

Mieczysław Bakuła*, Stanisław Oszczak*, Radosław Baryła*, Dariusz Popielarczyk*,
Wojciech Jarmołowski*, Arkadiusz Tyszko*, Bartłomiej Oszczak*, Eliza Sitnik*,
Rafał Gregorczyk*, Paweł Wielgosz*, Jacek Rapiński*, Grzegorz Jesiotr*

Wyznaczenie współrzędnych osnowy szczegółowej GPS III powiatu wieruszowskiego

1. Wprowadzenie

Wykonując prace geodezyjno-kartograficzne na terenach miejskich i wiejskich, mamy do czynienia z poziomymi osnowami geodezyjnymi zakładanymi w różnych okresach czasu, co w konsekwencji prowadzi do zróżnicowania dokładności położenia punktów wyznaczanych. Dokładność ta w głównej mierze będzie uzależniona od punktów osnowy geodezyjnej, które zostaną wybrane do nawiązania pomiarów geodezyjnych. Toteż geodeci wykonujący w terenie różne prace niejednokrotnie są zmuszeni do wyselekcjonowania punktów „dobrych” z całego zbioru punktów osnowy geodezyjnej zlokalizowanych na danym obiekcie. Modernizacja osnowy geodezyjnej, mająca na celu ujednoczenie oraz poprawę dokładności położenia punktów, w znacznym stopniu poprawia wydajność pracy, jak również ułatwia tworzenie map numerycznych i baz danych na podstawie materiałów archiwalnych (zdjęcia sytuacyjne) odniesionych do punktów starych osnow geodezyjnych. Dla punktów tych wyznacza się metodą satelitarną nowe współrzędne o dokładnościach przewidzianych w obowiązujących instrukcjach technicznych.

Problem dokładności osnow geodezyjnych, wykorzystywanych do tworzenia ewidencji gruntów i budynków, nie jest problemem nowym. Od początku tworzenia sieci geodezyjnych trwały i nadal trwają ciągłe prace nad zagęszczeniem, modernizacją i poprawą dokładności osnow geodezyjnych (m.in. [3]). Obecnie w tych pracach ważną rolę odgrywa technologia satelitarnych pomiarów GPS (*Global Positioning System*), coraz powszechniej wykorzystywana w geodezji do określania współrzędnych punktów w globalnym układzie odniesienia, które zastępuje niejednokrotnie skomplikowane klasyczne techniki pomiarowe. Szczegółowe osno-

* Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn

wy GPS, zarówno na terenach miejskich, jak i wiejskich, mierzone metodą statyczną, pozwalają na wyznaczenia położenia punktów z milimetrową dokładnością.

Rozwój technik pomiarowych z wykorzystaniem technologii satelitarnej GPS umożliwił wprowadzenie różnych metod pomiarowych zwiększających dokładność, jak i wydajność pomiarów. Obecnie za najbardziej zaawansowaną pod względem technicznym uważa się metodę RTK (*Real Time Kinematic*) umożliwiającą wykonywanie w czasie rzeczywistym pomiarów względnych (bazujących na stacji referencyjnej), w dowolnie zdefiniowanym układzie współrzędnych płaskich, z dokładnością 1–3 cm. Metoda RTK z powodzeniem może być wykorzystywana do pozyskiwania danych ewidencyjnych, wykonywania pomiarów sytuacyjno-wysokościowych. Może też służyć do wyznaczania współrzędnych osnów szczegółowych w utrudnionych warunkach obserwacyjnych gdyż metody postprocessingu nie umożliwiają otrzymywanie wyników bezpośrednio w terenie i nigdy nie wiadomo czy na podstawie danych pomiarów GPS otrzymamy poprawne wyniki obliczeń. Wielokrotna reinicjalizacja nieoznaczoności pomiarów fazowych przy pomiarze metodą RTK, w połączeniu ze zgodnym, kilkakrotnym wyznaczeniem współrzędnych nowego punktu, gwarantuje poprawność wyznaczeń pozycji [4, 2].

