

Modernizacja geodezyjnej osnowy poziomej z wykorzystaniem pomiarów satelitarnych



**DARIUSZ POPIELARCZYK, RADOSŁAW BARYŁA,
ADAM CIEĆKO, STANISŁAW OSZCZAK**

Punkty osnowy wzmacniającej GPS umożliwiły wyselekcjonowanie słabych ciągów poligonowych, jak również zlokalizowanie fragmentów ciągów posiadających grube błędy (część ciągów I rzędu oraz ciągi II rzędu).

Modernizacja szczegółowej poziomej osnowy IV klasy, I oraz II rzędu poligonizacji technicznej założonej w latach 1963-67 na terenie gminy Lelis (powiat ostrołęcki) objęła dwa podstawowe etapy prac naukowo-badawczych:

- Etap I. Analizy dokładności osnowy i opracowanie projektu modernizacji sieci pomiarowej „Ostrołęka Północ” (gmina Lelis, woj. mazowieckie, dawniej warszawskie) w aspekcie jej dostosowania do zgodności z obowiązującymi instrukcjami technicznymi.
- Etap II. a. Inwentaryzacja istniejących punktów osnow geodezyjnych pod kątem sporządzenia ostatecznego projektu uzupełniających pomiarów satelitarnych GPS,
b. wyznaczenie współrzędnych punktów wzmacniających techniką GPS,
c. wyrównanie szczegółowej poziomej osnowy IV klasy, I oraz II rzędu poligonizacji technicznej z wykorzystaniem punktów wzmacniających wyznaczonych techniką GPS.

● Etap I – Analizy dokładności i projekt modernizacji

Na zlecenie Wydziału Geodezji, Kartografii, Katastru i Gospodarki Nieruchomościami byłego Urzędu Wojewódzkiego w Ostrołęce przeprowadzono w roku 1998 analizę istniejących materiałów pomiarowych dotyczących geodezyjnych osnow poziomych na terenie obiektu „Ostrołęka Północ” (gmina Lelis) pod kątem ich powiązania i wyrównania w jednolitym układzie współrzędnych państwowych „1965”. Przeanalizowano dane dotyczące sieci poligonowych usytuowanych na powyższym obiekcie. Okazało się, że kompleksowe prace nad założeniem poligonizacji technicznej zostały wykonane w trzech etapach. W pierwszym etapie (1963-64) założono poligonizację techniczną I rzędu IV klasy, w drugim (1964-67) – poligonizację techniczną II rzędu dla potrzeb ewidencji gruntów. Celem trzeciego etapu było założenie dwurzędowej osnowy sytuacyjnej i linii pomiarowych do zdjęcia sytuacji terenowej. Po skompletowaniu i analizie danych dotyczących sieci objętych naszym opracowaniem (dzienniki pomiarowe, szkice przebiegu ciągów, zbiór współrzędnych punktów osnowy) przystąpiono do ścisłego wyrównania współrzędnych punktów metodą najmniejszych kwadratów programem SIEĆ’65 [8]. Danymi wyjściowymi do wyrównania były obserwacje kątowno-liniowe wypisane z dzienników pomiarowych prowadzonych przy zakładaniu poligonizacji technicznej oraz aktualne współrzędne punktów, które wykorzystano jako współrzędne przybliżone. Wyrównanie ciągów przeprowadzono, przyjmując za stałe: 4 punkty I klasy, 10 punktów osnowy szczegółowej II klasy

oraz 24 punkty osnowy szczegółowej III klasy. Z uwagi na to, że liczba punktów wyższego rzędu (I i II klasy) była niewielka, za punkty stałe przyjęto również kilka punktów osnowy szczegółowej III klasy. Wyrównaniem objęto 442 punkty. Danymi były obserwacje 523 kątów z błędem $100''$ i 494 długości z błędem 0,1 m.

