

Wyrównanie poziomej osnowy geodezyjnej I klasy w układzie współrzędnych „1992”

# Wyrównanie pierwsza klasa

WIESŁAW KOZAKIEWICZ

**W październiku 1996 roku na zlecenie Departamentu Katastru, Geodezji i Kartografii MGPIB wykonano nowe, jednoczesne wyrównanie punktów osnowy I klasy. Wyrównanie poprzedzono kilkudziesięcioma wyrównaniami wstępnymi i kontrolnymi mającymi na celu ustalenie ostatecznej jej wersji. Ze względu na zależność wyników wyrównania od założeń przyjętych w poprzednim kroku, proces prowadzono w cyklu iteracyjnym, ustalając stopniowo i kolejno poszczególne parametry sieci.**

Jednoczesnego, wspólnego wyrównania punktów osnowy podstawowej dokonano po raz pierwszy w 1981 roku w Centrum Informatycznym Geodezji i Kartografii na komputerze NOVA 840. Wyrównaniu poddana została wówczas sieć powierzchniowa na całym obszarze Polski, nazwana PPOG81. Sieć zawierała 6555 punktów:

- 546 punktów sieci astronomiczno-geodezyjnej SAG i punktów pośrednich (przeciętna długość boku 25 km),
- 5937 punktów sieci wypełniającej SW (przeciętna długości boku 7 km),
- 72 punkty zagraniczne.

Obliczenia wyrównawcze przeprowadzono na elipsoidzie Krawoskiego, przyjmując punkt Borowa Góra za stały w wyrównaniu. Orientację i skalę sieci wyznaczało 55 azymutów oraz 163 długości.

Podobne zadanie wyrównawcze wykonano w 1984 roku. Dotyczyło ono wyrównania tzw. sieci JSAG. Różnica polegała na tym, iż za stałe przyjęto 1570 punktów, których współrzędne pochodziły z wykonanego w Moskwie wyrównania Jednolitej Sieci Astronomiczno-Geodezyjnej, zrealizowanego w ramach współpracy służb geodezyjnych krajów socjalistycznych.

W październiku 1996 roku wykonano na zlecenie Departamentu Katastru, Geodezji i Kartografii MGPIB nowe, jednoczesne wyrównanie punktów osnowy I klasy. Głównym wykonawcą prac była firma VIELETO Sp. z o.o. z Warszawy. Inicjatorem i koordynatorem prac był wicedyrektor Departamentu Katastru mgr inż. Stanisław Gelo. Wykonana w Centrum Badań Kosmicznych transmisja danych z archiwalnych taśm magnetycznych komputera NOVA 840 na nośniki IBM PC znacząco zmniejszyła nakład pracy związany z pozyskaniem obserwacji źródłowych. Zgodnie z warunkami zlecenia zrealizowano następujące założenia dotyczące zadania wyrównawczego:

- wyrównanie przeprowadzono na płaszczyźnie odwzorowawczej nowego układu współrzędnych „1992”, odniesionego do elipsoidy GRS80,
- do wyrównania włączono punkty identyczne jak w roku 1981 oraz punkty tzw. sieci GOP+ROW, założonej w latach 1982-1986 w celu modernizacji osnowy podstawowej na obszarze Śląska (podlegającym wpływom eksploatacji górniczej),
- do wyrównania przyjęto obserwacje kierunkowe sieci SAG i obserwacje kątowe sieci SW, identyczne jak w wyrównaniu sieci PPOG81 oraz kąty i odległości sieci GOP+ROW,
- wyrównanie przeprowadzono w nawiązaniu do punktów satelitarnej sieci POLREF,
- ze względu na różne epoki pomiarów sieci SAG, SW, GOP+ROW oraz POLREF przeprowadzono analizę mającą potwierdzić lub odrzucić założenie o fizycznej niezmienności punktów uznawanych za identyczne,
- ujednolicono różną numerację punktów stosowaną w sieciach PPOG81, GOP+ROW oraz POLREF, przyjmując za ostateczną obecnie stosowaną numerację Centralnego Banku Osnow Poziomych.

