

**BADANIE DOKŁADNOŚCI INSTRUMENTÓW RTK GNSS W OPARCIU
O STANDARD ISO 17123-8**

**EXAMINATION OF THE ACCURACY OF RTK GNSS RECEIVERS BASED ON
ISO 17123-8 STANDARD**

Tomasz Owerko

Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa, Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: ISO, GNSS, test, dokładność

STRESZCZENIE: Tematem artykułu jest sprawdzenie odbiorników RTK GNSS [Leica SR530, Leica ATX1230 GG „SmartRover”, Leica GX1230 i Topcon GR-3] według pełnej procedury testowej przewidzianej normą ISO 17123-8, w celu wyznaczenia oraz porównania parametrów mówiących o ich dokładnościach. Zgodnie z założeniami standardu opracowanie i przeprowadzenie testu obejmowało założenie bazy testowej w rejonie w który następnie badane odbiorniki mają być praktycznie wykorzystywane - okolice basenu AGH. W pracy przedstawiono warunki pomiaru [ilość satelitów, rozkład przeszkód na horyzoncie, itp.], a następnie przeprowadzono test odbiorników różnych producentów według ww. Normy, wykonano obliczenia i przeprowadzono testy statystyczne dzięki którym określono ich docelową przydatność. Istotnym elementem, który wykorzystano w trakcie testu, było założenie i skonfigurowanie permanentnie pracującej stacji referencyjnej z oprogramowaniem Leica Spider [platforma MS Windows] oraz wariantowo Standard Ntrip Broadcaster BKG [platforma Ubuntu Linux], którą wcześniej założono w budynku C-4 AGH. Posłużyła ona jako stacja bazowa do dystrybucji poprawek RTK poprzez systemy GSM [protokół internetowy NTRIP] w trakcie wykonywania testu odbiorników.

1. WSTĘP

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie możliwości wykonywania testów odbiorników klasy GNSS w oparciu o standard ISO 17123-8. Pomiaru stanowiące podstawę późniejszych obliczeń zostały wykonane w Krakowie na bazie testowej zlokalizowanej w rejonie ulicy Jana Buszka w Krakowie (Rys. 1 niżej). Wynikiem prac jest określenie dokładności badanego sprzętu geodezyjnego wyrażonego w postaci estymatorów odchylenia standardowego położenia punku w płaszczyźnie poziomej oraz wysokości. Na późniejszym etapie prac możliwe było zbadanie hipotezy o przynależności wyżej wymanionych estymatorów wyznaczonych dla różnych instrumentów do jednej populacji.



Rys. 1. Lokalizacja bazy testowej (<http://maps.google.com>)

2. STANDARD ISO 17123 – 8, SPECYFIKACJA POMIARU

Obecnie obowiązująca wersja standardu ISO 17123-8 została wydana w drugiej połowie 2007 roku. Podobnie jak inne części standardu również ta skonstruowana jest tak, aby umożliwić wybór pomiędzy dwoma metodami sprawdzania instrumentów geodezyjnych, w tym przypadku instrumentów klasy GNSS. Pierwsza metoda zwana uproszczoną przewiduje wykonanie ograniczonej liczby obserwacji. Weryfikacji dokładności instrumentu opiera się na znajomości a priori wartości odległości oraz przewyższenia, które podgalają pomiarze instrumentem RTK GNSS. Ze względu na ograniczoną liczbę pomiarów nie ma możliwości testowania hipotez statystycznych.

Drugą metodą, z której autor korzysta w niniejszym opracowaniu, jest weryfikacja dokładności instrumentu poprzez wyznaczenie estymatorów odchylenia standardowego pomiaru współrzędnej w płaskim kartezjańskim układzie współrzędnych oraz w układzie wysokościowym. Duża ilość obserwacji nadliczbowej daje możliwość przeprowadzania procedur testowania hipotez statystycznych.