2. Zakres prac pomiarowych i obliczeniowych na obiekcie Wieruszów

Prace zrealizowane na obiekcie Wieruszów obejmowały:

- pomiar techniką GPS punktów osnowy III klasy, zgodnie z projektem dostarczonym przez Zleceniodawcę oraz dostarczonymi opisami topograficznymi punktów wyznaczanych i punktów nawiązania,
- wyrównanie ściśle sieci,
- transformacja współrzędnych z układu ETRF-89 do układu „2000”,
- transformacja współrzędnych z układu ETRF-89 do układu „1965”, strefa I oraz IV.

3. Pomiar techniką GPS punktów osnowy

Projekt techniczny osnowy szczegółowej III klasy dla obiektu Wieruszów został opracowany przez Okręgowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne OPGK Wrocław.

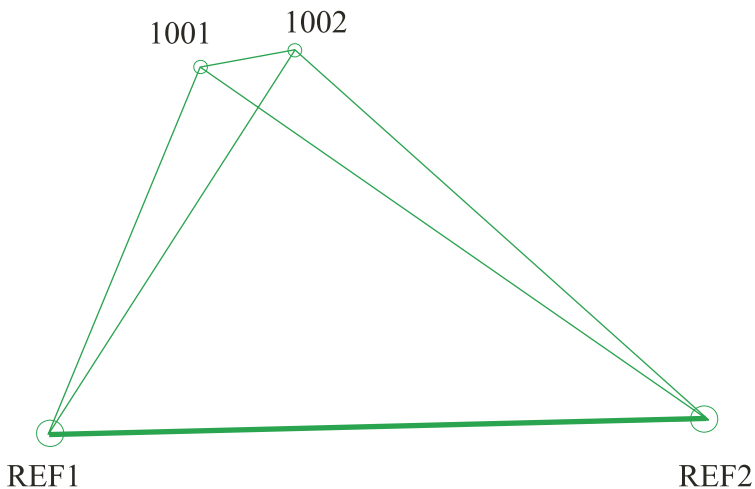
Przed przystąpieniem do obserwacji wykonano analizę warunków obserwacyjnych (liczba satelitów, ich konfiguracji geometrycznej etc.). Przy ustalaniu kolejności pomiarów brano pod uwagę geometrię sieci oraz optymalny czas dojazdu do

poszczególnych punktów. Na podstawie analizy warunków obserwacji oraz położenia punktów w terenie sporządzono projekt wykonania obserwacji GPS.

Na terenie objętym pomiarami wybrano do nawiązania 5 punktów sieci POL-REF o numerach: 2308, 2404, 2405, 2406, 2407.

Pomiary GPS wyznaczanych punktów wykonano metodą statyczną, w oparciu o punkty referencyjne REF0, REF1, REF2, REF3, REF4, REF5, REF6, w dniach: 27.06-06.07, 2006 r, przy użyciu 12 odbiorników GPS typu Ashtech Z-XII i Ashtech Z-Surveyor, Ashtech Z-Xtreme. Punkty referencyjne zostały wybrane w miejscach o pełnej widoczności sfery niebieskiej i zastabilizowano je palikami. Punktem łącznym codziennych sesji statycznych była stacja REF0 zlokalizowana w środku obiektu.

Pomiar wyznaczanych punktów wykonywano w nawiązaniu do dwóch stacji referencyjnych, wybranych na odkrytych terenach. Jak wynika z rysunku 1, każdy punkt posiadał co najmniej dwie obserwacje nadliczbowe, jeśli będzie brany pod uwagę tylko jeden zespół pomiarowy. W praktyce jednak, przy takiej liczbie odbiorników ruchomych, były dodatkowe wektory pomiędzy wyznaczanymi punktami, dodatkowo każda pierwsza i ostatnia sesja każdego dnia była synchroniczna.



Rys. 1. Pomiar wektorów osnowy szczegółowej

Należy także zaznaczyć, że przy takim sposobie pomiaru (rys. 1) istnieje dodatkowa kontrola wyznaczeń współrzędnych wektorów GPS z uwagi na warunki geometryczne nieoznaczoności pomiarów fazowych drugich różnic, które jak wia-

domo powinny być równe zero w figurach zamkniętych, przy tym samym satelicie odniesienia [7, 6, 5]. Np. dla trójkąta REF1-REF2-1001 można zapisać:

$$N_{REF1-REF2}^{j,k} + N_{REF2-1001}^{j,k} + N_{1001-REF1}^{j,k} = 0.$$

Cztery punkty wyznaczone w danej sesji, umożliwiają zatem niezależną kontrolę poprawności wyznaczeń nieoznaczoności pomiarów fazowych w trójkątach: REF1-REF2-1001, REF1-REF2-1002, REF1-1001-1002, REF2-1001-1002.

