

Radosław Baryła*, Mieczysław Bakuła*, Stanisław Oszczak*

Zastosowanie metod pozycjonowania GPS do modernizacji osnowy geodezyjnej oraz ewidencji gruntów i budynków

1. Wstęp

Wykonując prace geodezyjne, mamy do czynienia z poziomymi osnowami geodezyjnymi zakładanymi w różnych okresach czasu, co w konsekwencji prowadzi do różnicowania dokładności położenia wyznaczanych punktów. Dokładność ta w głównej mierze będzie uzależniona od dokładności wybranych do nawiązania pomiarów geodezyjnych, punktów osnowy geodezyjnej. Toteż w praktyce geodeci niejednokrotnie są zmuszeni do wyselekcjonowania punktów „dobrych” z całego zbioru dostępnych 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 mapy cyfrowej na podstawie materiałów archiwalnych odniesionych do punktów starych osnów geodezyjnych, dla których wyznacza się nowe współrzędne o dokładnościach przewidzianych w obowiązujących instrukcjach technicznych.

Problem dokładności osnów geodezyjnych nie jest problemem nowym. Od początku tworzenia sieci geodezyjnych trwały i nadal trwają ciągle prace nad zagęszczeniem, modernizacją i poprawą dokładności osnowy geodezyjnej. 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, zastępując niejednokrotnie skomplikowane klasyczne techniki pomiarowe. Szczegółowe osnowy – GPS – zarówno na terenach miejskich, jak i wiejskich, mierzone metodą statyczną, pozwalają na osiągnięcie dokładności wyznaczenia położenia punktów z milimetrową dokładnością.

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

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 uważana jest metoda RTK (*Real Time Kinematic*) umożliwiająca wykonywanie w czasie rzeczywistym pomiarów względnych (bazujących na stacji referencyjnej) prowadzących do wyznaczenia współrzędnych 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,
- inwentaryzacji,
- realizacji projektów inżynierskich.

2. Modernizacja klasycznej osnowy geodezyjnej

Głównym celem modernizacji szczegółowej osnowy poziomej jest maksymalne wykorzystanie istniejących materiałów geodezyjnych w świetle obowiązujących instrukcji technicznych oraz wykonanie niezbędnych pomiarów uzupełniających. W artykule przedstawiono głównie prace badawczo-wdrożeniowe prowadzone z wykorzystaniem technologii GPS, wykonane w latach 1997–2005. Zebrane doświadczenia pozwoliły na opracowanie metod oraz szczegółowej procedury zbierania, przetwarzania, opracowywania i łączenia danych archiwalnych z danymi aktualnie pozyskanymi. Na podstawie doświadczeń i spostrzeżeń [1, 3] została opracowana technologia zastosowania statycznych pomiarów GPS w modernizacji osnów szczegółowych, obejmująca następujące czynności:

1. wybór obszaru opracowania (należy zwracać szczególną uwagę na to, aby ciągi poligonowe przechodzące przez granicę obszaru włączać w całości do opracowania);
2. gromadzenie i dokładna analiza materiałów archiwalnych dotyczących istniejącej osnowy geodezyjnej na danym obszarze;
3. ściśle wyrównanie klasycznej osnowy geodezyjnej na podstawie zgromadzonych danych archiwalnych (dane do wyrównania muszą pochodzić z bezpośrednich obserwacji terenowych);
4. analizę uzyskanych wyników (zwrócenie szczególnej uwagi na poprawki do obserwacji i średnie błędy położenia punktów);
5. zaprojektowanie wzmacniającej osnowy GPS (pary i triady punktów);
6. wywiad terenowy, sprawdzenie warunków widoczności satelitów;
7. inwentaryzację włączonych do projektu punktów w terenie oraz wykonanie ewentualnej korekty projektu;
8. wykonanie pomiarów GPS według zweryfikowanego projektu;