Pełna Procedura testowa zakłada wykonanie pomiaru na dwóch punktach kontrolnych oddalonych od siebie o odległość większą niż 2 i mniejszą niż 20 metrów (Rys. 2 niżej). Ze względu na charakter pracy odbiorników GNSS dane dotyczące rozmieszczenia punktów stanowiących bazę testową uzyskano dodatkowo poprzez pomiar odległości instrumentem Leica TCRA 1101 o dokładności pomiaru odległości $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ oraz przewyższenia

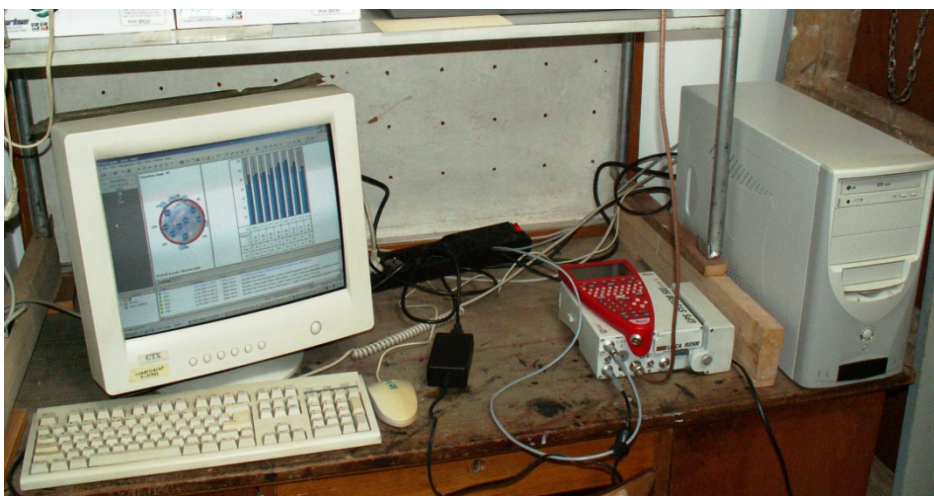
instrumentem Leica DNA 03 o dokładności pomiaru przewyższenia 0.3 mm/km podwójnej niwelacji. Dokładności te spełniają założenia normy.



Rys. 2. Test odbiorników Leica GX1230 i Topcon GR-3

Odległość od stacji bazowej (w przypadku rozwiązania RTK typu *single baseline*) powinna odpowiadać sytuacji, w której planowo badany odbiornik będzie wykorzystywany. W przedstawionych testach poprawki RTK były dostarczone za pomocą sieci GSM za pomocą internetowego protokołu NTRIP. Stację referencyjną ustawiono na dachu budynku C4. Realizacja dystrybucji poprawek była wykonana w dwojaki sposób: po pierwsze w oparciu o oprogramowanie Leica Spider na platformie MS Windows, oraz w oparciu o oprogramowanie Standard Ntrip Broadcaster BKG - platforma Ubuntu Linux. Przed przystąpieniem do właściwych prac nawiązano położenie stacji referencyjnej do sieci ASG-EUPOS poprzez trzy 24 godzinne statyczne sesje pomiarowe. W ten sposób uzyskano współrzędne stacji referencyjnej.

Następnie przeprowadzono 3 testowe pomiary: pierwszy w rejonie AGH instrumentem Leica GPS SR 500, drugi w rejonie Ronda Mogilskiego w Krakowie odbiornikiem Topcon GR-3, trzeci odbiornikiem Leica GX 1200 w rejonie bazy testowej. Celem wstępnych testów było sprawdzenie możliwości samodzielnego ustawienia stacji referencyjnej dla dystrybucji poprawek RTK GPS, konfiguracji odbiorników oraz porównanie platformy komercyjnej oraz *open-source*. Takie działanie nie jest ściśle wymagane standardem ISO 17123-8 niemniej jednak uzupełnia opracowanie pokazując możliwość wykonywania tego typu testów w krajach gdzie nie ma pełnego pokrycia stacjami sieci permanentnej GNSS. Zdjęcie poniżej (Rys. 3) przedstawia stację referencyjną w laboratorium na 5 piętrze budynku C4.