Taka analiza umożliwia wiarygodną kontrolę wyznaczeń wektorów GPS, w przypadkach gdy błędy wstępnego wyrównania są większe od dopuszczalnych w odniesieniu do punktów referencyjnych. Dopiero po poprawnym wyznaczeniu nieoznaczoności wektory mogą być brane do wyrównania przestrzennego sieci GPS, z wykorzystaniem programu GEONET, gdzie dodatkowo jest możliwość badań zgodności zamknięć przrystów współrzędnych w trójkątach.



Rys. 2. Punkt osnowy szczegółowej, na którym nie otrzymano poprawnego rozwiązania przy dwukrotnym pomiarze GPS

Do pomiaru GPS zaprojektowano 977 nowowyznaczanych punktów zaprojektowanych przez Zleceniodawcę, na których wykonano obserwacje GPS, a ponadto 5 punktów sieci POLREF, 2 punkty II klasy oraz 4 punkty I klasy osnowy podsta-

wowej. Łącznie z punktami nawiązania obserwacje GPS wykonano na 988 punktach. Projektu technicznego osnowy podstawowej. Jednak z uwagi na gęste zasłony drzew nie otrzymano poprawnych wyników z obserwacji GPS na 6 punktach. Lokalizację jednego z punktów, na którym przy dwukrotnych pomiarach statycznych GPS nie otrzymano poprawnych wyników przedstawiono na rysunku 2.

Podstawowe parametry pomiaru GPS:

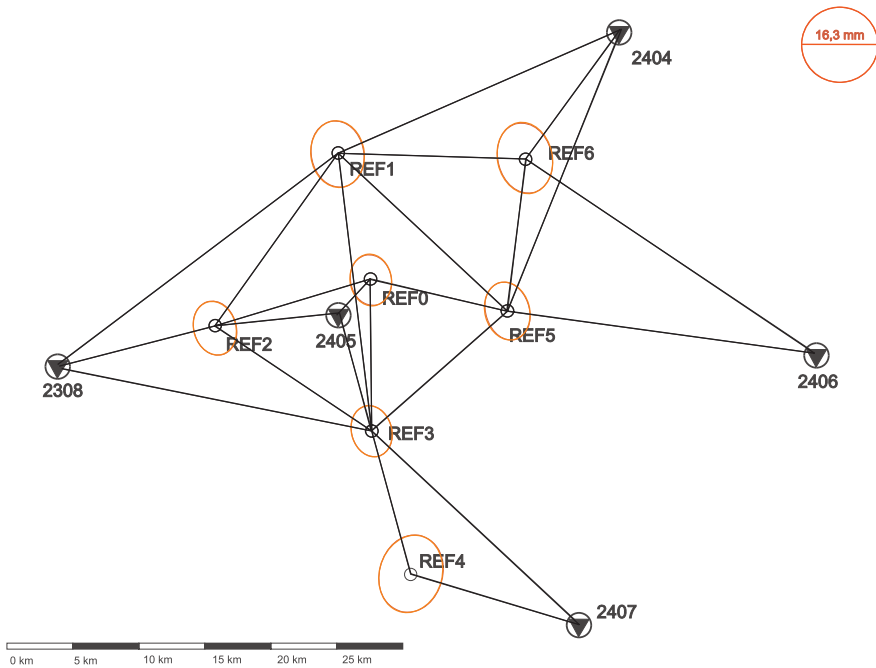
- minimalna wysokość satelitów nad horyzontem 15° ,
- interwał pomiarowy 10 s,
- minimalna liczba satelitów 3,
- wartość PDOP < 6 .

Długość sesji pomiarowych wynosiła co najmniej 40 minut i była wydłużana w przypadkach o utrudnionym dostępie do sfery niebieskiej do 60–90 minut. Sesje nawiązujące do sieci POLREF wynosiły 1,5–2,5 h, w zależności od sytuacji satelitarnej.