W trakcie wyrównania stwierdzono, że niektóre ciągi II rzędu zawierały duże błędy pomiarowe, których wykrycie było niemożliwe. Dlatego w dalszym, ostatecznym opracowaniu zrezygnowano z tych ciągów, ponieważ występujące w nich błędy wpływały niekorzystnie na całą sieć. W wyniku wyrównania ściśle otrzymano: wykaz poprawek do współrzędnych przybliżonych, wyrównane współrzędne punktów poligonowych, zestawienie obserwacji wyrównanych i ich poprawek oraz błędy średnie położenia punktów i elementy elips błędów średnich. Po wyrównaniu wykonano analizę błędów średnich położenia punktów (m_p), które przyjęto za główne kryterium oceny dokładności. Według obowiązujących instrukcji [5, 6] średni błąd położenia punktu (m_p) nie powinien być większy niż 0,10 m dla osnowy szczegółowej III klasy oraz nie większy niż 0,20 m dla osnowy pomiarowej. W wyniku wyrównania otrzymano wartości m_p w przedziale od 0,04 do 0,40 m (rys. 3A).

W przypadku 9% punktów (na 442 punkty wyrównywane) błąd m_p nie przekroczył dopuszczalnej wartości dla osnowy szczegółowej III klasy. W przypadku 33% punktów m_p zawierał się w przedziale od 0,10 do 0,20 m. Pozostałe 58% punktów przekroczyło wartość 0,20 m, osiągając maksymalny błąd położenia 0,40 m.

● Wnioski z etapu I

Tak mała dokładność położenia punktów w sieci spowodowana jest niską dokładnością wykonanych obserwacji, jak również niewielką liczbą punktów stałych I i II klasy. Zageszczenie sieci punktami stałymi, wyznaczonymi techniką GPS, pozwoliłoby w znacznym stopniu podnieść dokładność wszystkich punktów sieci. W tym celu wykonano wstępny projekt punktów wzmacniających GPS, który należało poddać weryfikacji polowej pod kątem odszukania i ustalenia stanu geodezyjnego znaków naziemnych oraz określenia możliwości przeprowadzenia obserwacji satelitarnych (etap II). Po wykonaniu obserwacji GPS należało ponownie wyrównać osnowę w oparciu o współrzędne punktów kontrolnych, wyznaczonych metodą satelitarną. Analiza dokładności wykonana na podstawie tego wyrównania umożliwiłaby pełną ocenę wiarygodności i jakości zarówno całej osnowy, jak i poszczególnych ciągów w sieci.

● Etap II – modernizacja sieci

Jesienią 2000 roku na zlecenie Starostwa Powiatowego w Ostrołęce przeprowadzono drugi etap prac dotyczących modernizacji geodezyjnej osnowy poziomej na terenie gminy Lelis, mający na celu zinwentaryzowanie punktów osnów geodezyjnych, wyznaczenie techniką GPS współrzędnych punktów wzmacniających oraz ponowne wyrównanie szczegółowej poziomej osnowy IV klasy, I oraz II rzędu poligonizacji technicznej z wykorzystaniem punktów wzmacniających wyznaczonych techniką GPS.

Inwentaryzacja punktów istniejących osnów geodezyjnych pod kątem sporządzenia ostatecznego projektu uzupełniających pomiarów satelitarnych GPS. Korzystając ze wstępnego projektu do pomiaru wzmacniającego osnowy techniką GPS (etap I) oraz „Operatu technicznego, tom II – Poligonizacja

techniczna I rząd” [2] i „Operatu technicznego dla delegatury GUGiK, tom I – Poligonizacja techniczna II rząd” [3], przygotowano materiały umożliwiające przeprowadzenie w terenie inwentaryzacji punktów poziomej osnowy pomiarowej założonej na terenie gminy oraz punktów nawiązania. Materiały te obejmowały:

- szkice przeglądowe osnów pomiarowych I i II rzędu,
- mapy topograficzne w skali 1:10 000 obszaru gminy Lelis,
- kopie opisów topograficznych punktów nawiązania,
- kopie opisów topograficznych punktów podlegających inwentaryzacji.

Inwentaryzację przeprowadził zespół naukowo-badawczy Katedry Geodezji Satelitarnej i Nawigacji Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Na podstawie prac terenowych stwierdzono dużą dezaktualizację oryginalnych opisów topograficznych punktów osnowy pomiarowej założonej w latach 1963-67 spowodowaną rozbudową szlaków komunikacyjnych i infrastruktury poszczególnych miejscowości.