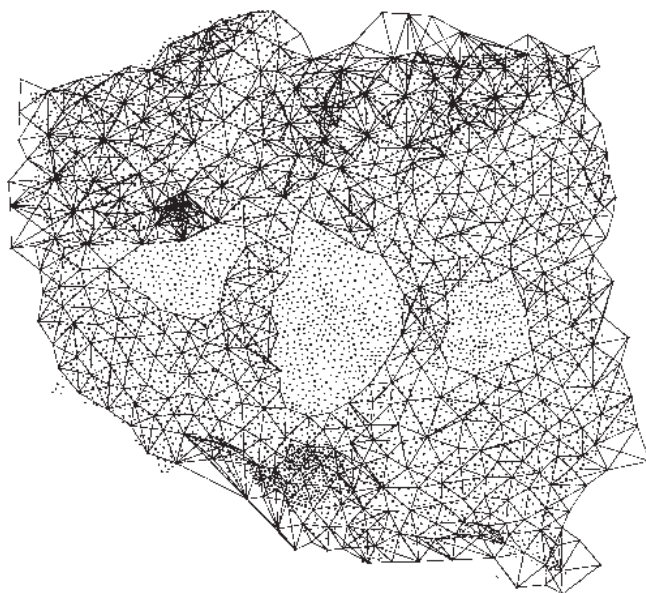
Mając na uwadze względnie rozsądne ramy objętościowe niniejszego artykułu, ograniczymy się do przedstawienia tylko ważniejszych aspektów złożonej kampanii obliczeniowej, które mogą zainteresować szerszy krąg czytelników.

**Z**e względu na znaczną liczbę równomiernie rozłożonych punktów nawiązania oraz w celu zachowania skali i orientacji z sieci POLREF, wyłączono z wyrównania wszystkie azymuty i odległości uczestniczące w wyrównaniu sieci PPOG81. Ich brak nie osłabił konstrukcji sieci. Do wyrównania włączono natomiast odległości pochodzące z kątowno-liniowej sieci GOP+ROW, ponieważ były one obserwacjami konstrukcyjnymi.

Wyrównanie poprzedzono kilkudziesięcioma wyrównaniami wstępnymi i kontrolnymi mającymi na celu ustalenie ostatecznej jego wersji. Ze względu na zależność wyników wyrównania od założeń przyjętych w poprzednim kroku, proces prowadzono w cyklu iteracyjnym, ustalając stopniowo i kolejno poszczególne parametry sieci.

W celu potwierdzenia fizycznej identyczności typowanych punktów nawiązania sieci przeprowadzono wstępne wyrównanie, w którym dla wszystkich punktów nawiązania przyjęto błędy położenia. Uzyskane nieznaczne zmiany współrzędnych punktów nawiązania pozwoliły, po konsultacji ze zleceniodawcą, uznać te punkty za bezbłędne w wyrównaniu ostatecznym.

**S**ieć GOP+ROW zawiera między innymi 94 punkty, dla których wykonano nowe obserwacje na stabilizacji punktów sieci SAG i SW. Należało oczekiwać, iż w międzyczasie część tych punktów uległa przemieszczeniu, natomiast inne mogły zachować stałość położenia. W celu ustalenia takich niezmiennych punktów wykonano szereg specyficznych, łącznych wyrównań sieci SAG i SW oraz GOP+ROW. Dla wyżej wymienionych punktów obliczono dwie pary współrzędnych – jedną z obserwacji sieci SAG i SW, drugą z różniących się datą wykonania obserwacji GOP+ROW. Ostatecznie stwierdzono, iż 39 punktów sieci SAG i SW, których stabilizacja została użyta do wykonania obserwacji sieci GOP+ROW, nie uległo przemieszczeniom. Dotyczące ich obserwacje tak z sieci SAG+SW, jak i z sieci GOP+ROW, odniesiono do jednego punktu wyznaczanego. W konsekwencji pozostałe 55 punktów otrzymało w wyniku wyrównania