4. Wyrównanie ściśle sieci

Przybliżone składowe wektorów sieci punktów GPS obliczono przy użyciu programu GPPS, firmy Ashtech. Obliczenia kontrolne wykonywano na bieżąco, w czasie trwania kampanii pomiarowej. Przy obliczeniach uwzględniono poprawkę troposferyczną dla standardowych warunków meteorologicznych. Obliczenia wykonano, przyjmując kąt minimalnej elewacji 15 stopni. Z uwagi na dość duży obszar objęty pomiarem GPS bardzo istotne jest właściwe nawiązania do sieci POLREF. Nawiązanie sieci wektorów GPS do układu ETRF-89 (rys. 3), sieci POLREF przeprowadzono przy użyciu oprogramowania AOS (*Ashtech Office Suite*), z uwagi na długość wektorów wykorzystano do obliczeń obie częstotliwości L1 i L2 obserwacji GPS. Wyrównanie punktów referencyjnych wykonano dwukrotnie: przy 5 punktach nawiązania oraz przy 4 punktach nawiązania. W przypadku czterech punktów nawiązania punkt piąty, zlokalizowany w środku sieci posłużył do rzeczywistej kontroli pomiędzy współrzędnymi katalogowymi a współrzędnymi otrzymanymi z wyrównania. Różnice współrzędnych punktu kontrolnego 2405 wyniosły odpowiednio: $\delta B = 0,00021$ s, $\delta L = 0,00036$ s, $\delta h = 0,003$ m. Wyrównane współrzędne punktów referencyjnych przy 5 i 4 punktach nawiązania przedstawiono odpowiednio w tabelach 1 i 2.

Ściśle wymuszone wyrównanie sieci (w oparciu o 7 punktów referencyjnych: REF0, REF1, REF2, REF3, REF4, REF5, REF6) dla wyznaczanych punktów przeprowadzono przy użyciu programu GEONET. Średnie błędy wyznaczanych punktów po wyrównaniu nie przekroczyły 0,01 m. Wyniki wyrównania otrzymano w układzie ETRF-89.



Rys. 3. Szkic wyrównanych wektorów nawiązania punktów referencyjnych do sieci

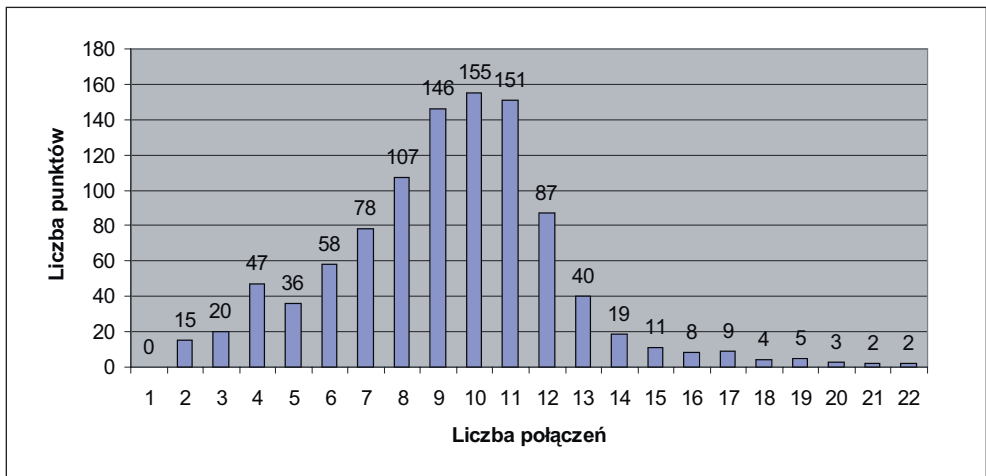
Tabela 1. Współrzędne wyrównane punktów referencyjnych z analizą dokładności przy 5 punktach nawiązania sieci POLREF

Point	Lat [Deg]	Lon [Deg]	ell,H [m]	sN [mm]	sE [mm]	sH [mm]
REF0	N51° 19' 39,37063"	E18° 15' 07,21924"	202,059	10,6	8,6	23,1
REF1	N51° 24' 46,64290"	E18° 13' 02,03887"	182,794	14,1	10,8	28,1
REF2	N51° 17' 42,14580"	E18° 05' 00,45053"	220,113	11,4	9,0	24,5
REF3	N51° 13' 28,71039"	E18° 15' 09,87130"	211,756	10,8	8,6	23,2
REF4	N51° 07' 41,18776"	E18° 17' 39,29454"	215,160	16,2	13,5	36,8
REF5	N51° 18' 20,92182"	E18° 24' 02,58634"	225,912	12,2	9,7	24,5
REF6	N51° 24' 33,29210"	E18° 25' 13,88067"	218,427	14,6	11,5	28,5

