

Zbigniew Siejka

**PROPOZYCJA METODYKI OPRACOWANIA
OBSERWACJI SATELITARNYCH GNSS
Z WYKORZYSTANIEM SERWISU POZGEO D
DO ZAKŁADANIA PUNKTÓW OSNOWY POMIAROWEJ**

**PROPOSED METHODOLOGY OF ELABORATING GNSS
SATELLITE OBSERVATIONS WITH THE USE OF POZGEO
D SERVICE TO INSTALL POINTS OF MEASUREMENT
CONTROL NETWORK**

Streszczenie

W pracy przedstawiono propozycję metodyki opracowania statycznych obserwacji satelitarnych wykonanych przy zakładaniu punktów osnowy pomiarowej od momentu pozyskania obserwacji satelitarnych z odbiornika do uzyskania ostatecznych współrzędnych w aktualnie obowiązujących układach odniesienia.

Jest to podstawowe zadanie geodezyjne, od którego zależy powodzenie wielu prac w szerokim zakresie działalności: pomiarów geodezyjnych, projektowania, realizacji obiektów inżynierskich, aktualizacji map, budowania systemów informacji przestrzennej i geograficznej.

Opracowanie obserwacji rozpoczęto od przetworzenia obserwacji binarnych pochodzących bezpośrednio z odbiornika satelitarnego GNSS do obserwacji zapisanych w uniwersalnym formacie plików Rinex. W drugim etapie celem nawiązania wykonanych pomiarów osnowy do jednolitego układu odniesienia, obserwacje te uzupełniono o dane pochodzące ze stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS. Następnie na podstawie postprocessingu przetworzono wszystkie obserwacje satelitarne dla odpowiednich par punktów i obliczono wektory współrzędnych kartezjańskich (ΔX , ΔY , ΔZ) wraz z błędami ich wyznaczenia. W kolejnym etapie wykonano diagnostykę szczegółową wektorów dla rzeczywistej oceny jakości uzyskanego materiału obserwacyjnego dla wyeliminowania wektorów obciążonych dużymi błędami. Po tych czynnościach przeprowadzono w dwóch etapach wyrównanie wektorów sieci GPS. W ostatnim etapie wykonano transfor-

mację wyników do żądanych układów współrzędnych. Dla kontroli uzyskanych wyników przeprowadzono niezależne opracowanie obserwacji za pomocą automatycznego serwisu POZGEO w systemie ASG-EUPOS.

Słowa kluczowe: sieć wektorów GPS, obserwacje odstające, wyrównanie wektorów GPS

Summary

This paper presents the proposal of the methodology of elaborating static satellite observations executed when installing points of measurement control network from the moment of obtaining satellite observations from the receiver to gaining final coordinates in the currently mandatory frames of reference.

It is an elementary geodetic task on which many works in the broad scope of activity depend (measurements, designs, execution of engineering objects, updating of maps, building spatial and geographic information systems).

The elaboration of observations began with the processing of binary observations directly from GNSS satellite receiver used for observations saved in a universal format of Rinex files. At the second stage, the goal was to refer the executed control measurements to the uniform frames of reference. Observations were supplemented with data from referential stations of the ASG-EUPOS system. Then on the basis of post-processing, all satellite observations were processed for the relevant pairs of points and vectors of Cartesian coordinates (ΔX , ΔY , ΔZ) were calculated with errors in their designation. At the next stage, a detailed diagnosis of vectors was conducted for the actual quality evaluation of the obtained observation material in order to eliminate vectors burdened with large errors. Following these activities, vectors of GPS network were equalised in two stages. At the last stage, the results were transformed to the required systems of coordinates. Independent elaboration of observations was conducted with the use of automatic POZGEO service in the ASG-EUPOS system in order to control the obtained results. The paper contains a list of results obtained in the autonomous elaboration with the use of POZGEO-D service and a comparison of the results of observations made in the automatic POZGEO service.