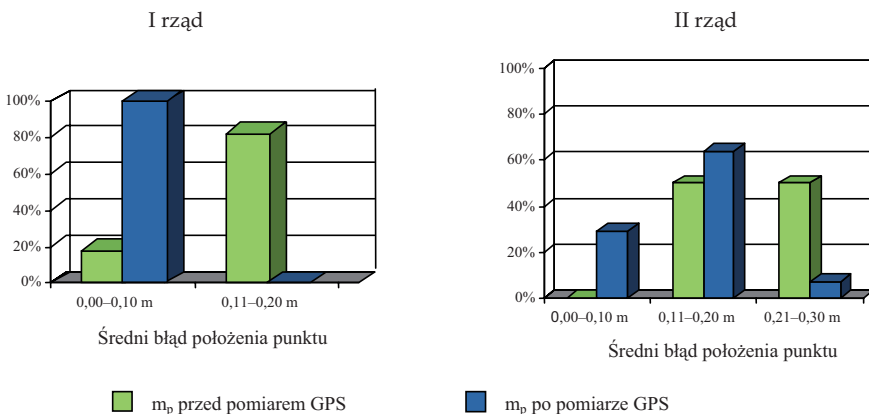
9. opracowanie wyników GPS i transformację do obowiązującego układu współrzędnych;
10. ponowne ściśle wyrównanie osnowy geodezyjnej z uwzględnieniem zwiększonej liczby punktów nawiazania wyznaczonych technologią GPS;
11. analizę uzyskanych wyników;
12. ostateczne zestawienie współrzędnych oraz błędów średnich położenia punktów.

Modernizację osnowy geodezyjnej według powyższej technologii przeprowadzono na następujących obiektach:

- wieś Janki Stare, poligonizacja techniczna IV klasy, I oraz II rząd z 1963 roku,
- gmina Lelis, poligonizacja techniczna IV klasy, I rząd z 1962 roku,
- miasto Pruszcz Gdański, poligonizacja techniczna III klasy, I i II rząd z 1955 roku oraz poligonizacja techniczna II klasy, I i II rząd z 1974 roku,
- gmina Goworowo, osnowa szczegółowa III klasy z 1993 roku.

2.1. Obiekt: wieś Janki Stare

Modernizacją osnowy geodezyjnej zlokalizowanej na obiekcie wieś Janki Stare – poligonizacja techniczna IV klasy, I oraz II rząd, z 1963 roku – objęto 118 punktów [6]. W wyniku przeprowadzonego ściślego wyrównania sieci, na podstawie danych archiwalnych, średni błąd położenia punktu w przypadku 82% punktów I rzędu oraz w przypadku 71% punktów II rzędu przekroczył 10 cm (rys. 1).



Rys. 1. Wartości średnich błędów położenia punktów przed i po modernizacji osnowy geodezyjnej na obiekcie wieś Janki Stare

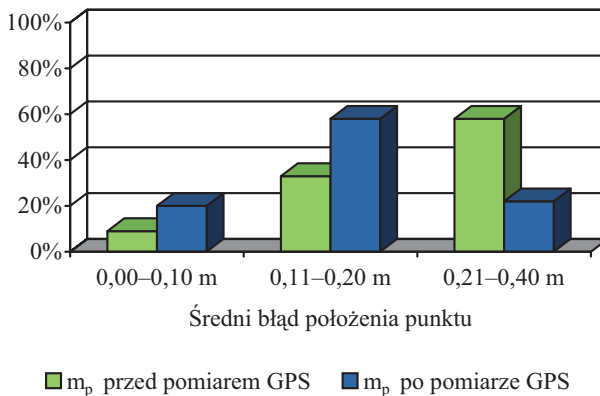
Ponowne ściśle wyrównanie sieci, po zwiększeniu liczby punktów nawiazania o punkty wzmacniające GPS z 11 do 21, wykazało, że w przypadku wszystkich

punktów I rzędu błędy średnie położenia punktów mieszczą się w granicach do 10 cm, natomiast w przypadku prawie wszystkich punktów II rzędu (93%) uzyskano dokładność wyznaczenia punktów odpowiadającą osnowie pomiarowej (rys. 1).

2.2. Obiekt: gmina Lelis

Modernizacją osnowy geodezyjnej zlokalizowanej na obiekcie gmina Lelis – poligonizacja techniczna IV klasy, I rząd, z 1962 roku – objęto 431 punktów [6]. W wyniku przeprowadzonego ścisłego wyrównania sieci, na podstawie danych archiwalnych, średni błąd położenia punktu w przypadku 91% punktów przekroczył 10 cm, osiągając maksymalną wartość 40 cm (rys. 2).

