

Agnieszka Szeptalin

WPLYW KALIBRACJI ANTEN ODBIORNIKÓW GNSS NA DOKŁADNOŚĆ POMIARÓW STATYCZNYCH

GNSS ANTENNAS CALLIBRATION IN STATIC SURVEYING ACCURACY

Streszczenie

Geodezyjne urządzenia pomiarowe takie jak tachimetry i niwelatory poddawane są kontroli i w razie potrzeby – kalibracji. Takie same procedury powinny dotyczyć urządzeń do pomiarów w technologii GNSS (Global Navigational Satellite System – Globalny System Nawigacji Satelitarnej). Badanie zbliżone do kalibracji względnej wykonane na dwóch antenach GNSS tego samego modelu (Trimble 5800) wykazało, że anteny różnią się od siebie a wpływ poprawek kalibracyjnych na obie anteny jest różny. Może to oznaczać konieczność stosowania indywidualnych plików kalibracyjnych przygotowanych specjalnie dla konkretnej anteny.

Dzięki kalibracji anten oraz dbałości o odpowiednie ich zorientowanie podczas pomiaru możliwe jest poprawienie dokładności pomiarów statycznych GNSS.

Słowa kluczowe: kalibracja, pomiary statyczne, GNSS

Summary

Surveying devices like tachymeters and levels might be monitored and if it is necessary – calibrated. Similar procedures should apply to GNSS (Global Navigational Satellite System) measuring sets.

The semi-calibrating research on two GNSS antennas (Trimble 5800) shows that antennas are different and the calibration files have different influence on both. it means that probably individual calibrations files are needed.

Antenna calibration and correct orientation of antenna during the GNSS survey may lead to better positions' accuracies.

Key words: calibration, static measurements, GNSS

WSTĘP

Pomiary satelitarne są coraz częściej stosowane przez geodetów, czego potwierdzeniem jest rosnąca ilość użytkowników powstałego w 2008 roku systemu ASG-EUPOS (Aktywna Sieć Geodezyjna – nowoczesny odpowiednik osnowy geodezyjnej, gdzie punktami odniesienia są permanentne stacje referencyjne GNSS – Globalnego Systemu Nawigacji Satelitarnej). Według danych GUGiK [Oruba, 2009, Wajda, 2011] w pierwszym roku działania systemu (2008) zarejestrowanych było ok 1500 osób, natomiast dziś jest to już ok 8000. Pomimo znacznego upowszechnienia tej technologii zużycie urządzeń i ich potencjalne rozkalibrowanie nie jest monitorowane. Norma PN ISO 17123, która określa m. in. metody testowania warunków tachimetrów i niwelatorów formułuje jedynie procedury testowe dla pomiarów GNSS czasu rzeczywistego (ISO 17123-8 w trakcie tłumaczenia na język polski) [Heister 2008, Owerko, Kuras 2010], nie uwzględnia jednak postępowania kontrolnego dla precyzyjnych pomiarów statycznych. Kalibracja niwelatorów i tachimetrów należy do standardowej oferty serwisów geodezyjnych, jednak dla urządzeń wykorzystywanych w pomiarach satelitarnych nie ma takiej oferty.

Urządzenia służące do pomiarów w technologii GNSS składają się z anteny odbierającej sygnały od satelitów, odbiornika rejestrującego obserwacje oraz (opcjonalnie) kontrolera, który zarządza ustawieniami urządzeń odbiorczych. Spośród tych elementów najbardziej narażona na uszkodzenia jest antena odbiorcza. Nie da się zapobiec wstrząsom urządzenia podczas przewożenia, a czasem upadku. Podobnie jak w przypadku urządzeń tradycyjnych może to prowadzić do pewnych zmian, które powinny być monitorowane za pomocą odpowiednich procedur testowych i kalibracyjnych.