Rys. 1. Szkic konstrukcji sieci SAG oraz lokalizacji punktów sieci SW i GOP+ROW

dwie pary współrzędnych, związanych odpowiednio z epoką wykonania obserwacji. Stwierdzony maksymalny wektor różnicy współrzędnych pomiędzy dwoma punktami matematycznymi odniesionymi do tego samego znaku stabilizacyjnego wynosi 0,99 m. Korzystną dla wyrównania okolicznością była stwierdzona stałość położenia punktów sieci POLREF na obszarze GOP+ROW.

**GWARANCJA  
2 LATA**

## PENTAX

*Pośpiesz się!  
bo promocja ci ucieknie*

ostatnie tygodnie wielkiej promocji

**14 950 zł.**  
za PCS 215

- sprzedaż w leasingu
- serwis gwarancyjny i pogwarancyjny
- przy zakupie Total Stacji firmy **PENTAX** niwelator AL-180 dostaniesz gratis.

**GEOPRYZMAT**  
wyłączny przedstawiciel firmy **PENTAX**

05-090 RASZYN, ul. Mieszka I-go 49  
tel./fax (022) 720 28 44, tel. 0-601 34 71 34

Poszukujemy dealerów na terenie całego kraju.

Zbadano prawidłowość oszacowania błędów średnich obserwacji oraz ewentualny wzajemny niekorzystny wpływ wielokątowych obserwacji kierunkowych sieci SAG i małych trójkątowych obserwacji kątowych sieci SW. Wykonano w tym celu odrębne wyrównania obu rodzajów obserwacji, a następnie łączne wyrównanie obserwacji kątowych i kierunkowych. Analiza wyników wyrównań wykazała, iż przy założonych ostatecznie błędach średnich obserwacji nie zachodzi przypadek zniekształcenia jednej grupy obserwacji przez obserwacje drugiego typu. Wyrównaniu łącznym nie stwierdzono wzrostu sum [pvv] poszczególnych grup obserwacji. Nie stwierdzono też przypadku zgrupowania większych poprawek do obserwacji przy jednym punkcie, co mogłoby świadczyć o niecentryczności takiego punktu. Sieć zakwalifikowana do ostatecznego wyrównania charakteryzuje się następującymi parametrami liczbowymi:

- liczba wszystkich punktów sieci – 6877
- liczba punktów wyznaczanych – 6539
- liczba punktów nawiązania – 338
- liczba obserwacji kątowych – 45537
- liczba kierunków – 4302 (970 serii)
- liczba obserwacji liniowych – 1002
- średni błąd obserwacji kątowych – 2,7<sup>cc</sup>
- średni błąd obserwacji kierunkowych – 1,3<sup>cc</sup>
- średni błąd długości liniowych – zgodnie ze specyfikacją dalmierzy.



Rys. 2. Szkic lokalizacji punktów nawiązania oraz punktów wyrównywanych osnowy I klasy

Obliczenia realizowano zmodyfikowanym systemem SIEĆPOZ. Jego modyfikację do obliczeń w układzie „1992” wykonała dr inż. Janina Deryło-Stępiak, natomiast rozszerzenie możliwości obliczeniowych systemu stosownie do wielkości sieci zostało wykonane przez firmę VIELETO.

Po zakończeniu obliczeń systemem SIEĆPOZ wyrównanie powtórzone systemem GEONET, do którego zaimportowano dane wejściowe z systemu SIEĆPOZ. Możliwe to było dzięki uprzejmości autora systemu dr. hab. inż. Romana Kadaja, który udostępnił na czas sesji obliczeniowej oprogramowanie, własny komputer o większej mocy obliczeniowej oraz służył szeroką bezpośrednią pomocą i konsultacjami w zakresie wykorzystania systemu do powyższego zadania. Istotnym wkła-

dem dr. Romana Kadaja było też wykonanie redukcji elipsoidalnych obserwacji. Redukcje zostały wykonane we wstępnym etapie prac, przy udziale pracownika departamentu mgr. inż. Tomasza Trocińskiego oraz autora. Użyto przy tym danych dla elipsoidy GRS80 zestawionych dla punktów sieci przez Centrum Badań Kosmicznych.