Key words: network of GPS vectors, outliers observations, adjustment of the GPS vectors

WSTĘP

System ASG-EUPOS ma zapewniać dokładność wyznaczania współrzędnych w postprocessingu na poziomie 1–10 cm. Dokładność ta jest wystarczająca dla zakładania większości osnów geodezyjnych w tym osnów pomiarowych zgodnie z nowym rozporządzeniem MSWiA z dnia 9 listopada 2011 roku w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego. Jednak uzyskanie tych dokładności w rzeczywistym rozwiązaniu uwarunkowane

jest wieloma czynnikami w tym m. in. warunkami otoczenia miejsca wykonywanego pomiaru, klasy sprzętu GNSS, czasu pomiarów a także metodyki opracowania wyników pomiarów. Koncepcja zaproponowanej w pracy metodyki opracowania pomiarów opiera się na wykorzystaniu trzech dostępnych powszechnie aplikacji. „Converter to Rinex”, która dokonuje konwersji plików binarnych z formatu odbiornika do uniwersalnego formatu Rinex (Rinex 2.10). TEQC” za pomocą, której dokonać można kontroli jakości obserwacji satelitarnych pochodzących z kampanii pomiarowej oraz ze stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS. Pakietu programów systemu GEONET, w którym można zrealizować kolejno: postprocessing obserwacji GPS, wstępną kontrolę zbioru wektorów przestrzennych, dokonać wyrównania ściślego sieci wektorowej GPS w kartezjańskim układzie geocentrycznym elipsoidy WGS-84 oraz przeliczyć wyniki do układów odwzorowawczych.

METODYKA BADAŃ

Idea wykorzystania satelitarnej aktywnej sieci geodezyjnej (ASG-EUPOS) do realizacji osnów geodezyjnych stanowiących podstawę wszelkiego rodzaju pomiarów geodezyjnych znalazła już uznanie w zastosowaniach praktycznych głównie ze względu na to, że zapewnia bezpośrednie nawiązanie nowo wyznaczonej sieci do punktów państwowej osnowy podstawowej klasy I, bez konieczności ustawiania własnego odbiornika na punktach nawiązania. Serwis POZGEO-D umożliwia samodzielne wykonanie obliczeń i zapewnia wiele możliwości kontroli poprawności wyznaczenia położenia punktów ale stwarza również możliwość popełnienia błędu przez niedoświadczonego użytkownika. W krajowej literaturze przedmiotu znalazło się kilka opisów i zastosowań praktycznych [Kadaj 2009, Bosy 2005, Banasik, Góral i in. 2005] rozwiązania tego typu zadania geodezyjnego. Autor publikacji postanowił przedstawić kompleksowo powyższe zagadnienie na rzeczywistym przykładzie opracowanym numerycznie od początku do końca z analizą dokładności uzyskanych wyników.

OPIS BADAŃ

Obiekt badań

Obiektem badań była jednorodna sieć GPS złożona z pięciu punktów wyznaczonych, (2041, 10, 2042, 2050, 2044) zlokalizowanych w terenie miejskim o niskim współczynniku intensywności zabudowy w rejonie ulic Balickiej i Godlewskiego na terenie kampusu Wydziału Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie (ryc. 1). Obserwacje przeprowadzono podczas jednej sesji pomiarowej dniu 24 września 2011r. przy wykorzystaniu pięciu zestawów zintegrowanych odbiorników satelitarnych Trimble R8 GNSS

Model 3. Pomiar wykonano przy następujących parametrach: założony czas pomiaru 2h, minimalna liczba obserwowanych satelitów 5, kąt obcięcia horyzontu 5° , interwał rejestracji danych 1 sekunda, maksymalna wartość PDOP ≤ 4 .



Zródło: Badania własne na podstawie geoportal.gov.pl
Source: Own calculation based on geoportal.gov.pl