Kalibrację anten GNSS wykonują dotychczas nieliczne ośrodki (Geo++ GmbH, Leibniz University Hanover, Institut für Erdmessung, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, TU Dresden, National Geodetic Survey -Silver Spring). Wynikiem ich pracy są pliki kalibracyjne, które zawierają podstawowe parametry korekcyjne dla poszczególnych typów anten. Konkretnie są to wartości odchylenia faktycznego centrum fazowego anteny od jego oznaczonego na urządzeniu odpowiednika nazywanego punktem referencyjnym anteny – ARP (Antenna Reference Point) [Dawidowicz 2011].

Rzeczywiste centrum fazowe anteny jest zależne od kierunku nadchodzącego sygnału od satelitów, dlatego nie jest punktem ani nie jest symetryczne, dodatkowo nie musi być jednakowe dla różnych egzemplarzy anten [Zeimetz i in. 2008]. Przyjmuje się jednak dla większości zastosowań, że wystarczającymi są ogólne pliki kalibracyjne sformułowane dla poszczególnych typów anten. Są one ogólnie dostępne w oprogramowaniu do przetwarzania obserwacji GNSS, a także na stronach NGS (National Geodetic Survey). Poniżej zamieszczono plik kalibracyjny wykorzystywany w badaniach odbiornika zintegrowanego Trimble

R8 (odbiornik zintegrowany z anteną). W pliku zawarte są poprawki dla różnych częstotliwości i różnych kierunków przychodzenia sygnału.

TRM_R8	NONE Integrated receiver/antenna										NGS (3) 02/12/05
0.8	1.1 74.8										
0.0	1.4	2.5	3.1	3.3	3.3	3.1	2.9	2.7	2.7		
2.7	2.9	3.2	3.7	4.2	5.2	6.6	0.0	0.0			
0.1	-2.2 77.3										
0.0	-1.0	-1.1	-0.7	0.0	0.8	1.4	1.9	2.2	2.1		
2.0	1.7	1.4	1.0	0.7	0.5	0.9	0.0	0.0			
RMS MM	RMS - 3 MEASUREMENTS										
	.5 .4 .2										
.0	.2	.3	.4	.4	.4	.4	.4	.4	.4	.3	
.3	.4	.4	.4	.4	.3	.2	.0	.0			
	.4 .4 .6										
.0	.1	.2	.3	.4	.4	.4	.4	.5	.4		
.4	.4	.4	.4	.5	.5	.7	.0	.0			

Rysunek 1. Plik parametrów kalibracyjnych dla odbiornika Trimble R8 [NGS]
Figure 1. Calibration parameters file for Trimble R8 receiver [NGS]

Wykorzystanie plików kalibracyjnych podczas obliczeń w pomiarach statycznych jest zalecane przez GUGiK [Graszka i in. 2011], ponieważ ich brak może powodować obniżenie dokładności wyznaczanych współrzędnych.

Pliki kalibracyjne mogą być uzyskane na podstawie następujących metod kalibracji [Campbell J., 2006, Campbell i in.1999]:

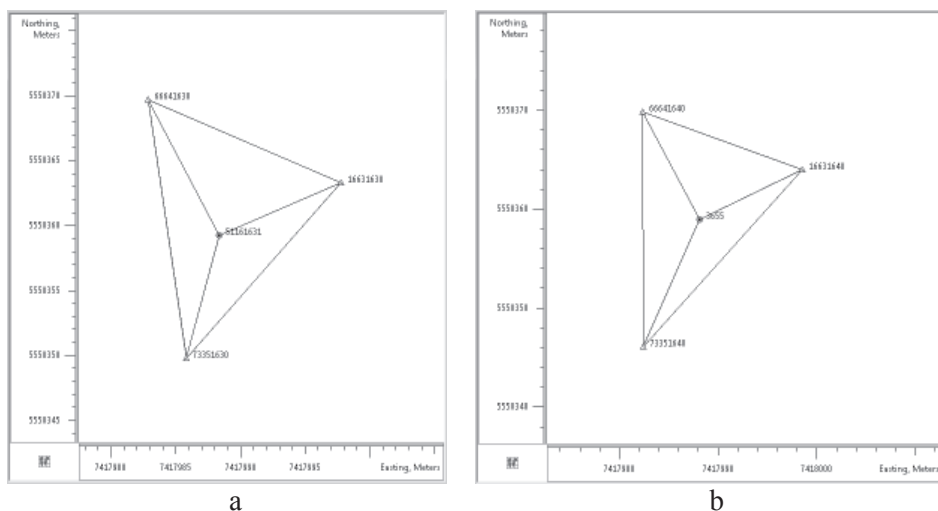
- kalibracja względna,
- kalibracja bezwzględna w pomieszczeniu bezechowym,
- kalibracja bezwzględna w miejscu stałego posadowienia anteny.

