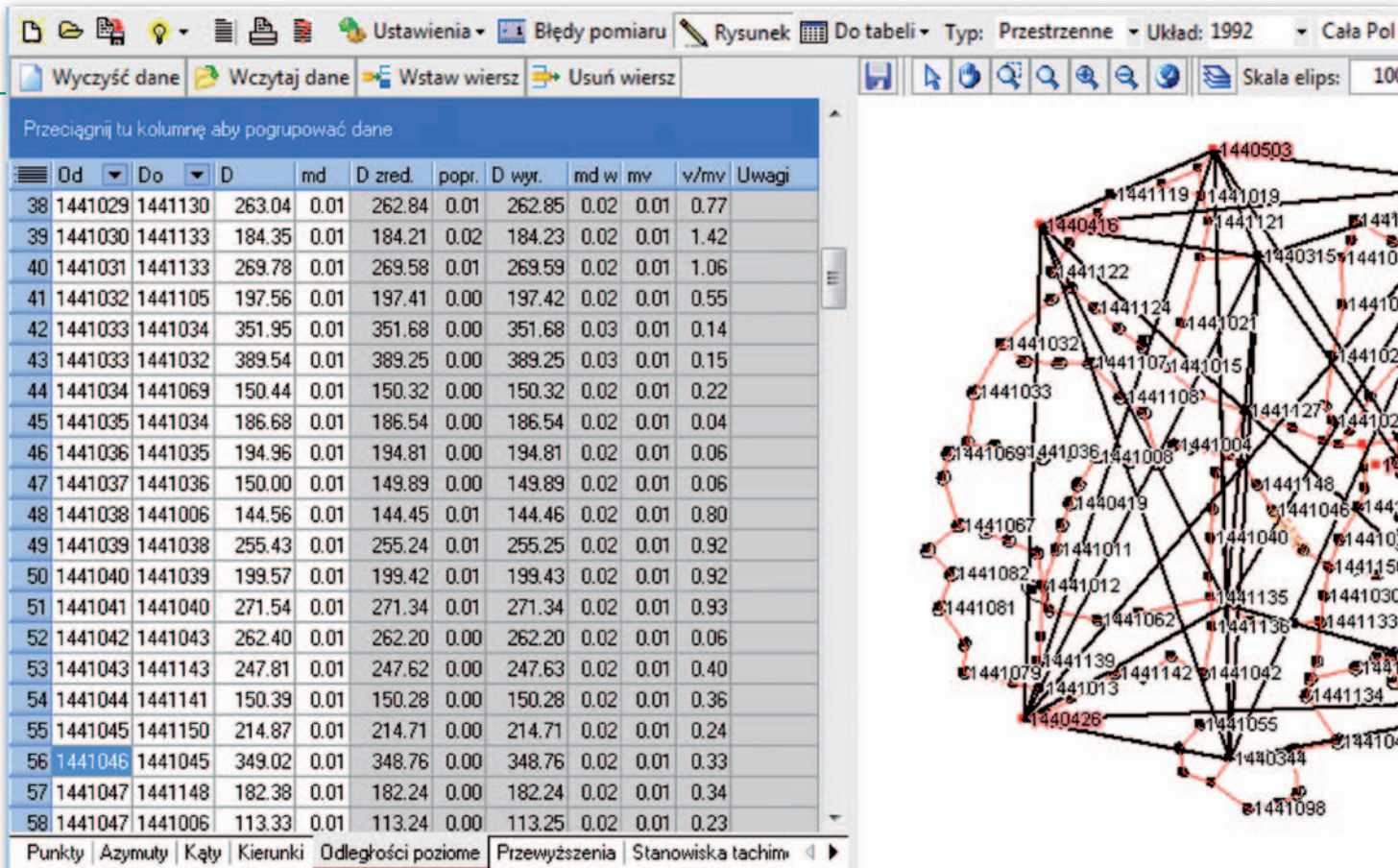
Wyrównanie może być przeprowadzone w układzie lokalnym lub jednym z układów państwowych. Wybór układu lokalnego może być podyktowany np. potrzebą osiągnięcia wysokiej dokładności, której nie powinny obniżać nawiązania do punktów osnowy geodezyjnej. Postępowanie takie jest usankcjonowane w § 53 rozporządzenia:

„W przypadkach gdy przy realizacji inwestycji niezbędne jest wykonywanie geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych z dokładnością wyższą niż określona w § 16 ust. 2 i 4, zakłada się osnowę realizacyjną w układzie lokalnym, którego początek wyznaczony jest przez współrzędne punktu ciężkości obszaru inwestycji, zaś jego osie zorientowane są przez główną oś inwestycji”.

Po ustaleniu układu odwzorowania, użytkownik wprowadza wartości różnych błędów typowych obserwacji (rys. 2): kątów, kierunków, kątów pionowych, azymutów, przewyższeń, dalmierza, wysokości instrumentu, tyczki, centrowania, ustawienia tyczki, pionowości tyczki, stałe i systematyczne wektora GNSS. W przypadku wektorów GNSS wczytanie pliku z danymi oznacza uwzględnienie pełnej macierzy błędów, które najczęściej są zapisane w tym pliku. Jeśli przyrosty dX, dY, dZ od punktu do punktu wpisujemy ręcznie, to powinniśmy też uzupełnić przynajmniej główną przekątną macierzy błędów, wpisując kwadraty błędów przyrostów współrzędnych. Wprowadzone wartości błędów



Rys. 3. Wybór wyników do raportu



Rys. 4. Przedstawienie wyników wyrównania wraz ze szkicem sieci

wszystkich obserwacji mogą być zapisane jako zestawy błędów i wykorzystywane w kolejnych obliczeniach. Na podstawie tak podanych typowych błędów pomiarów program wyznacza wartości błędów dla poszczególnych spostrzeżeń i podaje je dla każdej obserwacji.