Na rysunku 4 przedstawiono liczbę połączeń wyrównanych wektorów dla punktów sieci otrzymanych po wyrównaniu. Oś pozioma przedstawia liczbę połączeń natomiast oś pionowa przedstawia liczbę punktów o danej liczbie połączeń.

Tabela 2. Współrzędne wyrównane punktów referencyjnych z analizą dokładności przy 4 punktach nawiazania sieci POLREF

Point	Lat [Deg]	Lon [Deg]	ell,H [m]	sN [mm]	sE [mm]	sH [mm]
2405	N51° 18' 19,42830"	E18° 13' 03,59510"	216,841	20,5	16,8	52,4
REF0	N51° 19' 39,37056"	E18° 15' 07,21913"	202,059	13,7	10,6	27,1
REF1	N51° 24' 46,64285"	E18° 13' 02,03881"	182,794	15,3	11,6	29,7
REF2	N51° 17' 42,14574"	E18° 05' 00,45044"	220,113	14,0	10,5	27,0
REF3	N51° 13' 28,71033"	E18° 15' 09,87122"	211,756	13,1	10,1	26,4
REF4	N51° 07' 41,18770"	E18° 17' 39,29444"	215,160	18,1	14,8	40,4
REF5	N51° 18' 20,92177"	E18° 24' 02,58626"	225,912	13,9	10,6	26,6
REF6	N51° 24' 33,29206"	E18° 25' 13,88061"	218,427	15,7	12,1	29,8

**Rys. 4.** Liczba punktów dla odpowiedniej liczby połączeń wyrównanych wektorów

5. Transformacja współrzędnych z układu ETRF-89 do układu „2000” oraz „1965”

Współrzędne wyrównane X, Y, Z punktów osnowy w układzie ETRF-89 przetransformowano do układu państwowego „2000” przy użyciu programu GEONET.

Tabela 3. Różnice we współrzędnych x, y w układzie „2000”

Nr punktu (Sekcja 1:10000)	dx [m]	dy [m]
16 (131,114)	-0,002	0,025
19 (131,233)	0,012	-0,008
750 (131,342)	-0,032	-0,011
753 (131,132)	-0,017	-0,004
12 (131,214)	-0,009	0,025
12 (131,141)	0,002	-0,002

Poniżej przedstawiono różnice (dx, dy) pomiędzy współrzędnymi katalogowymi punktów I i II klasy osnowy podstawowej a współrzędnymi otrzymanymi z obliczenia programem GEONET (tab. 3). Różnice współrzędnych w układzie „2000” nie przekraczają 0,032 m.

Transformację do układu „1965” przeprowadzono wykonując kolejno: transformację konforemną (program GEONET), a następnie transformację Helmerta z korektą Hausbrandta (program TRANS-POL) przy wykorzystaniu współrzędnych 7 punktów nawiązania, równomiernie rozłożonych na całym obszarze. Średni błąd transformacji wyniósł: Mt = 0,058 m z układu ETRF-89 do „1965” strefa I, Mt = 0,052 m z układu ETRF-89 do „1965” strefa IV.

6. Przeliczenie wysokości elipsoidalnych na wysokości normalne

Transformację wysokości elipsoidalnych do wysokości normalnych Kronsztadt 89 wykonano z wykorzystaniem geoidy niwelacyjnej 2002 oraz 16 zaniwelowanych przez zleceniodawcę punktów osnowy wyznaczanej (tab. 4).

Tabela 4. Porównanie wysokości otrzymanych z niwelacji (Kronsztadt 86) a geoidą niwelacyjną 2002

Numer punktu	Wysokości z niwelacji Kronsztadt 86	Geoida niwelacyjna 2002
211024	137,739	137,773
211023	138,116	138,162
115724	181,195	181,243
115725	179,815	179,847
241063	202,177	202,220
241064	201,386	201,423

Tabela 4. cd.