W każdym z badań kalibracyjnych zmieniane jest położenie anteny, co skutkuje uzyskaniem różnych współrzędnych wyznaczonego punktu, na tej podstawie powstaje model poprawek. Najprostszą do wykonania jest kalibracja względna, która polega na porównaniu wyników obserwacji z badanej anteny względem anteny wzorcowej. Metody bezwzględne są trudniejsze do wykonania, gdyż wymagają zastosowania robota kalibracyjnego, który oprócz obrotu anteny realizuje jej pochylenie, jednak równocześnie są bardziej precyzyjne od metody względnej.

Obecnie w wielu miejscach na świecie trwają badania nad centrami fazowymi anten [Baryła i in. 2011, Becker i in. 2010]. Analiza wyznaczenia współrzędnych dla różnych ustawień anteny w dalszej perspektywie pozwoli zminimalizować błędy instrumentalne.

METODYKA BADAŃ

Procedura przeprowadzonych badań była zbliżona do procedury kalibracji względnej, jednak zamiast jednej stałej anteny zastosowano 3 anteny odległe od siebie nawzajem o ok 20 m. Podczas 2 dni badań baza wraz z badanymi antenami była ustawiona jak przedstawiono na rys. 2a i 2b. Średnia odległość badanej anteny od punktów bazy wynosiła 11,65 m.



Rysunek 2. Rozmieszczenie punktów na podstawie szkicu z programu Topcon Tools. a) punkt 5116 na tle bazy, b) punkt 3655 na tle bazy

Figure 2. Location of measured points based on Topcon Tools program. a) 5116 point against base points background, b) 3655 point against base points background

W ramach eksperymentu przeprowadzono pomiary statyczne z wykorzystaniem 5 odbiorników GNSS. Wykonano dwie serie pomiarów, podczas których odbiorniki typu Trimble 4700 z antenami Micro Centered o numerach 1663, 6664 oraz 7335 rejestrowały obserwacje w trybie ciągłym przez ok 6 godzin, natomiast odbiorniki Trimble 5800 o numerach 5116 oraz 3655 po ustawieniu ich na statywie były regularnie obracane co ok 20 min odpowiednio o 25 i 40 gradów. Uzyskaliśmy w związku z tym 13 plików obserwacyjnych w pierwszym dniu pomiarów na odbiorniku 5116 oraz 10 plików obserwacyjnych w drugim dniu dla anteny 3655. Obserwacje we wszystkich odbiornikach rejestrowane były z interwałem jednosekundowym.

Czas pomiaru wynoszący 20 min został wybrany jako optymalny – jest to więcej niż sugerowane przez GUGiK 15 min (na podstawie zestawienia interwałów i czasu obserwacji, przyjmowanych do obliczeń przez serwis POZGEO

zamieszczonego na stronie www systemu ASG-EUPOS). Jednocześnie udało się wykonać pełny obrót anten ruchomych zanim baterie uległy rozładowaniu.

Uzyskane obserwacje GPS (korzystano tylko z obserwacji z satelitów GPS, ponieważ odbiorniki nie były wyposażone w moduł GLONAS) analizowano za pomocą programu Topcon Tools przy odcięciu horyzontu rzędu 10°. Współrzędne wyznaczano w układzie 2000 uwzględniając dziesiąte części milimetra.