Ponowne ścisłe wyrównanie sieci, po zwiększeniu liczby punktów nawiązania o punkty wzmacniające GPS z 21 do 73, wykazało, że dla 78% punktów sieci błędy średnie położenia odpowiadają dokładności osnowy pomiarowej, natomiast w przypadku 22% punktów błąd ten nie przekroczył 30 cm (rys. 2).



Rys. 2. Wartości średnich błędów położenia punktów przed i po modernizacji osnowy geodezyjnej na obiekcie gmina Lelis

2.3. Obiekt: miasto Pruszcz Gdański

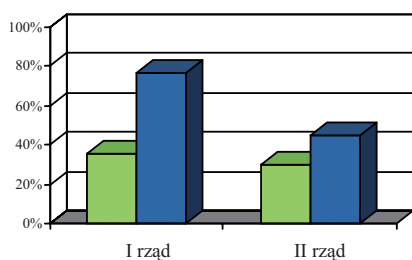
Modernizacją osnowy geodezyjnej zlokalizowanej na obiekcie miasta Pruszcz Gdański objęto [4]:

- 193 punkty I rzędu oraz 74 punkty II rzędu poligonizacji technicznej III klasy z 1955 roku, liczbę punktów nawiązania zwiększono o punkty wzmacniające GPS z 13 do 37,
- 225 punktów I rzędu oraz 94 punkty II rzędu poligonizacji technicznej II klasy z 1974 roku, liczbę punktów nawiązania zwiększono o punkty wzmacniające GPS z 21 do 31.

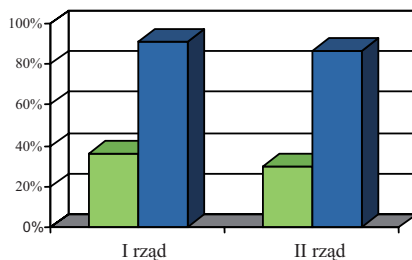
W wyniku przeprowadzonej modernizacji na punktach poligonizacji technicznej III klasy z 1955 roku, zbiór punktów, dla których średni błąd położenia punktu osiągnął wartości nie większe od 10 cm, zwiększył się z 36% do 76% – w przypadku punktów I rzędu oraz z 30% do 45% – w przypadku punktów II rzędu (rys. 3).

Przeprowadzona modernizacja punktów poligonizacji technicznej II klasy z 1974 roku, powiększyła zbiór punktów, dla których średni błąd położenia punktu osiągnął wartości nie większe od 10 cm, z 36% do 91% – w przypadku punktów I-go rzędu oraz z 30% do 86% w przypadku punktów II rzędu (rys. 3).

Poligonizacja techniczna III klasy z 1955 r.



Poligonizacja techniczna II klasy z 1974 r.



■ m_p przed pom. GPS

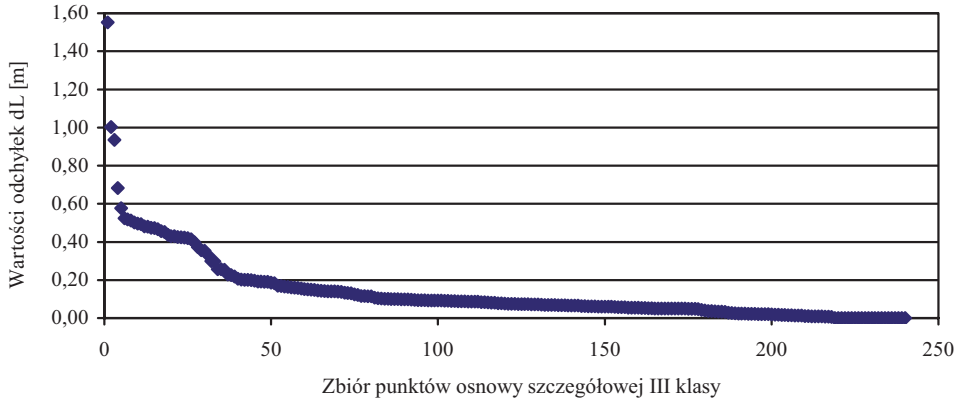
■ m_p po pom. GPS

Rys. 3. Średni błąd położenia punktu $m_p \leq 0,10$ m przed i po modernizacji osnowy geodezyjnej na obiekcie miasta Pruszcz Gdański