Tak jednym, jak i drugim systemem wyrównanie przeprowadzono na płaszczyźnie odwzorowania układu „1992”, metodą pośredniczącą, gdzie niewiadomymi pośredniczącymi były poprawki do współrzędnych przybliżonych punktów. W celu zabezpieczenia się przed błędami wynikającymi z linearyzacji zadania wyrównawczego założono konieczność iteracyjnego poprawiania współrzędnych przybliżonych. Kryterium końca iteracji była numeryczna zgodność elementów [pvv] i [pll].

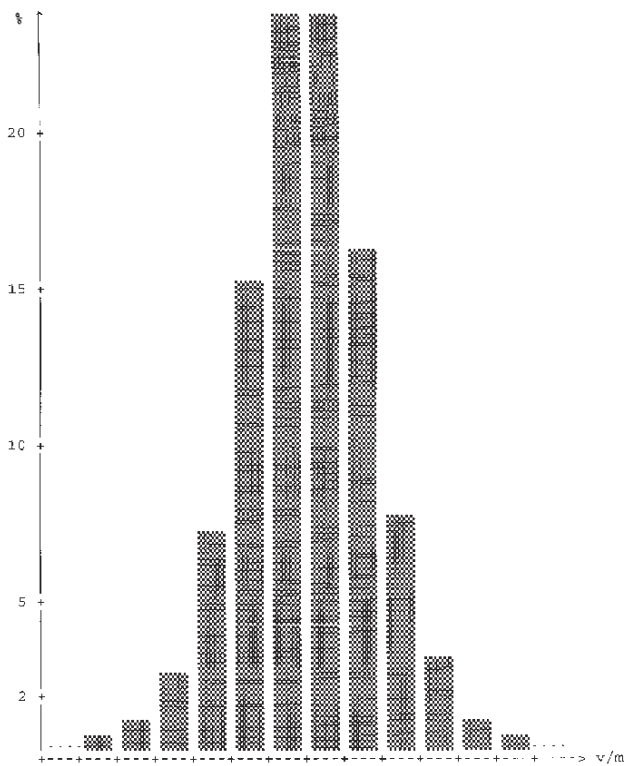
Wszystkie parametry i wyniki wyrównania, w szczególności zaś współrzędne, błędy położeń punktów i poprawki do obserwacji, uzyskane dwoma systemami są identyczne. Świadczy to o poprawności użytych narzędzi softwarowych, co z uwagi na rangę wykonanych obliczeń jest istotną konkluzją. Niemianowany błąd średni typowego spostrzeżenia wynosi  $M_0=1,010$ . Częstkowe estymaty błędów średnich typowego spostrzeżenia dla poszczególnych grup obserwacji są również bardzo bliskie jedności, wskazując na bardzo dobre wzajemne zrównoważenie poszczególnych rodzajów obserwacji. W wyrównaniu stwierdzono obecność 96 poprawek do obserwacji przekraczających nieznacznie 3-krotny błąd średni obserwacji. Wartości poprawek dla tych obserwacji znajdują potwierdzenie w wynikach wyrównania sieci PPOG81. Podobnie jak wówczas, tak i obecnie zachowano je w sieci, ponieważ usunięcie byłoby niekorzystne ze względów konstrukcyjnych.

Na histogramie rozkładu zrównoważonych poprawek do obserwacji zauważalny jest lekki nadmiar poprawek małych w stosunku do teoretycznego rozkładu normalnego, co jest zjawiskiem typowym w wyrównaniach sieci, których obserwacje podlegały selekcji wstępnej według kryteriów instrukcji technicznych.