Pierwszym krokiem było przeliczenie i wyrównanie obserwacji odbiorników bazy. Tak uzyskane współrzędne służyły do kolejnego wyznaczania współrzędnych przy różnych ustawieniach pozycji anteny. Te czynności wykonano dwukrotnie: dla obserwacji uwzględniających parametry kalibracyjne anteny oraz dla obserwacji bez uwzględnienia tych parametrów.

WYNIKI BADAŃ

Porównano obserwacje przeliczone z wykorzystaniem plików kalibracyjnych z obserwacjami przeliczonymi bez tych plików. Następnie porównano je z sugerowanymi przez producenta dokładnościami pomiarów. (tab. 1),

Tabela 1. Dokładność pomiaru na podstawie danych producenta
Table 1. Accuracy of positioning for based on producer specification

	5800	4700 z anteną Micro -centered
Horyzontalnie	$\pm 5 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm RMS}$	$\pm 5 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm RMS}$
Wertykalnie	$\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$	$\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$

Źródło: Trimble.

Dla kolejnych pomiarów uzyskano odchylenia od średniej, które dla współrzędnych płaskich X, Y, przy zastosowaniu plików kalibracyjnych w jednym na 13 (w pierwszym dniu pomiarów, antena 5116) lub jednym na 10 (w drugim dniu pomiarów, antena 3655) przekroczyły wartości podawane przez producenta (tab. 2 i 3).

Tabela 2. Podsumowanie pomiarów wykonanych
za pomocą anteny 5116 analizowanych z załączeniem pliku kalibracyjnego
Table 2. Summary of measurements of 5116 antenna, analyzed with calibration file

	X	Y	h
Średnia odchyłka	0.002	0.0013	0.0087
Odchylenie standardowe	0.0027	0.0021	0.0107
Odchylenie maksymalne	0.0052	0.0052	0.0194

Źródło: Badania własne.

Tabela 3. Podsumowanie pomiarów wykonanych za pomocą anteny 3655 analizowanych z załączeniem pliku kalibracyjnego**Table 3.** Summary of measurements of 3664 antenna, analyzed with calibration file

	X	Y	h
Średnia odchyłka	0.0015	0.001	0.0043
Odchylenie standardowe	0.0019	0.0015	0.0051
Odchylenie maksymalne	0.003	0.0037	0.0099

Źródło: Badania własne.

Analiza obserwacji przetwarzanych bez zastosowania pliku kalibracyjnego wykazała pogorszenie spójności danych końcowych do dwóch przekraczających wartości podawane przez producenta odpowiednio na 13 i 10 pomiarów. Zanotowano jedną odchyłkę współrzędnych płaskich, która wystąpiła w plikach analizowanych bez pliku kalibracyjnego jej błąd przekraczał 30 cm. W powyższej analizie obserwacje tego pomiaru nie zostały ujęte. Większość obserwacji była zbliżona do przewidywanego zakresu dlatego wynik znacznie odbiegający postrakowano jako błąd grubo.

Tabela 4. Podsumowanie pomiarów wykonanych za pomocą anteny 5116 analizowanych bez załączenia pliku kalibracyjnego**Table 4.** Summary of measurements of 5116 antenna, analysed without calibration file

	X	Y	h
Średnia odchyłka	0.0022	0.0016	0.0072
Odchylenie standardowe	0.0028	0.0021	0.0085
Odchylenie maksymalne	0.0056	0.004	0.0135

Źródło: Badania własne.

Tabela 5. Podsumowanie pomiarów wykonanych za pomocą anteny 3655 analizowanych bez załączenia pliku kalibracyjnego**Table 5.** Summary of measurements of 3664 antenna, analyzed without calibration file

	X	Y	h
Średnia odchyłka	0.0024	0.0006	0.0322
Odchylenie standardowe	0.0082	0.0011	0.1067
Odchylenie maksymalne	0.0050	0.0030	0.0372

Źródło: Badania własne.