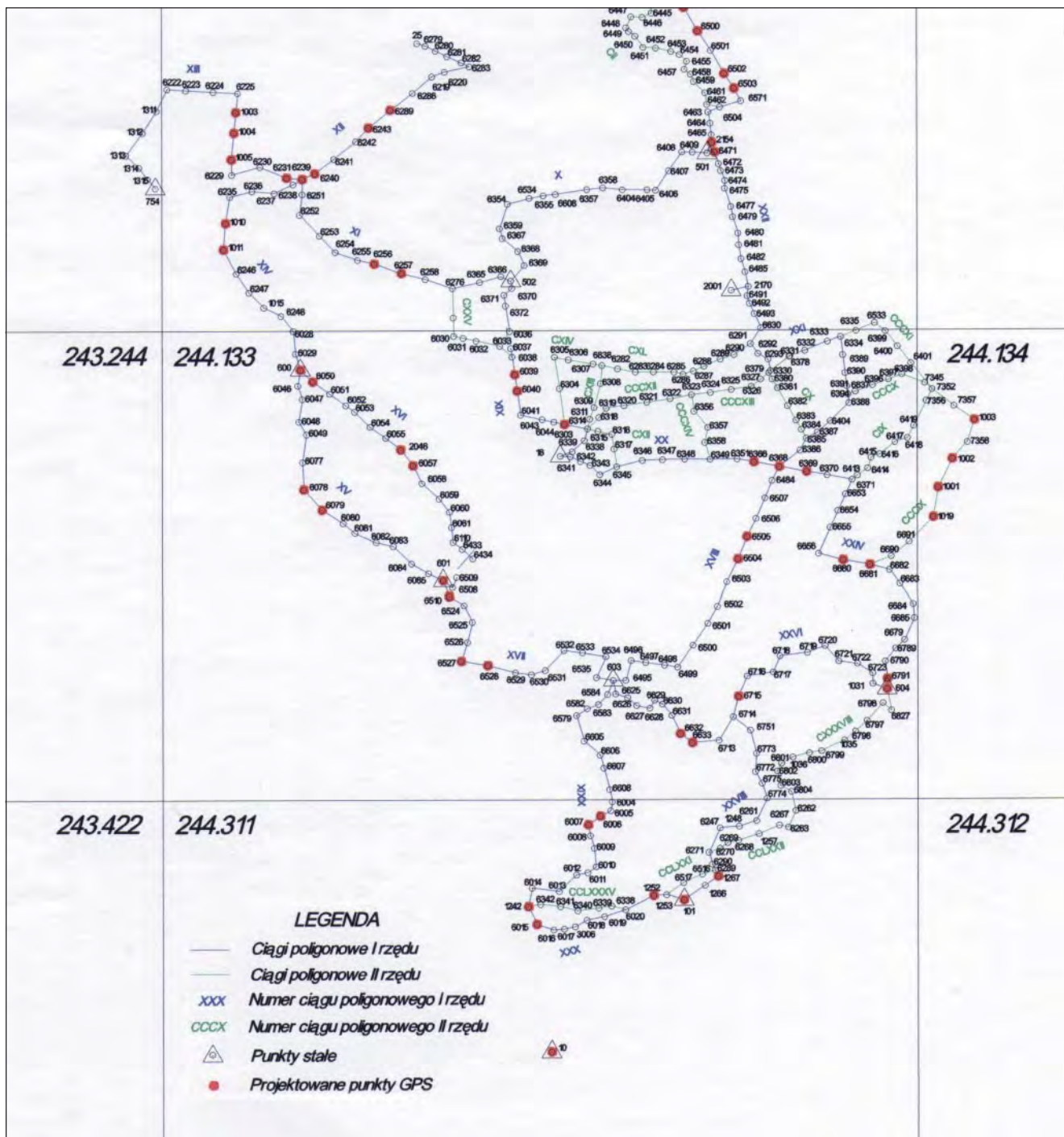
Inwentaryzacji poddano 169 punktów osnów geodezyjnych. Odszukano 5 punktów podstawowej osnowy poziomej I klasy, 12 punktów podstawowej osnowy poziomej II klasy, 2 punkty ekscentryczne (EXC2154 i EXC2170), 1 punkt sieci POLREF (4708) oraz 44 punkty osnowy pomiarowej I i II rzędu i 28 punktów osnowy III klasy. Dla odnalezionych w terenie punktów nadających się do pomiaru GPS sporządzono nowe opisy topograficzne.