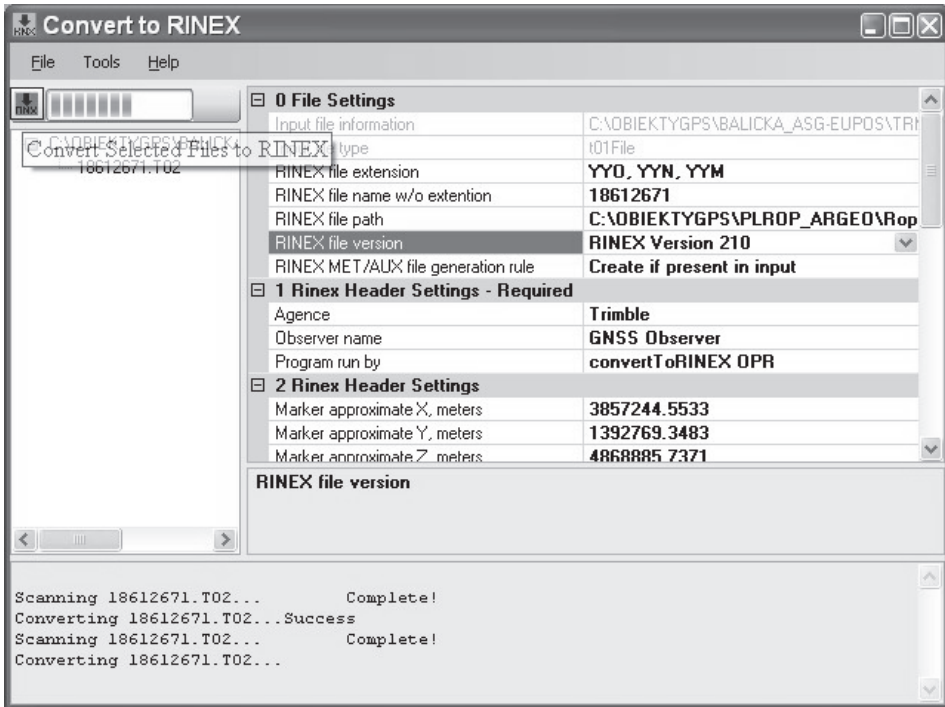
Rysunek 1. Rozmieszczenie punktów osnowy pomiarowej
Figure 1. Location points of measurement control networks

Przygotowanie danych wejściowych - konwersja plików obserwacyjnych

W pierwszym etapie opracowania wykonano konwersję plików binarnych z formatu odbiornika *.T02 do uniwersalnego formatu wymiany danych RINEX, tworząc zestawy plików obserwacyjnych i nawigacyjnych zawierających informacje o orbitach typu *broadcast*, za pomocą programu Converter to RINEX (rys. 2). Dodatkowo na tym etapie skontrolowano również typy i modele anten GNSS użyte do pomiaru oraz nazwy i numery pomierzonych punktów.

W drugim etapie przygotowania danych obserwacyjnych za pomocą programu TEQC [UNAVCO 2007] poddano automatycznej kontroli wszystkie pliki obserwacyjne wyznaczając m. in. stosunek sygnału do szumu, poziom wielodrożności sygnału i interferencję fal wtórnych. Ten etap kontroli danych wyka-

zał, że wielkość SRN (Signal to Noise Ratio) dla satelity o identyfikatorze PRN G08 jest zbyt niska (SRN1 < 30 dB-Hz, SRN2 < 20 dB-Hz) w związku z tym obserwacje do tego satelity zostały wyłączone z postprocessingu.

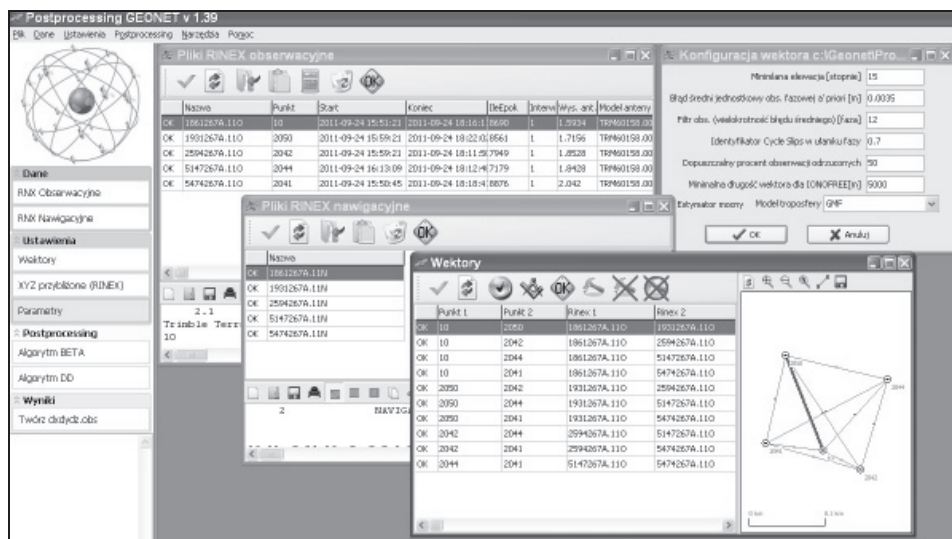


Rysunek 2. Okno dialogowe programu „Converter to Rinex”
Figure 2. The dialog box of the „Converter to Rinex”