Uzyskane wysokości punktów w większym stopniu przekraczają założenia producenta oscylując w okolicy 1 cm odchylenia od średniej, jednak jedna z obserwacji uzyskała ponownie odchyłkę ok 30 cm (nie ujęto jej w powyższej analizie podejrzewając błąd grubo).

Porównano uzyskane wartości między sytuacją załączenia i nie załączenia pliku kalibracyjnego. Uzyskane tym sposobem wartości wykazały tendencje do zmniejszania wszystkich wartości (XYZ) po odrzuceniu pliku kalibrującego (tab. 6). Odchyłka współrzędnych X i Y nieznacznie przekraczają 1 mm, natomiast odchyłka wysokości h przekracza nawet 1 cm.

Tabela 6. Porównanie obserwacji z zastosowaniem i bez zastosowania pliku kalibracyjnego

Table 6. Comparison of measurements with and without calibration file

5116	X	Y	h
średnia	0.0003	0.0006	0.0108
max	0.0043	0.0047	0.0198

3655	X	Y	h
średnia	0.00088	0.00087	0.00953
max	0.00256	0.00141	0.01382

Źródło: Badania własne.

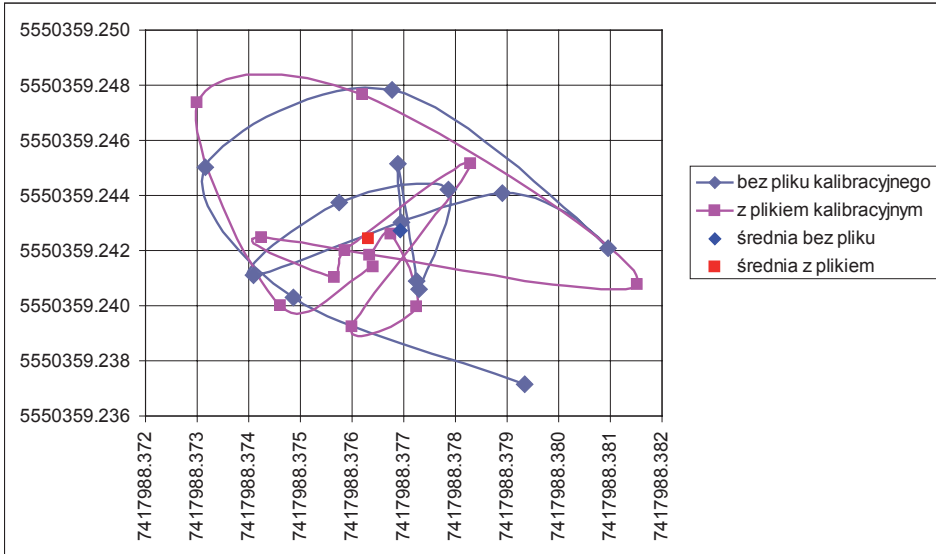
Różnice pomiędzy współrzędnymi uzyskanymi z zastosowaniem plików kalibracyjnych i bez ich udziału wskazują także na różnice w budowie anten (rys. 3a i 3b). Średnie wartości współrzędnych (rys. 4) przemieściły się w różnym stopniu. Różnice te mogą być spowodowane zużyciem lub uszkodzeniem anten, ale także ich niedoskonałością.