Na 120 punktów osnowy poligonizacji technicznej poddanych inwentaryzacji, odnaleziono zaledwie 44, z czego 39 zakwalifikowano do pomiaru GPS (pozostałe znajdowały się pod drzewami, uniemożliwiając pomiar satelitarny). Punkty posiadające przechylony znak naziemny przestabilizowano i scentrowano do płyty (5 punktów). Spośród wszystkich zainwentaryzowanych punktów geodezyjnych odnaleziono i zakwalifikowano do pomiaru 72.

Następnie, korzystając ze wstępnego projektu pomiarów uzupełniających GPS, przystąpiono do opracowania ostatecznego projektu technicznego wzmacniających pomiarów GPS. Należało przy tym pamiętać o pewnych cechach charakterystycznych dla sieci GPS. Przede wszystkim nie jest niezbędna wzajemna widoczność pomiędzy punktami. W przeciwieństwie do klasycznych osnów geodezyjnych, geometria sieci i długości mierzonych wektorów nie są krytycznymi czynnikami wpływającymi na dokładność uzyskiwanych współrzędnych. Przy pomiarach GPS współrzędne wektorów obliczane są na podstawie pomiarów odległości do satelitów, dlatego widoczność radiowa satelitów oraz geometria układu satelitów są ważniejsze niż geometria sieci naziemnej.

Przy projektowaniu punktów GPS kierowano się następującymi zasadami:

- punkty GPS sytuowano na najsłabszych punktach ciągów (węzłowych oraz środkowych), dla których m_p było większe niż 0,10 m,
- punkty projektowano w parach lub triadach (dwa lub trzy sąsiadujące w ciągu), zakładając ich wzajemną widoczność (wizury, odległość między punktami do 800 m),
- odległość między sąsiadującymi parami (triadami) nie przekracza 2 km,
- przy punktach nawiązania zaprojektowano po jednym punkcie GPS, tak by tworzyły one wzajemnie widoczną parę,
- punkty GPS zaprojektowano na wszystkich punktach wykorzystanych przy zakładaniu osnowy szczegółowej III klasy (obecne punkty III klasy).