Rys. 3. Stacja referencyjna w budynku C4

Odległość pozioma i różnica wysokości obliczona z pomierzonych współrzędnych w każdym wyznaczeniu pomiarowym (rozstawienie – pomiar na na obydwu punktach pomiarowych) ma być porównana z tymi wartościami żeby sprawdzić, czy pomiar jest wolny od wartości odstających. Nominalne wartości (uzyskane tachimetrem i niwelatorem) nie są używane w teście statystycznym. Ich użycie ogranicza się do wykrywanie ew. występujących błędów grubych.

Serie pomiarowe składają się z 5 rozstawień. Odstęp w czasie pomiędzy kolejnymi rozstawieniami powinien być w przybliżeniu równy 5 minut. Rozpiętość między seriami pomiarowymi powinna być równa 25 minut.. Z uwagi na fakt, że cykl wahań typowego wpływu wielotorowości sygnału wynosi 20 min, procedura pomiarowa w większości pokryje okres wpływu tego czynnika.

Czas startu każdej kolejnej serii powinien być oddzielony przynajmniej 90 minutami. A zatem, wielokrotne serie pomiarowe odzwierciedlą wpływ takich czynników jak zmiany w konfiguracji satelitów i w warunkach jonosferycznych i troposferycznych.

3. SCHEMAT OBLICZEŃ, UZYSKANIE EKSPERYMENTALNYCH ESTYMATORÓW ODCHYLENIA STANDARDOWEGO

Dla pełnej procedury pomiarowej obliczenia przeprowadzane są w dwóch krokach.

Krok 1: Dla każdego rozstawienia j ($=1, \dots, 5$) w seriach i ($=1, \dots, 3$), oblicza się odległość poziomą i różnicę wysokości pomiędzy dwoma punktami pomiarowymi. Następnie oblicza się ich odchyłki od nominalnych wartości.

$$D_{ij} = \sqrt{(x_{i,j,2} - x_{i,j,1})^2 + (y_{i,j,2} - y_{i,j,1})^2}$$

$$\Delta h_{i,j} = h_{i,j,2} - h_{i,j,1}$$

$$\varepsilon_{D,i,j} = D_{i,j} - D^*$$

$$\varepsilon_{h,i,j} = h_{i,j} - h^*$$

gdzie:

- $x_{i,j,k}$, $y_{i,j,k}$, $h_{i,j,k}$ są pomiarami x, y i h kolejno w pomiarze „j” na punkcie „k” w serii „i”,

- $D_{i,j}$, $\Delta h_{i,j}$ są odpowiednio obliczonymi odległościami oraz poziomymi różnicami wysokości w pomiarze „j” i serii „i”,

- D^* , h^* są nominalnymi wartościami odległości poziomej i różnicy wysokości,

- $\varepsilon_{D,i,j}$, $\varepsilon_{h,i,j}$ są odchyłkami odległości poziomej i różnicy wysokości pomiędzy dwoma „roverami”

Jeśli jakaś odchyłka nie spełni warunków w równaniu (1), procedurę testu trzeba powtórzyć.

$$\begin{aligned} |\varepsilon_{D,i,j}| &\leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_{xy} \\ |\varepsilon_{h,i,j}| &\leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_h \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie s_{xy} i s_h są zakładanymi odchyleniami standardowymi albo wartościami określonymi przez producenta.

Krok 2: Przeprowadzane jest wyrównanie metodą najmniejszych kwadratów. Najpierw obliczane są średnie współrzędne dla każdego punktu pomiarowego z 3 serii pomiarowych:

$$\bar{x}_k = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 x_{i,j,k} \quad \bar{y}_k = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 y_{i,j,k} \quad \bar{h}_k = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 h_{i,j,k}$$

Następnie obliczane są odchyłki od średniej dla wszystkich pomiarów:

$$r_{x,i,j,k} = \bar{x}_k - x_{i,j,k} \quad r_{y,i,j,k} = \bar{y}_k - y_{i,j,k} \quad r_{h,i,j,k} = \bar{h}_k - h_{i,j,k}$$