2.4. Obiekt: Gmina Goworowo

Modernizacją osnowy geodezyjnej zlokalizowanej na obiekcie gmina Goworowo – osnowa szczegółowa III klasy z 1993 roku [5], objęto 228 punktów. W wyniku przeprowadzonego ścisłego wyrównania sieci, na podstawie danych archiwalnych, średni błąd położenia punktu w przypadku całego zbioru punktów nie przekroczył 10 cm, natomiast stwierdzono znaczne, dochodzące do 1,4 m, wartości poprawek do współrzędnych przybliżonych, którymi były współrzędne katalogowe. W celu wykrycia źródeł pochodzenia błędów w danej sieci posłużono się opracowaną technologią modernizacji osnowy geodezyjnej. Pomiarem kontrolnym GPS objęto 56 punktów, którymi były punkty najsłabsze sieci oraz punkty GPS wyznaczone wcześniej do nawiązania sieci. Porównanie nowych współrzędnych punktów kontrolnych ze współrzędnymi katalogowymi wykazało różnice dochodzące do 0,5 m. Ponowne ścisłe wyrównanie sieci, po zwiększeniu liczby punktów nawiązania, wykazało, że dla wszystkich punktów sieci błędy średnie położenia odpowiadają wymaganej

dokładności osnowy szczegółowej III klasy, co świadczy o prawidłowym przeprowadzeniu procedur pomiarowych. Natomiast porównując odchyłki liniowe (rys. 4), obliczone na podstawie otrzymanych współrzędnych punktów oraz współrzędnych katalogowych, w przypadku 38% punktów stwierdzono znaczne, przekraczające 0,10 m, przesunięcia punktów dochodzące do 1,55 m.



Rys. 4. Rozkład wartości odchyłek liniowych na punktach osnowy szczegółowej III klasy na obiekcie Goworowo

Wykorzystana technologia modernizacji osnowy geodezyjne wykazała, w przypadku osnowy szczegółowej III klasy zlokalizowanej w gminie Goworowo, prawidłowość przeprowadzenia całej procedury tworzenia sieci oraz błędy, które wystąpiły w trakcie sporządzania zestawienia współrzędnych, przyjętych ostatecznie jako współrzędne katalogowe.

3. Modernizacja ewidencji gruntów założonej na podstawie danych z pomiarów bezpośrednich

Modernizację ewidencji gruntów i budynków można przeprowadzić na podstawie archiwalnych danych pozyskanych z bezpośrednich pomiarów terenowych zgromadzonych w trakcie tworzenia mapy ewidencyjnej. Do tworzenia archiwalnych zbiorów obserwacyjnych wykorzystywano zakładane wówczas sieci geodezyjne, których zastabilizowane punkty w większości przetrwały do obecnych czasów. Obecnie przed przystąpieniem do tworzenia numerycznej mapy ewidencji gruntów i budynków należy przeprowadzić modernizację osnowy geodezyjnej wykorzystanej do opracowania archiwalnych danych obserwacyjnych, stosując wcześniej przedstawioną procedurę modernizacji osnowy geodezyjnej.

Modernizację ewidencji należy wykonywać według następujących zasad [2]:

- do modernizacji ewidencji gruntów należy używać wyłącznie danych uzyskanych z pomiarów bezpośrednich;
- technika wykonania pomiarów bezpośrednich i wykorzystania pozyskanych danych powinna być zgodna z obowiązującymi instrukcjami technicznymi;
- osnowa geodezyjna powinna być zmodernizowana (ponowne ściśle wyrównanie z uwzględnieniem wzmacniających punktów GPS);
- błędy uzyskanych pól powierzchni powinny wyłącznie wynikać z terenowych pomiarów bezpośrednich (powszechnie stosowana digitalizacja map oprócz wymienionych błędów obejmuje błędy kartowania, odkształcenia podłoża mapy oraz digitalizacji).

Modernizację ewidencji gruntów z wykorzystaniem źródłowych materiałów pomiarowych oraz wzmacniających pomiarów GPS przeprowadzono na dwóch obiektach [2]: Janki Stare i Susk Nowy.

Analizując istniejące materiały ewidencyjne, stwierdzono, że pomiary stanu władania zostały wykonane metodami:

- przedłużeń,
- domiarów prostokątnych,
- przecięć.