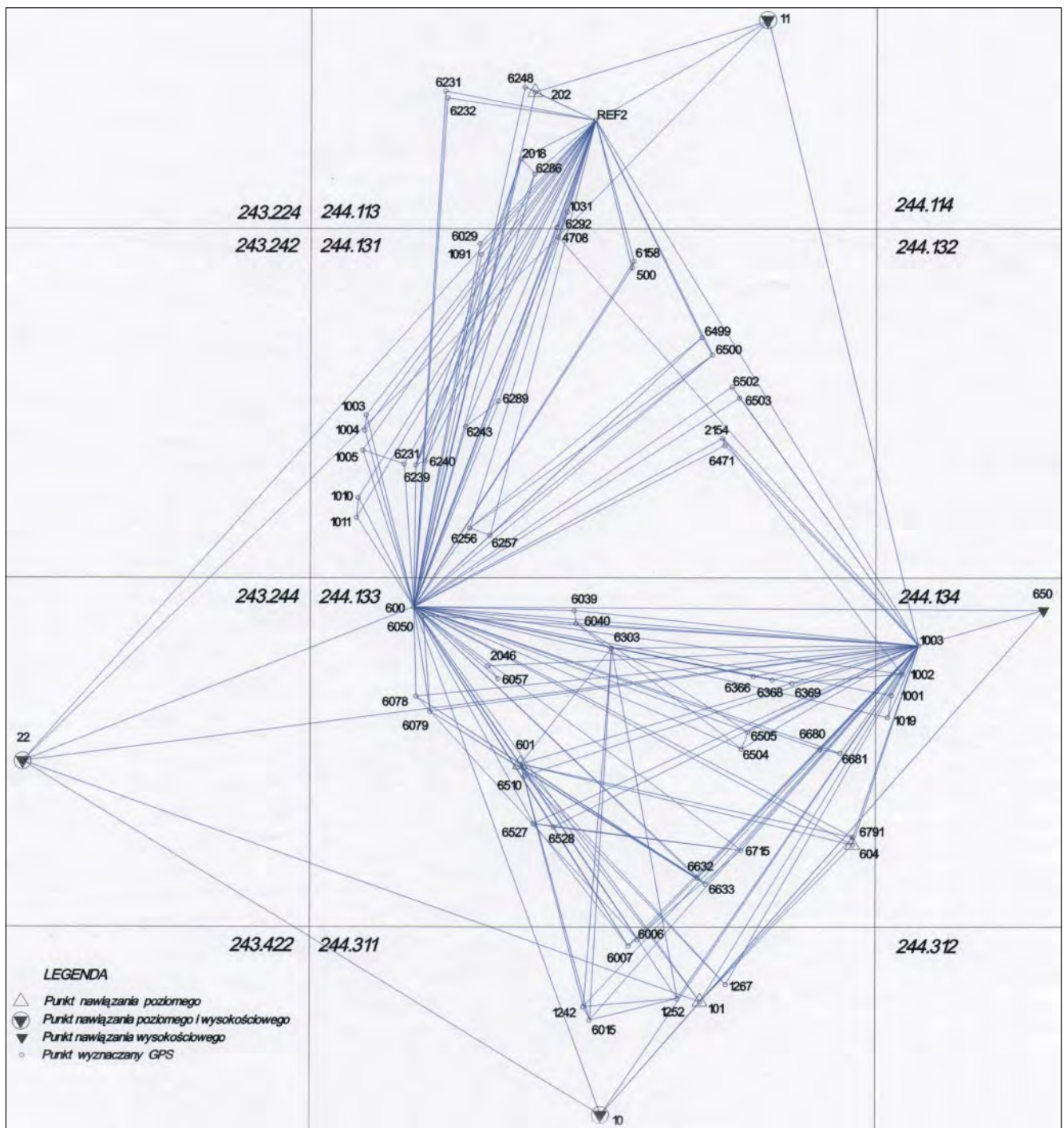


Rys. 1. Fragment szkicu ostatecznego projektu punktów wzmacniających GPS

Ze względu na dużą liczbę punktów zniszczonych, w projekcie uwzględniono wszystkie odnalezione punkty, na których możliwe było wykonanie pomiaru GPS. Fragment szkicu ostatecznego projektu punktów wzmacniających GPS przedstawiono na rys 1.

Wyznaczenie współrzędnych punktów wzmacniających techniką GPS. Korzystając z wyników przeprowadzonej inwentaryzacji punktów osnowy poziomej, przygotowano kampanię pomiarową GPS z uwzględnieniem analizy warunków obserwacyjnych (liczby satelitów, ich konfiguracji geometrycznej etc.) przy użyciu programu MP [9]. Przy ustalaniu

kolejności pomiarów brano pod uwagę geometrię sieci oraz optymalny czas dojazdu do poszczególnych punktów. Pomiary wykonano metodą statyczną 6 odbiornikami GPS firmy Ashtech: Z-XII, Z-Surveyor oraz Z-FX (zdjęcie na s. 48). Podstawowe parametry pomiaru: minimalna wysokość satelitów nad horyzontem – 15°, interwał pomiarowy – 15 s, minimalna liczba satelitów – 3, wartość PDOP < 6. Anteny ustawiano nad punktami, używając spodarek z pionownikami optycznymi. Pomiary wysokości anten nad punktami wykonywano przyzmiarami milimetrowymi. Długość sesji pomiarowych wynosiła od 40 do 60 minut i była ustalana w zależności od długości mierzonych wektorów. Długość se-