Powyższe odchyłki są wszystkie podnoszone do kwadratu i sumowane:

$$\sum r_x^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{x,i,j,k}^2 \quad \sum r_y^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{y,i,j,k}^2 \quad \sum r_h^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{h,i,j,k}^2$$

Stopnie swobody dla x, y i h są identyczne i obliczane w następujący sposób:

$$v_x = v_y = v_h = (m \times n - 1) \times p = (3 \times 5 - 1) \times 2 = 28$$

gdzie:

- m jest liczbą serii równą 3,
- n jest liczbą rozstawień w seriach równą 5,
- p jest liczbą punktów pomiarowych równą 2.

Na końcu obliczane są odchylenia standardowe dla pojedynczego pomiaru dla x , y i h :

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum r_x^2}{v_x}} = \sqrt{\frac{\sum r_x^2}{28}} \quad s_y = \sqrt{\frac{\sum r_y^2}{v_y}} = \sqrt{\frac{\sum r_y^2}{28}} \quad s_h = \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{v_h}} = \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{28}}$$

Odnoszą się one do odchyłeń standardowych ISO obliczanych w następujący sposób:

$$S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}} = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$$

$$S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}} = S_h$$

gdzie:

- $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$ - jest doświadczalnym odchyleniem standardowym pojedynczej pozycji (x, y)
- $S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$ - jest doświadczalnym odchyleniem standardowym pojedynczej wysokości (h).

4. TESTOWANIE HIPOTEZ STATYSTYCZNYCH

Testy statystyczne są możliwe do przeprowadzenia tylko w przypadku pełnej procedury testowej (ISO 2007). Do interpretacji wyników za pomocą testów statystycznych brane są pod uwagę ogólne odchylenia standardowe $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$, $S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$, uzyskane z pomiarów. Sprawdzane są następujące warunki:

- Czy obliczone doświadczalne odchylenie standardowe pojedynczej pozycji $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$, jest mniejsze bądź równe odpowiedniej wartości, σ_{xy} określonej przez producenta albo innej określonej z góry wartości σ_{xy} ?
- Czy obliczone doświadczalne odchylenie standardowe pojedynczej wysokości $S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$, jest mniejsze bądź równe odpowiedniej wartości, σ_h określonej przez producenta albo innej określonej z góry wartości σ_h ?
- Czy dwa doświadczalne odchylenia standardowe pojedynczej pozycji (x, y) $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$, $S'_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$, określone z dwóch różnych prób pomiarowych należą do tej samej populacji, zakładając, że obydwie próby mają tę samą liczbę stopni swobody, $v_x + v_y$ i $\hat{v}_x + \hat{v}_y$, odpowiadające kolejno $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$, $S'_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$?
- Czy dwa doświadczalne odchylenia standardowe pojedynczej wysokości (h) $S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$, $S'_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$, określone z dwóch różnych prób pomiarowych należą do tej samej populacji, zakładając, że obydwie próby mają tę samą liczbę stopni swobody, v_h i \hat{v}_h , odpowiadające kolejno $S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$, i $S'_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$?

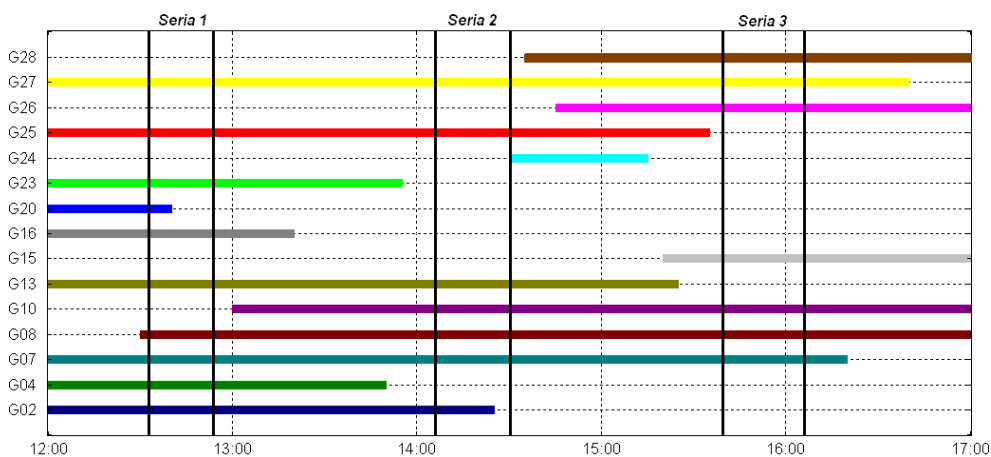
Doświadczalne odchylenia standardowe, s i s' mogą być uzyskane z:

- dwóch prób pomiaru przez ten sam sprzęt
- dwóch prób pomiaru przez różny sprzęt

Dla następujących testów poziom ufności $1-\alpha$ wynosi 0,95 i stopnie swobody v_x+v_y są równe 56 lub v_h 28. Założenia te są zgodne z projektowanymi pomiarami.

5. WARUNKI POMIAROWE

Test przeprowadzono dnia 3.06.2008r. Dane RTK otrzymywano z permanentnej stacji referencyjnej opisanej w punkcie 2. Do. Łączność z Internetem była zapewniona w przypadku odbiorników Leica GX1230 przez modem GPRS/EDGE Siemens MC75, w przypadku odbiornika Topcon GR-3 przez wbudowany w odbiornik modem GPRS/EDGE, dla Leica ATX1230 GG „SmartRover” poprzez telefon Nokia 6021 (bluetooth), natomiast dla Leica SR 500 były to modemy Sateline 3asd – korzystające z klasycznej metody transmisji poprawek na paśmie UKF. W teście w instrumentach korzystano z sieci PLUS GSM. Warunki panujące podczas pomiaru przedstawia (Rys. 4 niżej). Warunki satelitarne podczas testu przedstawia (0).



Rys. 4. Widoczność satelitów GPS podczas pomiaru dnia 3.06.2008r. (na podstawie programu „Planning” firmy „Trimble”)

Wyniki obliczeń według normy zestawiono w (Leica GX1230).

6. WYNIKI POMIARÓW

Poniżej w formie tabelarycznej zestawiono wyniki pomiarów (tabela 2). Jak wcześniej wspomniano w przypadku przeprowadzenia pełnej procedury testowej efektem, który otrzymujemy jest uzyskanie eksperymentalnego estymatora odchylenia standardowego dla współrzędnej płaskiej lub wysokościowej.

Tabela 1. Warunki satelitarne podczas testu.

Seria	Godzina	Liczba satelitów	GDOP	PDOP	Widoczne satelity
Seria 1	11:30	8	2.6	2.2	G02, G04, G07, G13, G20, G23, G25, G27
	11:40	8	2.7	2.3	G02, G04, G07, G13, G20, G23, G25, G27
	11:50	9	2.2	1.9	G02, G04, G07, G13, G16, G20, G23, G25, G27
	12:00	9	2.3	2.0	G02, G04, G07, G13, G16, G20, G23, G25, G27
Seria 2	13:30	9	2.3	2.0	G02, G04, G07, G08, G10, G13, G23, G25, G27
	13:40	9	2.2	1.9	G02, G04, G07, G08, G10, G13, G23, G25, G27
	13:50	9	2.1	1.9	G02, G04, G07, G08, G10, G13, G23, G25, G27
	14:00	7	3.8	3.2	G02, G07, G08, G10, G13, G25, G27
Seria 3	15:10	9	2.0	1.7	G07, G08, G10, G13, G24, G25, G26, G27, G28
	15:20	10	1.9	1.7	G07, G08, G10, G13, G15, G24, G25, G26, G27, G28
	15:30	8	2.5	2.2	G07, G08, G10, G15, G25, G26, G27, G28
	15:40	7	3.5	2.9	G07, G08, G10, G15, G26, G27, G28