Wykonana ocena dokładności położenia punktów wykazała, iż znakomita większość punktów, wynosząca 95%, charakteryzuje się średnim błędem położenia nie przekraczającym 0,03 m. Istnieje jednak w sieci również 90 punktów posiadających błąd średni położenia przekraczający 0,05 m. W tej liczbie 62 są punktami zagranicznymi. Najślabszy punkt krajowy posiada błąd położenia wynoszący 0,082 m. Punkty, które otrzymały po wyrównaniu słabszą charakterystykę dokładnościową, wyznaczone są z bardzo długich celowych, zlokalizowane są na obrzeżach sieci, oddalonych od punktów nawiązania.

Ocenę dokładności położenia punktów dla osnowy podstawowej wykonano po raz pierwszy, ponieważ dopiero teraz środki techniczne umożliwiły wykonanie tych obliczeń dla tak dużej sieci. Warto jednak w tym miejscu zwrócić uwagę, iż w świetle instrukcji technicznych błąd średni położenia punktu nie jest miarą dokładności osnowy podstawowej I klasy. Kryterium ustalającym włączenie punktu do wyrównania jest błąd względny długości boku po wyrównaniu, przepisy zawarte w instrukcji technicznej G-1 oraz zalecenia wynikające z analiz naukowo-technicznych.

W celach kontrolnych wykonano również systemem GEONET wyrównanie sieci na elipsoidzie GRS80. Uzyskane wyniki są praktycznie identyczne jak w wyrównaniu płaskim, zaś uzasadnienie drobnych różnic wynikających z subtelności numerycznych obliczeń podano w dokumentacji wyrównania.



Rys. 3. Histogram rozkładu zrównoważonych poprawek do obserwacji

**K**ompletne dane wejściowe oraz wyniki wszystkich trzech wyrównań zarchiwizowano na nośnikach informatycznych. Natomiast w operacji technicznej wydrukowano i załączono wyniki wyrównania systemu GEONET na płaszczyźnie odwzorowawczej układu „1992”.

Interesujące są praktyczne skutki użycia do obliczeń współczesnego sprzętu komputerowego. Porównanie czasu realizacji obliczeń wykonanych w roku 1981 i obecnie wskazuje na olbrzymi postęp techniczny, który dokonał się w przeciągu zaledwie kilkunastu lat. Dla sieci PPOG81 czas obliczeń pojedynczej iteracji wyrównania (bez oceny błędów położenia punktów, której wówczas nie liczone) wynosił 658 godzin. Obecnie analogiczne obliczenia systemem SIECPOZ trwały 14 minut.

Uzyskane współrzędne punktów osnowy I klasy przekazano natychmiast do wykorzystania przy wyrównaniu osnowy II klasy. Na ich podstawie, w kwietniu 1997 roku, zakończono w firmie VIELETO obliczenia w układzie „1992” dla ponad 61 000 punktów osnowy szczegółowej II klasy na obszarze całego kraju, z wyjątkiem tymczasowo wyłączonego z opracowania obszaru Śląska. W tej liczbie współrzędne dla ponad 3500 punktów wyznaczono na podstawie opracowania wyników pomiarów satelitarnych GPS, wykonanych dotychczas przez polską służbę geodezyjną.

Autor jest współwłaścicielem warszawskiej firmy VIELETO Sp. z o.o., zajmującej się pomiarami GPS oraz numerycznym opracowaniem osnów poziomych



**Sprzęt geodezyjny** firm: NIKON, TOPCON, SOKKIA, BERGER, BHI i innych



**Sprzęt kreślarski** firm: STANDARDGRAPH-MECANORMA, KIN, ROTRING, STAEDTLER



**Światłokopiarki** firm: REGMA, NEOLT

**Materiały eksploatacyjne** firm: REGMA, RENKER



**Materiały do ploterów** – papiery, folie, kalki  
**Folie kserograficzne**



**Pomocniczy sprzęt geodezyjny:** ruletki, piony, węgielnice, łaty, tyczki, lustra, statywy



**GEOZET S.C.**

**01-018 Warszawa, ul. Wolność 2a, tel./faks 838-41-83**