INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 1/III/2012, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 207–218
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Mariusz Frukacz, Tadeusz Szczutko

MOŻLIWOŚCI WYKONYWANIA KALIBRACJI SPRZĘTU GEODEZYJNEGO W GEODEZYJNYM LABORATORIUM METROLOGICZNYM AGH W KRAKOWIE

CALIBRATION OF SURVEYING INSTRUMENTS IN THE GEODESY METROLOGY LABORATORY OF THE AGH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY IN KRAKOW

Streszczenie

W Geodezyjnym Laboratorium Metrologicznym WGGiIŚ AGH (GLM AGH) od kilku dekad prowadzone są badania związane ze sprawdzaniem, atestacją i kalibracją sprzętu geodezyjnego. Wykorzystanie interferometru laserowego jako wzorca długości w znaczący sposób zwiększyło zakres prac wykonywanych w GLM AGH. Zbudowany został komparator pionowy umożliwiający kalibrację precyzyjnych łat niwelacyjnych z podziałem klasycznym i kodowym, komparator poziomy pozwalający na kalibrację przymiarów wstęgowych, badanie tachimetrów, dalmierzy i niwelatorów, a także komora do wyznaczania współczynnika liniowej rozszerzalności termicznej łat niwelacyjnych. Możliwości badawcze GLM AGH uzupełniają także stanowiska do klasyfikacji instrumentów geodezyjnych, w tym precyzyjnych niwelatorów cyfrowych i teodolitów elektronicznych oraz do badania stałości osi celowej urządzeń. Do badania dalmierzy, tachimetrów i odbiorników GPS wykorzystywana jest także baza testowa „Wisła" i baza łamana.

W pracy scharakteryzowano poszczególne stanowiska pomiarowe i przedstawiono zakres możliwych badań sprzętu geodezyjnego wykonywanych w GLM AGH. Opierając się na wynikach prac badawczych, prowadzonych dla wykonawców geodezyjnych, przytoczono także liczne przykłady potwierdzające konieczność okresowego sprawdzania instrumentów i korzyści, jakie z nich płyną dla dokładności wykonywanych pomiarów geodezyjnych.

Słowa kluczowe: kalibracja, wzorcowanie, komparator pionowy, komparator poziomy, baza testowa, interferometr laserowy

Summary

In the Geodesy Metrology Laboratory of the AGH University of Science and Technology in Krakow (GLM AGH) are conducted research associated with checking, validation and calibration of surveying equipment. Using a laser interferometer as a standard of length measure significantly increased the range of works performed in GLM AGH. There was built a vertical comparator that allows precise calibration of leveling rods (with classic and barcode graduation), horizontal comparator allowing to calibrate invar or steel tapes, test of total stations, electronic distance measuring instruments and levels, as well as the thermal chamber to determine the coefficient of linear thermal expansion of leveling rods. Research capabilities of GLM AGH complement observation stands to the classification of survey instruments, including precise digital levels, electronic theodolites, and to study stability of collimation's line of instruments. For testing EDM, total stations and GPS receivers is used calibration baseline "Wisła" and polyline calibration base.

The paper characterizes the various measurement stands and shows the range of possible tests of geodetic instruments performed in GLM AGH. Based on the results of research work for the surveying contractors, quotes numerous examples proving the necessity of periodically checking the instruments and the benefits for the accuracy of geodetic measurements.

Key words: *calibration, baseline, vertical comparator, horizontal comparator, laser interferometer*

WSTĘP

Obowiązek klasyfikacji oraz okresowego badania sprzętu geodezyjnego nakładają na geodetów stosowne przepisy. Dla przykładu instrukcja techniczna G-2 oraz wytyczne G-1.11 (Warszawa 2002) precyzują, że niwelatory i łaty niwelacyjne powinny mieć przeprowadzone odpowiednie badania przydatności do pomiarów udokumentowane świadectwami wzorcowania. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego w paragrafie 70 wyraźnie podkreśla, że „Przy opracowywaniu wyników geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych [...] wyniki pomiarów, przed ich przyjęciem do obliczeń, koryguje się [...] wprowadzając poprawki ze względu na systematyczne błędy pomiaru oraz narzędzi i instrumentów." Wprowadzenie poprawek instrumentalnych jest możliwe tylko wówczas, gdy dany sprzęt miał przeprowadzone stosowne badania laboratoryjne potwierdzone świadectwem kalibracji zawierającym m.in. liczbowe wyniki wzorcowania służące do obliczenia tych poprawek. Badania związane ze sprawdzaniem, atestacją i kalibracją sprzętu geodezyjnego prowadzone są w Geodezyjnym Laboratorium