WNIOSKI

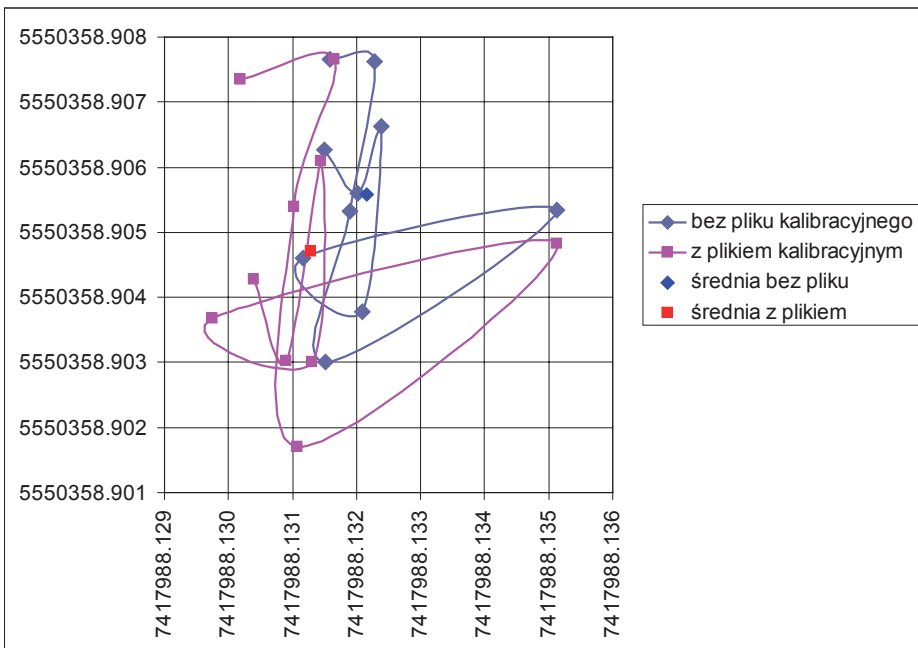
Wykazano, że ustawienie anteny GNSS w różnych pozycjach może powodować zmiany w wartościach wyznaczanych współrzędnych. Aby zminimalizować wpływ tego zjawiska należy przeprowadzić szczegółowe badania kalibracyjne anten odbiorczych, a następnie ich wyniki uwzględnić w opracowaniu danych. Należy przy tym pamiętać o ustawianiu anteny w zbliżonej orientacji, żeby zapobiec nakładaniu się błędów położenia centrum fazowego.

Różne wyniki uzyskane dla dwóch anten tego samego modelu pozwalają wnioskować, że każde urządzenie należy traktować indywidualnie. Ogólne pliki kalibracyjne dla poszczególnych modeli anten są uniwersalne jedynie dla mniej dokładnych pomiarów.

Określenie dokładnej powierzchni centrum fazowego oraz kontrola jednokierunkowego ustawienia anteny powinny skutkować podniesieniem dokładności pomiarów, jednak dla potwierdzenia tej teorii należy kontynuować badania na większej liczbie anten. Warto byłoby porównać wyniki takich badań dla anten nowych i używanych lub uszkodzonych.



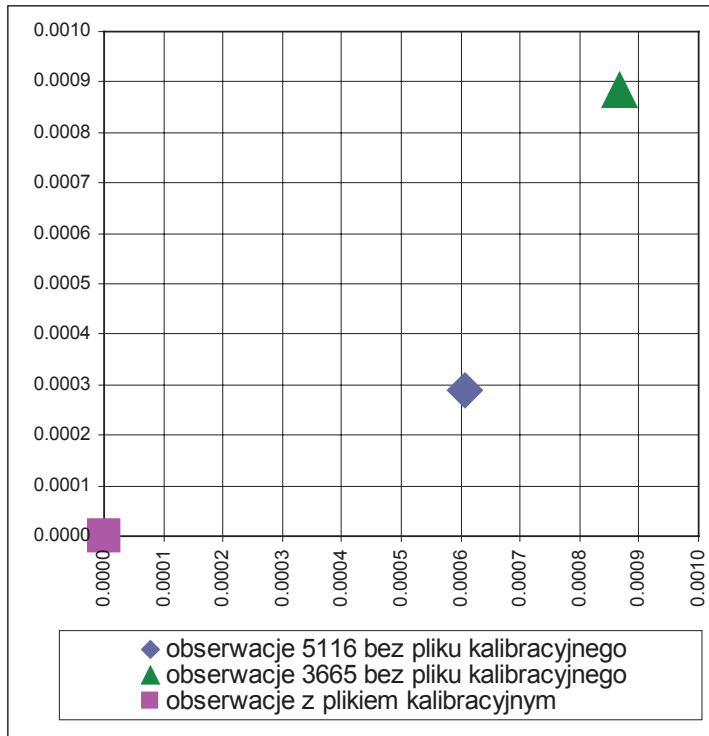
a



b

Źródło: Badania własne.