Postprocessing obserwacji satelitarnych

Postprocessing obserwacji GPS wykonano za pomocą programu GEO-NET, polega on na tym, że w oparciu o wcześniej przygotowane pliki w formacie RINEX, orbity precyzyjne (Final Orbits) i kalibracje anten w formacie ANTEX program automatycznie identyfikuje sesje i określa możliwe do wyznaczenia wektory na punktach, na których wykonane były synchroniczne obserwacje. Przed wykonaniem obliczeń określono dodatkowe parametry obliczeń: minimalna liczba epok obserwacyjnych 3600, minimalna elewacja 15°, błąd średni jednostkowy obserwacji fazowej a priori 0.0035m, dopuszczalny procent obserwacji odrzuconych 50%, minimalna długość wektora dla IONOFREE 5km, model troposfery GMF (Global Mapping Function). Obliczenia wykonano za pomocą algorytmu BETA [Kadaj 2007b], który wykorzystuje specjalny układ

potrójnych różnic obserwacji fazowych GPS. Ostatecznym wynikiem postprocessingu był plik z obliczonymi wektorami $dx dy dz.obs$, oraz błędami średnimi ich wyznaczenia m_{dx} , m_{dy} , m_{dz} , który w kolejnych etapach opracowania służył do dalszych obliczeń.



Rysunek 3. Okno główne modułu postprocessingu w systemie GEONET
Figure 3. The main window of post-processing module in the GEONET system

Wstępna kontrola sieci wektorowej

Dla kontroli błędów w obserwacjach przeprowadzono test zamknięcia trójkątów w analizowanej sieci. Polegał on na tym, że określono wielkość dopuszczalnej odchyłki zamknięcia trójkąta na poziomie $\Delta = 0.05\text{m}$ a program automatycznie w strukturze sieci wektorowej wyszukał elementy trójkątowe i dokonał odpowiedniej kontroli zamknięć. Odnotowane zostały w ten sposób plany trójkątów, w których odchyłka przekraczała zadaną wartość krytyczną, oraz wykazane zostały odpowiednie wartości odchyłek we wszystkich trzech składowych (dx , dy , dz). W wyniku tej kontroli wyeliminowano ze zbioru obserwacyjnego dwa wektory, które nie spełniały przyjętych krytycznych warunków zamknięć. Oprócz kontroli zamknięć trójkątów zalecane jest przeprowadzenie kontroli wektorów, które w zbiorze obserwacyjnym powtarzają się, porównanie ich odpowiednich składowych i analiza odchyłek. W opracowywanej sieci wektorów takich wektorów nie odnotowano, ponieważ pomiar zrealizowany został w trakcie jednej sesji obserwacyjnej.

Wyrównanie sieci wektorowej GPS

Do wyrównania sieci wektorowej GPS ostatecznie zakwalifikowano 45 wektorów zestawionych w pliku obserwacyjnym *dxdydz.obs*, oraz przyjęto pięć punktów nawiązania (najbliższe stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS: KRA1, PROS, KATO, ZYWI. NWTG) w postaci zbioru współrzędnych geograficznych – geodezyjnych B, L, H zapisanych w pliku pod nazwą *blh.ref*.

Wyrównanie sieci zrealizowano w dwóch etapach. Pierwszy obejmował wyrównanie swobodne, które miało na celu weryfikację wewnętrznej poprawności wektorów – wykonano je przy minimalnej ilości elementów nawiązania (przyjęto jeden najbliższy punkt **KRA1**), ponieważ wektory GPS mają pełną orientację w przestrzeni (podobnie jak azymuty w sieci płaskiej). Wyrównanie to potwierdziło wysoką jakość materiału obserwacyjnego – uzyskano maksymalny błąd położenia punktu $m_p = 3.5$ mm, natomiast maksymalny błąd wyznaczenia wysokości $m_h = 4.5$ mm. Na tej podstawie do dalszego opracowania przyjęto wszystkie (45) wektory.