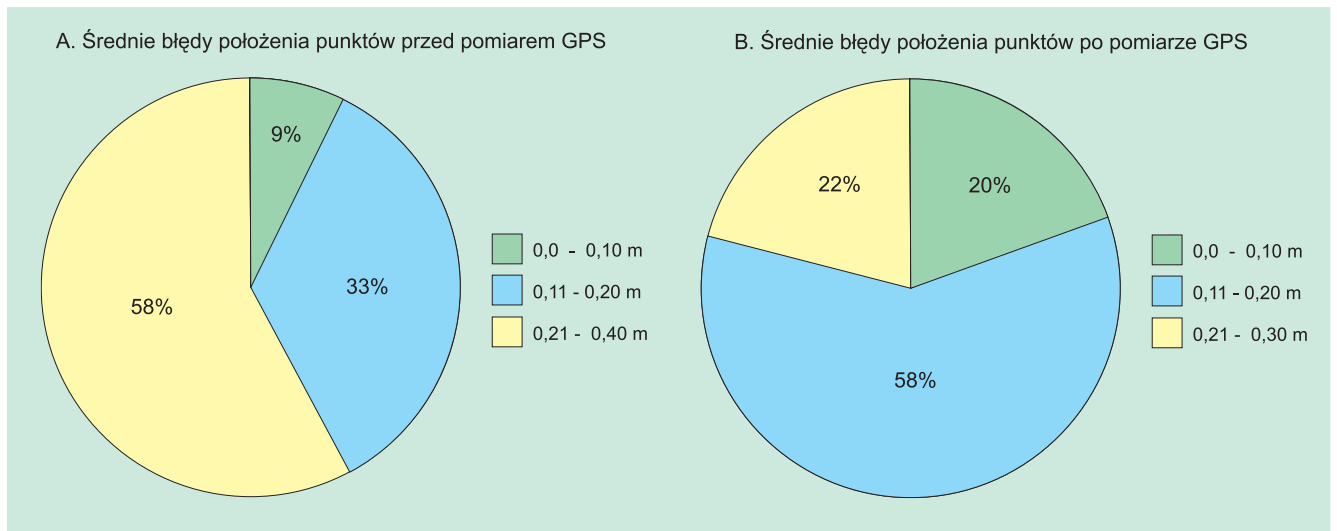
Rys. 2. Szkic wyrównanych wektorów

sji wiążących wynosiła 120 minut. Przybliżone składowe wektorów sieci punktów GPS obliczono przy użyciu programu GPPS [10]. Ścisłe wyrównanie sieci przeprowadzono przy użyciu programu GEOLAB [11]. Szkic wyrównanych wektorów przedstawiono na rys. 2.

Wyrównane współrzędne kartezjańskie X, Y, Z punktów osnowy w układzie satelitarnym EUREF '89 przetransformowano do układu państwowego „1965” przy użyciu programu GPSTRANS [12]. Do nawiązania poziomego sieci do państwowego układu współrzędnych „65” wykorzystano współrzędne 3 punktów I klasy oraz 4 punktów II klasy osnowy podstawowej, zaś do nawiązania wysokościowego – 3 punkty

I klasy oraz 1 punkt II klasy istniejącej osnowy niwelacji państwowej. Błędy położenia punktów wyznaczanych m_x i m_y po transformacji nie przekroczyły 0,16 m, średnie błędy położenia punktu m_p nie przekroczyły 0,23 m.

Wyrównanie szczegółowej poziomej osnowy IV klasy, I oraz II rzędu poligonizacji technicznej z wykorzystaniem punktów wzmacniających wyznaczonych techniką GPS. Na podstawie materiałów zgromadzonych przy realizacji etapu I projektu modernizacji geodezyjnej osnowy poziomej (dzienniki pomiarowe, szkice przebiegu ciągów, zbiór współrzędnych punktów osnowy) oraz wyników kampanii pomiarowej



Rys. 3. Wartości m_p wyrównanych punktów przed i po pomiarach wzmacniających GPS

punktów wzmacniających GPS (wykaz współrzędnych punktów) wykonano ponownie ściśle wyrównanie współrzędnych punktów programem Sieć'65 [8]. Wyrównanie ciągów przeprowadzono, przyjmując za punkty stałe: 5 punktów I klasy, 11 punktów osnowy szczegółowej II klasy, 18 punktów osnowy szczegółowej III klasy (w tym 13 punktów pomierzonych techniką GPS) oraz 39 punktów poligonizacji IV rzędu pomierzonych techniką satelitarną.

Wyrównaniem objęto 431 punktów. Danymi były obserwacje 458 kątów z błędem $100''$ i 418 długości z błędem 0,1 m. Tak jak w etapie I, za główne kryterium oceny dokładności przyjęto średni błąd położenia punktu m_p . W analizowanej sieci zawierał się on w przedziale od 0,06 do 0,30 m.