Rysunek 3. Przemieszczenia średniego centrum fazowego anten: a – 5116, b – 3655
Figure 3. Movements of middle antenna phase centre for antennas a – 5116, b – 3655



Źródło: Badania własne.

Rysunek 4. Przesunięcie średniego centrum fazowego po odjęciu plików kalibracyjnych

Figure 4. Displacement of middle phase center values after removing calibration files

BIBLIOGRAFIA

- Baryła R., Stępnia K., Wielgosz p., Paziewski J., Krukowska M., Kapcia J., *Analiza dokładności modeli centrów fazowych anten odbiorników GPS dla potrzeb niwelacji satelitarnej*, Konferencja Komisji Geodezji Satelitarnej Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych PAN „Satelitarne metody wyznaczania pozycji we współczesnej geodezji i nawigacji”, Wrocław, 2011.
- Becker M., Zeimetz P., Schönemann E., Anechoic chamber calibrations of phase center variations for new and existing GNSS signals and potential impacts in IGS processing, IGS Workshop, Newcastle upon Tyne, 2010.
- Cambell J., *Kalibrierung von GPS-Antennen Einführung und Überblick*, Geodätisches Institut, Uni Bonn, 2006.
- Campbell J., Gorres B., Kotthoff H., Wohlleben R., *Definition von Antennenphasenzentren und Signifikanz der Ergebnisse aus Kammer- und Feldverfahren*, Bonn, Geodätisches Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 1999.

- Dawidowicz K., *Comparison of using relative and absolute PCV corrections in short baseline GNSS observation processing*, Artificial Satellites, vol. 46, No. 1-2011, Warszawa, 2011.
- Graszka W., Wajda S., Oruba A., Ryczywolski M., *Zalecenia techniczne: Pomiar satelitarne GNSS oparte na systemie stacji referencyjnych ASG-EUPOS*, Główny Geodeta Kraju, Warszawa, 2011.
- Gurtner W., *RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 3.0*, Astronomical Institute University of Bern, Berno, 2007, 10 ss.
- Heister H., *The new ISO standard 17123-8 for checking GNSS field measuring systems*, Integrating Generations FIG Working Week 2008 Stockholm, 2008, 16 ss.
- Oruba A., Leończyk M., Ryczywolski M., Wajda S., *ASG-EUPOS po roku*, Geodeta Magazyn geoinformacyjny nr 4 (167), Warszawa, 2009.
- Owerko T., Kuras P., *GNSS RTK system accuracy investigation according to the ISO 17123-8 standard*, 11. Geokinematyczny Tag des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie, Freiberg, 2010, s. 224–231.
- Wajda S., Graszka W., *Modernizacja systemu ASG-EUPOS i nowe wyzwania*, Konferencja „Satelitarne metody wyznaczania pozycji we współczesnej geodezji i nawigacji”, Wrocław, 2011.
- Zeimetz P., Kuhlman H., *On the Accuracy of Absolute GNSS Antenna Calibration and the Conception of a New Anechoic Chamber*, Integrating Generations FIG Working Week 2008 Stockholm, 2008, 16 ss.
- ASG-EUPOS [online], GUGiK, 2009, http://www.asgeupos.pl/index.php?wpg_type=serv&su b=pozgeo, [dostęp: 20 stycznia 2012].
- NGS [online], NGS, 2005 http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=TRM_R8_NONE.003 [dostęp: 21 stycznia 2012].
- Trimble Support [online], Ttrimble, <http://www.trimble.com/support.shtml> [dostęp: 1 lutego 2012]

MgrAgn inż. Agnieszka Szeptalin
e-mail: agnieszkaszeptalin@o2.pl
Katedra Geodezji
Uniwersytet Rolniczy im H. Kołłątaja
ul. Balicka 253A
30-198 Kraków