Zasadnicze wyrównanie sieci wektorowej GPS zrealizowano metodą ścisłą według zasady najmniejszych kwadratów w nawiązaniu do pięciu punktów (stacji referencyjnych), które posiadały współrzędne w układzie elipsoidy WGS-84. W wyrównaniu tym oprócz dokładności wewnętrznej wyznaczonych wektorów (błędy średnie wyznaczenia wektorów m_{dx} , m_{dy} , m_{dz}) uwzględniono także błędności takich czynności pomiarowych jak: błąd średni centrowania anteny w poziomie (5mm) oraz błąd średni pomiaru wysokości anteny (5mm), bowiem wpływają one istotnie na finalne odchyłki wyrównywanej sieci i są zgodne ze standardami technicznymi wykonywania tego typu prac. Obliczenia zostały przeprowadzone w trzech iteracjach a cały proces wyrównania był procesem zbieżnym, wyniki zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Współrzędne wyrównane i błędy średnie
Table 1. Adjustment coordinates and mean errors

Nr pkt. No of point	X [m]	Y [m]	Z [m]	m_x [m]	m_y [m]	m_z [m]
10	3857243.4620	1392768.6227	4868885.0745	0.0078	0.0079	0.0078
2041	3857262.1681	1392695.8746	4868888.9794	0.0078	0.0079	0.0078
2042	3857245.7395	1392821.2859	4868868.9577	0.0078	0.0079	0.0078
2044	3857147.4611	1392823.1023	4868949.6281	0.0078	0.0078	0.0078
2050	3857168.1706	1392690.0208	4868966.9815	0.0078	0.0079	0.0078

Źródło: Badania własne.
Source: Own calculation.

Kontrolna wartość błędu średniego jednostkowego wyniosła $M_o = 1.0445$. Natomiast charakterystyczne odchyłki wypadkowe odpowiednio: przeciętna $\nu R_p = 0.0191m$, maksymalna $\nu R_{max} = 0.0447m$ dla wektora KATO - KRA1.

Celem kontroli uzyskanych wyników przeprowadzono niezależne opracowanie obserwacji za pomocą automatycznego serwisu POZGEO w systemie ASG-EUPOS, ich wyniki zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Współrzędne wyrównane i błędy średnie wyznaczone na podstawie serwisu POZDEO

Table 2. Adjustment coordinates and mean errors obtained on the basis of service POZGEO

Nr pkt. No of point	X	Y	Z	m_x	m_y	m_z
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
10	3857243.457	1392768.625	4868885.071	0.007	0.008	0.008
2041	3857262.161	1392695.882	4868888.976	0.007	0.008	0.008
2042	3857245.734	1392821.286	4868868.952	0.007	0.008	0.008
2044	3857147.457	1392823.101	4868949.625	0.007	0.008	0.008
2050	3857168.164	1392690.026	4868966.976	0.007	0.008	0.008

Źródło: Badania własne
Source: Own calculation

Transformacja wyników do układu odwzorowawczego

Wyrównane współrzędne wynikowe przeliczono do układu odwzorowawczego 2000. W tym celu wykonano przekształcenie matematyczne współrzędnych **BLH.grs** do układu 2000 zgodnie z zasadą:

$$BLH(GRS-80) \rightarrow xy_{2000/21}$$

W wyniku transformacji za pomocą programu GEONET-UNITRANS otrzymano współrzędne w układzie kartograficznym 2000/21 (tabela 3).

Tabela 3. Współrzędne wyrównane w układzie 2000/21

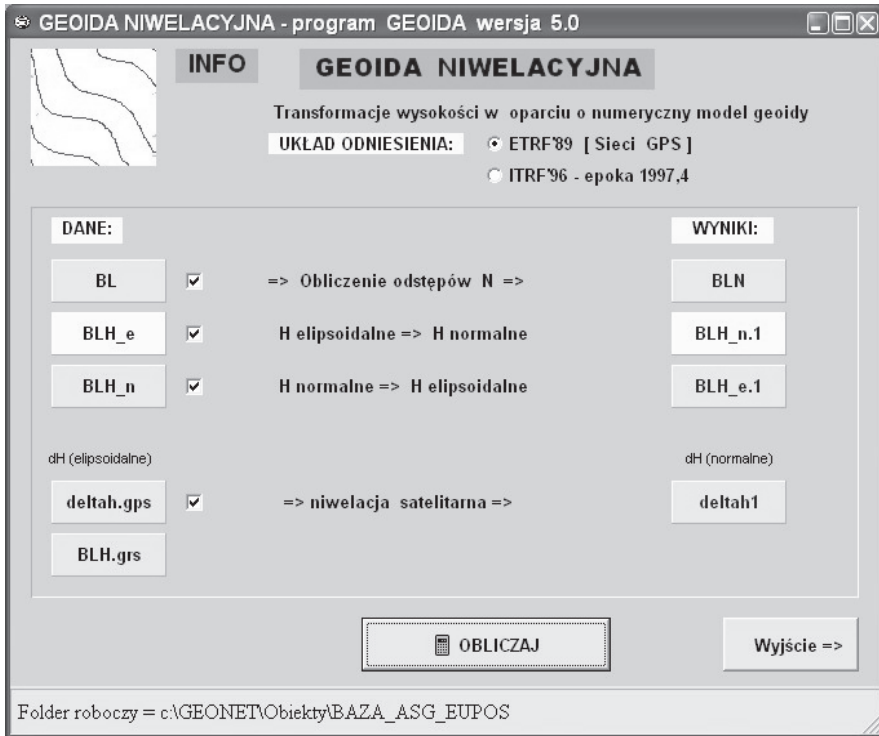
Table 3. Adjustment coordinates in the system 2000/21