W przypadku 20% punktów (na 356 punktów wyrównywanych) błąd m_p nie przekroczył dopuszczalnej wartości dla osnowy szczegółowej III klasy. W przypadku 58% punktów, m_p zawiera się w przedziale od 0,11 do 0,20 m. Pozostałe 22% punktów przekroczyło wartość 0,20 m, osiągając maksymalny błąd położenia 0,30 m. Graficzną ilustrację błędów m_p przedstawia rys. 1. Punktami najsłabszymi były punkty węzłowe, a w przypadku ciągów obustronnie nawiązanych – punkty środkowe tych ciągów.

Mała dokładność położenia punktów w sieci spowodowana jest małą dokładnością klasycznych obserwacji polowych, jak również słabą konstrukcją geometryczną całej sieci klasycznej. Zagęszczenie sieci punktami stałymi wyznaczonymi techniką GPS w znacznym stopniu zwiększyło dokładność punktów sieci.

● Podsumowanie

Wyrównanie wzmocnionej pomiarami GPS osnowy poziomej poligonizacji technicznej IV klasy ciągów I i II rzędu oraz analiza dokładności wyznaczenia położenia punktów przeprowadzona w Katedrze Geodezji Satelitarnej i Nawigacji Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie pozwalają na sformułowanie następującego podsumowania:

■ Do wyrównania przyjęto zestaw danych pomiarowych pozyskanych w wyniku klasycznych bezpośrednich pomiarów terenowych przeprowadzonych w gminie Lelis w latach 1963-67 oraz współrzędne punktów osnowy wzmacniającej wyznaczonych techniką GPS w listopadzie 2000 roku.

■ W wyniku przeprowadzonego wyrównania można stwierdzić, że dokładność położenia 78% punktów sieci odpowiada

dokładności osnowy pomiarowej ($m_p < 0,20$ m), natomiast dla 22% punktów średni błąd położenia nie przekroczył 0,30 m.

■ Punkty osnowy wzmacniającej GPS umożliwiły wyselekcjonowanie słabych ciągów poligonowych, jak również zlokalizowanie fragmentów ciągów posiadających grube błędy (część ciągów I rzędu oraz ciągi II rzędu).

■ Przeprowadzona na terenie gminy Lelis modernizacja osnowy IV klasy z uwzględnieniem wzmacniających pomiarów GPS w znacznym stopniu poprawiła dokładność współrzędnych ponownie wyrównanych punktów osnowy klasycznej.

Autorzy są pracownikami Katedry Geodezji Satelitarnej i Nawigacji Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie

Literatura:

- [1] *Analiza dokładności osnowy i opracowanie projektu modernizacji sieci pomiarowej „Ostrołęka Północ” w aspekcie jej dostosowania do zgodności z obowiązującymi instrukcjami technicznymi*. Prace wykonane przez zespół autorski z Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie w roku 1998.
- [2] *Operat techniczny, tom II – Poligonizacja techniczna I rząd, obiekt: Ostrołęka Północ, pow.: Ostrołęka, woj.: warszawskie*. Wykonany w latach 1963-64 przez Wojewódzkie Biuro Geodezji i Urzędzeń Rolnych w Warszawie.
- [3] *Operat techniczny dla delegatury GUGiK, tom I – Poligonizacja techniczna II rząd, obiekt: Ostrołęka Północ, pow.: Ostrołęka, woj.: warszawskie*. Wykonany w latach 1964-67 przez Wojewódzkie Biuro Geodezji i Urzędzeń Rolnych w Warszawie.
- [4] *Instrukcja Techniczna G-4, Pomiary Sytuacyjne i Wysokościowe*, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, luty 1979 r.
- [5] *Instrukcja Techniczna G-1, Geodezyjna Osnowa Pozioma*, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 1978 r.
- [6] *Wytyczne Techniczne G-1.5, Szczegółowa Osnowa Pozioma Projektowanie, Pomiar i Opracowanie Wyników*, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 1984 r.
- [7] *Instrukcja B-III, Poligonizacja Techniczna, Dział B – Pomiary Szczegółowe, Powszechnie Przepisy o Pomiarach Kraju*, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 1965 r.
- [8] **Idzi Gajderowicz**, *Instrukcja obsługi programu Sieć'65*.
- [9] *MP, Multi-Site Mission Planning* firmy Ashtech.
- [10] *GPS Post-Processing System* firmy Ashtech.
- [11] *Geolab* firmy BitWise Ideas.
- [12] **Idzi Gajderowicz**, *Instrukcja obsługi programu GPSTRANS*.