Zestaw danych może być wyrównany jako sieć 1D – wysokościowa, niwelacyjna, 2D – pozioma, lub 3D – przestrzenna, w której wyznaczane są najbardziej prawdopodobne współrzędne XYH wyrównywanych punktów. Punkty nawiązania oznaczane są analogicznie jako nawiązanie wysokościowe (1D), poziome (2D), przestrzenne (3D). Dzięki temu można rozróżnić typy punktów nawiązania. W szczególności w sieci przestrzennej mogą występować jednocześnie punkty nawiązania wysokościowego, punkty nawiązania sytuacyjnego i punkty nawiązania przestrzennego.

Moduł w trakcie wyrównania sprawdza kompletność i poprawność danych, wylicza współrzędne przybliżone punktów wyrównywanych i sygnalizuje odpowiednimi komunikatami ewentualne błędy danych. Wiersze obserwacji, w których zostały wykryte niespójności, są oznaczone na czerwono i wymienione w odrębnej liście komunikatów, tak by łatwo było je odszukać i wprowadzić odpowiednią korektę. Jeśli dane były kompletne i zestawiony układ równań obserwacyjnych udało się rozwiązać, to uzyskujemy informacje o zakończeniu procesu wyrównania i uzyskanej wartości błędu  $m_0$ .

W trakcie wyrównania program automatycznie wykonuje niezbędną liczbę iteracji, analizując przyrosty wyznaczanych współrzędnych. Dopiero kiedy ich przyrosty są mniejsze od założonej wartości, proces obliczeniowy jest zakończony. Charakterystyka procesu iteracyjnego jest uwidoczniona w raporcie. Na końcu przeprowadzany jest test statystyczny, czy wartość  $m_0$  można uznać za równą 1, a wynik tego testu także znajduje się w raporcie. Wyniki wyrównania widoczne są w tabelach modułu, a także mogą być wydrukowane i zapisane w raporcie. Przed jego wykonaniem można wybrać, jakie informacje tam się pojawią (rys. 3).

Oprócz wyników w postaci tabelarycznej uzyskuje się je także w postaci graficznej – jest to mapa sieci z elipsami błędów punktów (rys. 4), z oznaczeniem poszczególnych rodzajów obserwacji (odległości, wektory, kierunki, azymuty itd.). Po wskazaniu na rysunku wybranej obserwacji (np. odległości), podświetlony jest jej rekord w tabeli obserwacji. Mapa sieci może być umieszczona na bieżącej mapie roboczej C-GEO (każdy rodzaj obserwacji na odrębnej warstwie), a także wyeksportowana do jednego z kilku formatów GIS (SHP, GML, KML, MIF).

Cdn.

**Jerzy Biegalski**  
Soffline Plus,  
**Rafał Kocierz**  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
w Krakowie

#### Literatura:

- [1] Rozporządzenie ministra spraw wewnętrznych i administracji z 24 marca 1999 r. (DzU nr 30, poz. 297). Wykaz standardów technicznych: poz. 4 (instrukcja G-1 wyd. IV z 1986 r.), poz. 5 (instrukcja G-2 wyd. II z 1981 r.), poz. 7 (instrukcja G-4 wyd. III z 1983 r.);
- [2] Rozporządzenie ministra spraw wewnętrznych i administracji z 9 listopada 2011 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjno-wysokościowych oraz opracowania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (DzU nr 263, poz. 1572);
- [3] Instrukcja użytkownika C-GEO, Soffline 2011;
- [4] Instrukcja modułu Wyrównanie ściśle osnów 3D/GNSS, Soffline 2012;
- [5] S. Cellmer, Common adjustment of heterogenous observations for deformation analysis of the motorway bridge over Vistula near Toruń, „Reports on Geodesy”, vol. 3, no. 74, pp. 211-219, 2005;
- [6] T. Garguła, Wyrównanie sieci wektorowej GPS na płaszczyźnie odwzorowawczej lokalnego układu współrzędnych, prezentowane na: Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Kraków, 2010, vol. 6, pp. 133-144;
- [7] GGK, Instrukcja techniczna G-2 – Szczegółowa pozioma i wysokościowa osnowa geodezyjna i przeliczenia współrzędnych między układami, Główny Urząd Geodezji i Kartografii 2001;
- [8] MOVE3 User manual, wersja 4.0, Grontmij Nederland bv;
- [9] Ch. Schwarz, North American Datum of 1983, NOAA, Professional Paper NOS 2, National Geodetic Survey, 1989 r.;
- [10] R. Pażus, AZUS Star – Instrukcja obliczeń (postprocessing) pomiarów szybkich statycznych i stop & go, GeoDigitalGPS z 8 sierpnia 2012.