Nr pkt. No of point	x	y	m_x	m_y	m_p
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
10	5550232.043	7417954.220	0.005	0.004	0.006
2041	5550241.150	7417879.581	0.005	0.003	0.006
2042	5550205.595	7418002.575	0.005	0.004	0.006
2044	5550327.227	7418039.529	0.005	0.003	0.006
2050	5550360.110	7417907.825	0.005	0.003	0.006

Źródło: Badania własne
Source: Own calculation

Wyznaczenie wysokości normalnych

Wysokości normalne wyznaczono metodą transformacji wyrównanych wysokości elipsoidalnych na wysokości normalne w systemie Kronsztadt 86 w oparciu o numeryczny model geoidy niwelacyjnej za pomocą aplikacji „Geoida niwelacyjna” dostępnej w systemie programów GEONET (rysunek 4). Otrzymane wysokości normalne punktów zestawiono w tabeli 4.



Rysunek 4. Transformacja wysokościowa punktów
Figure 4. The transformation of elevation points

Tabela 4. Wysokości normalne Kronsztadt'86
Table 4. Normal height Kronsztad'86

Nr pkt. No of point	H
	[m]
10	218.807
2041	217.236
2042	219.305
2044	222.255
2050	219.050

WNIOSKI

Przedstawiona w pracy metodyka opracowania obserwacji satelitarnych GPS dla geodezyjnej osnowy pomiarowej z wykorzystaniem systemu ASG-EUPOS dowodzi, że obecnie w dobie technik satelitarnych traci na znaczeniu klasyczny podział na osnowy poziome i wysokościowe, bowiem techniką sate-

litarną realizujemy osnowę dwufunkcyjną. Przedstawione rozwiązanie jest również ekonomiczne od strony praktycznej realizowania pomiarów, ponieważ nie wymaga bezpośrednich obserwacji wykonawcy prac geodezyjnych na punktach osnowy wyższego rzędu. Bezpośrednie nawiązanie pomiarów do osnowy podstawowej klasy I (taki status posiadają stacje referencyjne ASG-EUPOS) oraz przestrzeganie zaproponowanego reżimu opracowania danych, głównie kontrola materiału obserwacyjnego pozwalają obecnie na wyznaczenie współrzędnych punktów osnow pomiarowych z wysoką dokładnością na poziomie <1cm.

BIBLIOGRAFIA

- Banasik P., Góral W., Maciaszek J., Szewczyk J. *Badawcza sieć geodynamiczna na obszarze wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2005.
- Bosy J. *Precyzyjne opracowanie obserwacji satelitarnych GPS w lokalnych sieciach położonych w terenach górskich*. ZN Akademii Rolniczej we Wrocławiu, 2005.
- Kadaj R., Świetoń T. *Postprocessing po polsku*. Magazyn Geoinformacyjny Geodeta, Warszawa 2009.
- Siejka Z. Gargula T. *Wykorzystanie satelitarnych systemów GNSS do zakładania precyzyjnych osnow geodezyjnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009.

Dr inż. Zbigniew Siejka
Uniwersytet Rolniczy
Katedra Geodezji
Ul. Balicka 253a
30 – 198 Kraków
e-mail: rmsiejka@cyf-kr.edu.pl
tel. +48-12-662-45-39