Metrologicznym WGGiIŚ AGH (GLM AGH) od kilku dekad. W artykule przedstawiono poszczególne stanowiska pomiarowe i scharakteryzowano zakres możliwych badań sprzętu geodezyjnego wykonywanych w GLM AGH. Przytoczono także przykłady potwierdzające konieczność okresowego sprawdzania instrumentów i ich korzystnego wpływu na dokładności wykonywanych pomiarów geodezyjnych.

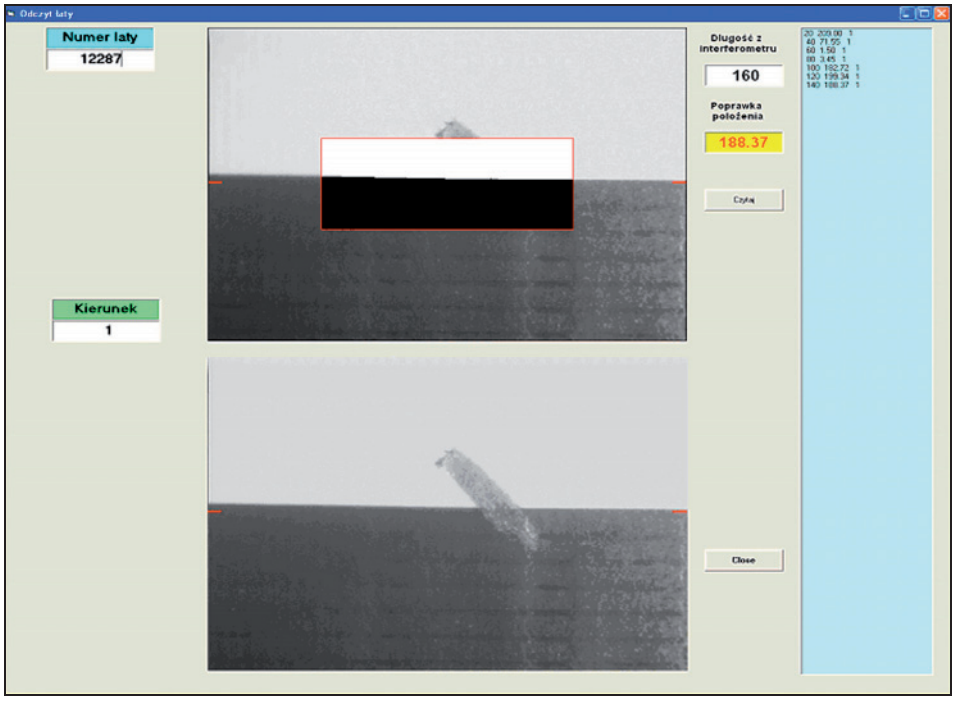
BADANIE SPRZĘTU DO NIWELACJI

Wyposażenie GLM pozwala na kompleksowe badanie łat niwelacyjnych (z podziałem klasycznym i kodowym) oraz niwelatorów (optycznych i cyfrowych). Unikatowe w Polsce i jedno z nielicznych na świecie stanowisk do badania wpływów termicznych na przymiary geodezyjne pozwala m.in. na wyznaczanie współczynnika liniowej rozszerzalności termicznej (WLRT) wstęgi inwarowej mocowanej w precyzyjnych łatach niwelacyjnych. Znajomość tego współczynnika jest niezbędna do obliczenia poprawek termicznych do wyników niwelacji precyzyjnej i ma szczególne znaczenie przy pomiarach wysokich obiektów inżynierskich (tamy, zapory) i niwelacji w terenach górskich [Frukacz 2010]. Wyznaczenie WLRT jest możliwe dzięki precyzyjnym pomiarom temperatury i zmian długości badanego przymiaru. Parametry komory są jednymi z najlepszych na świecie: roboczy zakres temperatur w komorze wynosi od 0°C do 40°C, a błąd średni wyznaczenia WLRT dla inwaru mieści się w granicach 0,01÷0,10 ppm/°C. W czasie badań eliminowane są anomalie termiczne inwaru (znacznie większe zmiany długości przymiaru niż wynikałoby to z szybkich zmian temperatury) i minimalizowany jest wpływ histerezy temperaturowej, a dokładność badań pozwala diagnozować nieliniowe zmiany długości, które występują w około 10% przypadków obserwowanych łat.