221566	186,694	186,712
221516	187,995	188,031
221517	186,007	186,023
211539	179,980	180,025
211540	178,584	178,622
411090	170,776	170,833
411083	171,355	171,403
331501	187,344	187,377
315495	184,788	184,832
315496	185,663	185,715

Na podstawie tych 16 punktów, rozłożonych na całym obszarze, wyznaczono średnią korekcję $dh = -0,04$ m dla wysokości otrzymanych z geoidy niwelacyjnej 2002, redukując wyliczone wysokości normalne. Po uwzględnieniu korekcji wysokości otrzymane końcowe wysokości normalne uzyskały zgodność z wysokościami zaniwelowanymi przez zleceniodawcę w granicach do 0,02 m.

7. Podsumowanie i wnioski

Wykorzystanie 10 odbiorników ruchomych umożliwiło uzyskanie przeciętnej liczby połączeń dla pojedynczego punktu o wartości powyżej 9 dla całej sieci osnowy GPS powiatu wieruszowskiego. Błędy współrzędnych przy wyrównaniu wymuszonym w układzie ETRF-89 nie przekroczyły 0,01 m. Przy długości sesji trwającej co najmniej 40 minut zaobserwowano wiele połączeń w sesjach niezależnych z uwagi na poprawne wyznaczenie wektorów już przy sesjach 10–15-minutowych, w sytuacjach o dobrej konfiguracji satelitarnej. Na podstawie punktów łącznych zaobserwowano znacznie lepsze wyniki transformacji do układu „2000”, natomiast przy transformacji do układu „1965” uzyskano gorsze wyniki z uwagi na błędy transformacji przy dostosowaniu do współrzędnych osnowy podstawowej I i II klasy.

W przypadkach ograniczonego dostępu do sfery niebieskiej, wyznaczenie współrzędnych metodą statyczną nie zawsze jest możliwe. W takich sytuacjach istnieje potrzeba stosowania techniki RTK z wielokrotną reinicjalizacją nieoznaczoności pomiarów fazowych. Wielokrotne, niezależne wyznaczenie współrzędnych metodą RTK może być techniką umożliwiającą poprawne i wiarygodne wyznaczenie współrzędnych punktów osnowy szczegółowej.

Literatura

- [1] Ashtech and Spectra Precision Terrasat GmbH Germany. *Ashtech Office Suite for Survey*, User's Manual, USA, 1998.
- [2] Bakuła M., Oszczak S., Pelc-Mieczkowska R., Suchocki M., Chrostowska M., Rudziński M.: *Analiza precyzji i dokładności pomiarów GPS w warunkach leśnych*, Warszawa, konferencja PTIP, 2006.
- [3] Baryła R., Ciećko A., Popielarczyk D., Oszczak S., Biedrzycki K., Pakieła W.: *Modernizacja ewidencji gruntów założonej na podstawie danych z pomiarów bezpośrednich*, GEODETA, Nr 2 (57), 2000.
- [4] Cisak J., Kryński J., Mańk M.: *RTK w terenie zurbanizowanym. Przykład Warszawy*, Dęblin, Zeszyty Naukowe nr 2/2001.
- [5] Lachapelle G., Alves P.: *Multiple Reference Station Approach: Overview and Current Research*, Journal of Global Positioning Systems, Vol. 1, No 2, pp 133–136, 2002.
- [6] Raquet J.: *A New Approach to GPS Carrier Phase Ambiguity Resolution Using a Reference Receiver Network*, Proceedings of National Technical Meeting, Santa Monica, January 14–16), The Institute of Navigation, Alexandria, VA, pp. 357–366, 1997.
- [7] Wanninger L.: *Improved Ambiguity Resolution by Regional Differential Modelling of the Ionosphere*, Proceedings of ION GPS-95, Palm Springs, Sep. 12–15, pp 55–62, 1995.
- [8] Wübbena G., Bagge A., Seeber G., Böder V., Hankemeier P. *Reducing Distance Dependent Errors for Real-Time Precise DGPS Applications by Establishing Reference Station Networks*, Proceedings of the International Technical Meeting, ION GPS-96, Kansas City, Missouri, pp. 1845–1852, 1996.