Tabela 2. Uzyskane eksperymentalne estymatory odchylenia standardowego

	Leica SR530	Leica GX1230	Topcon GR-3	Leica ATX1230 GG
$S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$ [mm]	5,03	9,65	10,14	11,29
$S'_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$ [mm]	7,65	14,79	14,84	19,19

Opisane w rozdziale 4 testy pozwalają min. zweryfikować stwierdzenie czy w przypadku dwóch różnych prób doświadczalne wyznaczone odchylenia standardowe $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$, $S'_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$, pojedynczej pozycji (x, y) należą do tej samej populacji. Doświadczalne odchylenia standardowe s i \hat{s} zostały uzyskane z dwóch prób pomiarowych (pełnych procedur testowych) przez różny sprzęt. Poniższa tabela (tabela 3) przedstawia ilorazy kwadratów tych odchyleń dla wszystkich kombinacji odbiorników.

Tabela 3. Ilorazy kwadratów estymatorów odchyłeń standardowych pozycji ISO

Typ odbiornika	SR5300	GX1230	GR-3	ATX1230GG
SR5300	x	0,27	0,25	0,20
GX1230	3,69	X	0,91	0,73
GR-3	4,06	1,10	x	0,81
ATX1230 GG	5,04	1,37	1,24	x

Jeżeli wyniki z tabeli powyżej (tabela 3) ilorazy należą do przedziału $<0,59;1,70>$ [są to kwantyle rozkładu Fischera-Snedecora na żądanym poziomie ufności] oznacza to, że porównywane dwa odbiorniki należą do tej samej klasy dokładności. Z testu wynika, że do tej samej klasy dokładności należą wszystkie odbiorniki poza Leica SR530, która okazuje się być instrumentem najdokładniejszym.

Analogiczna tabel w stosunku do estymatorów odchylenia standardowego wyznaczenia wysokości przyjmuje postać (tabela 4)

Tabela 4. Ilorazy kwadratów odchyłeń standardowych wysokości ISO

Typ odbiornika	SR5300	GX1230	GR-3	ATX1230 GG
SR5300	x	0,27	0,27	0,16
GX1230	3,74	X	0,99	0,59
GR-3	3,76	1,01	x	0,60
ATX1230 GG	6,29	1,68	1,67	x

W tym przypadku granie przedziału (kwantyle rozkładu Fischera-Snedecora na żądanym poziomie ufności) przybierają wartości $<0,47;2,13>$. Ponownie Z testu wynika, że do tej samej klasy dokładności należą wszystkie odbiorniki poza Leica SR530, która okazuje się być instrumentem najdokładniejszym.

7. LITERATURA

ISO 2007 - International Organization for Standardization– International Standard ISO 17123-8 ISO copyright Office Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20

Artykuł finansowany z badań statutowych AGH nr 11.11.150.005

**EXAMINATION OF THE ACCURACY OF RTK GNSS RECEIVERS BASED ON
ISO 17123-8 STANDARD**

KEY WORDS: ISO, GNSS, test, accuracy

SUMMARY: The subject of this article is the examination of RTK GNSS receivers [Leica SR530, Leica ATX1230 GG "SmartRover, GX1230 and Leica Topcon GR-3] according to the full test procedure provided by ISO 17123-8, in order to determine and compare their accuracy parameters. According to the assumption given by the standard, the development and performance of the test covered the establishment of bases in the test area, in which the receivers were to be tested and used in practice (around the University pool). The paper presents measurement conditions [the number of satellites, the distribution of obstacles on the horizon, etc.], followed by tests of various brand receivers conducted to ISO 17123-8, as well as calculations and statistical tests, which helped to identify the usefulness of particular receivers. An important element that was used during the test included the establishing and configuring of a reference station, operating on an ongoing basis, with Leica Spider software [MS Windows platform], or alternatively Standard Ntrip Broadcaster BKG [Ubuntu Linux platform], which was established earlier in the C-4 building of the University. The station was used as a base for the distribution of RTK corrections by means of GSM systems [NTRIP Internet Protocol], in the course of the test.

Dr inż. Tomasz Owerko
e-mail: owerko@agh.edu.pl
tel. +12 6174486