Mapy ewidencji gruntów zostały ręcznie skartowane na podstawie pomiarów bezpośrednich. Wykorzystując te same dane, opracowano cyfrowe mapy ewidencyjne rozpatrywanych obrębów, jak również szczegółowe wykazy powierzchni działek obliczonych metodą analityczną. Mapę opracowano przy użyciu programu EWMAPA 6.5, na podstawie bezpośrednich pomiarów sytuacyjnych (szkice graniczne, szkice polowe) wykonanych w latach 1965–1967.

Zestawiając powierzchnie pól otrzymane z mapy numerycznej z powierzchniami wykazanymi w ewidencji gruntów, stwierdzono, że całkowite powierzchnie obrębów różnią się odpowiednio:

- dla wsi Janki Stare – 0,1000 ha przy uzyskanej powierzchni 294,9512 ha,
- dla wsi Susk Nowy – 0,1900 ha przy uzyskanej powierzchni 367,8095 ha.

W tym momencie pojawił się kolejny problem związany z dokładnością zapisu powierzchni działek. Według Wytycznych Technicznych G-5.4 obliczenie powierzchni działek metodą analityczną powinno być wykonane z dokładnością 1 m², natomiast powierzchnie wykazane w istniejącej ewidencji gruntów zapisane są z dokładnością do 1 ara (100 m²). Praktycznie problem ten nie miałby większego znaczenia gdyby nie bardzo duże rozdrobnienie działek na rozpatrywanych obrębach. W obrębach tych około 50% działek ma powierzchnię mniejszą od 0,5 hektara, dla których samo zaokrąglenie powierzchni do jednego ara ($\pm 0,5$ ara) zawiera błąd stanowiący co najmniej 1% powierzchni działki.

Na potrzeby odnowienia i modernizacji istniejącej ewidencji gruntów, po zakończeniu prac związanych z obliczeniem powierzchni, zgodnie z Wytycznymi technicznymi G-5.4, należy sporządzić porównawcze zestawienie powierzchni działek gruntowych. Porównawcze zestawienie powinno zawierać powierzchnie tych samych działek uzyskane na podstawie:

- wyników obliczeń metodą analityczną (automatycznie),
- istniejącej ewidencji gruntów.

Jeżeli różnice uzyskane w wyniku porównania powierzchni działek gruntowych nie przekraczają różnic dopuszczalnych, obliczonych na podstawie wzoru:

$$\Delta P = 0,001 \cdot P + 0,0002 \cdot M \sqrt{P},$$

gdzie:

- M – mianownik skali mapy ewidencyjnej,
- P – powierzchnia działki wyrażona w m²,

należy, w celu zachowania ciągłości danych ewidencyjnych, przyjmować jako ostateczne:

- powierzchnie działek ujawnione w istniejącej ewidencji gruntów,
- dla działek nie ujawnionych w istniejącej ewidencji gruntów – powierzchnie z odpowiednich dokumentów,
- dla pozostałych działek oraz w przypadku przekroczenia różnic dopuszczalnych – powierzchnię z obliczeń.

Na podstawie powyższego zestawienia stwierdzono, że w obrębie Janki Stare:

- dla 146 działek (36,8%) różnica powierzchni nie przekroczyła dopuszczalnej odchyłki;
- dla 89 działek (22,5%) dopuszczalna odchyłka została przekroczona lecz nie przekroczyła błędu zaokrąglenia (0,5 ara);
- dla 161 działek (40,7%) dopuszczalna odchyłka została przekroczona o wartość większą od błędu zaokrąglenia.

Natomiast w obrębie Susk Nowy:

- dla 202 działek (57,9%) różnica powierzchni nie przekroczyła dopuszczalnej odchyłki;
- dla 70 działek (20,1%) dopuszczalna odchyłka została przekroczona lecz nie przekroczyła błędu zaokrąglenia (0,5 ara);
- dla 77 działek (22,0%) dopuszczalna odchyłka została przekroczona o wartość większą od błędu zaokrąglenia.

4. Podsumowanie

Szybki rozwój metod pomiarowych z zastosowaniem satelitarnej technologii GPS w znacznym stopniu przyczynia się do doskonalenia prac geodezyjnych. Względne pomiary statyczne GPS umożliwiają w krótkim czasie pozyskanie danych pomiarowych potrzebnych do dokładnego wyznaczenia przestrzennego położenia punktów osnowy geodezyjnej.

Przedstawione przykłady zastosowania technologii GPS do modernizacji ewidencji, pozwalają wysunąć następujące wnioski:

- do modernizacji osnowy geodezyjnej oraz ewidencji gruntów należy wykorzystywać wyłącznie dane pozyskane z bezpośrednich pomiarów terenowych;
- technologia wykonania i wykorzystania pomiarów bezpośrednich powinna być zgodna z obowiązującymi instrukcjami technicznymi;
- „starą” osnowę geodezyjną należy ponownie ściśle wyrównać, następnie wzmocnić przy użyciu nowoczesnych technik pomiarowych (np. GPS) i obliczeniowych;
- błędy uzyskanych pól powinny wyłącznie wynikać z błędów powstałych w terenie podczas wykonywania pomiarów bezpośrednich;
- modernizacja osnowy geodezyjnej oraz ewidencji gruntów z wykorzystaniem źródłowych materiałów pomiarowych, jest najbardziej ekonomiczną metodą uzyskania pełnowartościowych danych ewidencyjnych;
- opracowana technologia modernizacji osnowy geodezyjnej może być również wykorzystana do wykrywania błędów grubych nowo zakładanych metodami klasycznymi osnow szczegółowych III klasy.

Literatura

- [1] Biedrzycki K., Oszczak S., Pakieła W., Wasilewski A.: *Modernizacja osnow szczegółowych z wykorzystaniem techniki GPS*, Konferencja Naukowo-Techniczna „Automatyzacja procesu pozyskiwania danych i tworzenia mapy cyfrowej” ART Olsztyn: 1–3, 1994.
- [2] Baryła R., Ciećko A., Popielarczyk D., Oszczak S., Biedrzycki K., Pakieła W.: *Modernizacja ewidencji gruntów założonej na podstawie danych z pomiarów bezpośrednich*, GEODETA – Magazyn Geoinformacyjny, Nr 2 (57), 2000, 9–11.
- [3] Baryła R., Ciećko A., Oszczak S.: *Ocena dokładności poziomych osnow geodezyjnych, założonych w latach 1955–1991 na terenie miasta Pruszcz Gdański, pod kątem modernizacji ewidencji gruntów*, X Sesja Naukowo-Techniczna „Aktualne problemy naukowe i techniczne prac geodezyjnych”, Piwniczna, 10–12 maj 2001, 7/1-7/7, 2001.

- [4] Baryła R., Ciećko A., Oszczak S., Popielarczyk D.: *GPS wspiera pomiary klasyczne – Ocena dokładności szczegółowych osnów geodezyjnych (założonych w latach 1955–91) dla celów modernizacji ewidencji gruntów*, „GEODETA” – Magazyn Geoinformacyjny, Nr 2 (81), 2002, 26–29.
- [5] Baryła R., Oszczak S., Biedrzycki K.: *Modernizacja zintegrowanej osnowy szczegółowej III klasy na przykładzie obiektu Goworowo*. Doroczne Krajowe Seminarium nt.: „Ruch obrotowy Ziemi i Geodezji Satelitarne od Astronomii do GNSS”, Warszawa, 18–19.09. 2003, (CD-ROM), 2003.
- [6] Ciećko A., Baryła R., Oszczak S.: *Wykorzystanie danych z pomiarów bezpośrednich do modernizacji ewidencji gruntów*, Konferencja Naukowa: „Aktualne problemy geodezji i kartografii”, Wrocław 18–19 maj 2000, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Nr 394 (2000), 2000, 91–99.
- [7] Popielarczyk D., Ciećko A., Baryła R., Oszczak S.: *GPS-y w gminie Lelis*, „GEO-DETA” – Magazyn Geoinformacyjny, Nr 5 (72), 2001, 48–52.
- [8] Instrukcja Techniczna G-1. *Geodezyjna Osnowa Pozioma*, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 1978.
- [9] Wytyczne techniczne G-5.4. *Opracowanie dokumentacji wyjściowej do odnowienia ewidencji gruntów z zastosowaniem technologii fotogrametrycznych*, Ministerstwo Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa, 1991.