Wyznaczanie wartości skali podziału (nazywanej także metrem średnim) i miejsca zera łat wykonywane jest na komparatorze pionowym, w którym wzorcem długości i kąta jest interferometr laserowy firmy Hewlett Packard [Szczutko, Frukacz 2011]. Obserwacje podziału, wykonywane za pomocą kontrolowanej przez interferometr kamery cyfrowej, przesyłane są do programu „Kamera" autorstwa T. Szczutko, w którym są następnie przetwarzane i obliczane jest położenie kresek (krawędzi) podziału względem zera podziału. Na tej podstawie wyliczana jest skala podziału, która jest następnie wykorzystywana przez geodetów do wprowadzenia poprawki kalibracyjnej do wyników pomiarów niwelacyjnych.

Wyeliminowanie przez zmiany konstrukcyjne lub odpowiednio wprowadzane poprawki takich zjawisk jak wpływy atmosfery, minimalne zmiany kształtu torowiska, kierunkowość oświetlenia, uszkodzenia i zanieczyszczenia podziału (sposób ich filtrowania przedstawiono na rys. 1) pozwala na wyznaczanie skali podziału w GLM z błędem średnim ±2 ppm, który jest porównywalny z

dokładnościami uzyskiwanymi w najbardziej renomowanych laboratoriach badawczych w Uniwersytetach Technicznych w Monachium i Grazu. Wysoka dokładność prowadzonych badań pozwala także diagnozować nietypowe zjawiska wywołane czynnikami zewnętrznymi, jak choćby skokowe zmiany skali podziału wywołane zgięciem aluminiowego korpusu łaty, oraz klasyfikować łaty do pomiarów niwelacyjnych odpowiedniej klasy. Dzięki proponowanym przez Frukacza [2010] nowym sposobom wprowadzania poprawki kalibracyjnej i termicznej na podstawie tak wyznaczonych wielkości możliwe jest zauważalne podniesienie dokładności niwelacji precyzyjnej.



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 1. Przykład odfiltrowania uszkodzeń podziału w programie „Kamera”
Figure 1. Example of the scale damages filtration in “Kamera” software

Badanie i klasyfikacja niwelatorów przeprowadzane są w kilku etapach. Po zbadaniu libeli i działania kompensatora sprawdzany jest warunek kompensacji pochylenia osi celowej niwelatora jedną z zalecanych przez producenta metod (w zależności od modelu niwelatora są to met. Förstnera, Kukkamäki, Näbauera lub ze środka). Wyposażony w interferometr komparator poziomy umożliwia

także badanie stałości osi celowej niwelatorów oraz innych instrumentów geodezyjnych (rys. 2, szczegółowy opis badania znajduje się w [Beluch i in. 2008]). Kolejnym etapem jest nadanie klasy dokładnościowej, które jest prowadzone według normy branżowej BN-78/8770-07 oraz międzynarodowej normy ISO 12857-1. Ostatecznym wynikiem badania niwelatora jest świadectwo wydawane zleceniodawcy.

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 2. Badanie stałości osi celowej niwelatora
Figure 2. Examination of stability of collimation's line of leveling instrument

BADANIE DALMIERZY

Badanie dalmierzy, w tym wyznaczanie stałej dodawania zestawu dalmierz-reflektor, wykonywane jest na bazie wzorcowej „Wisła" (rys. 3) zlokalizowanej na wałach wiślanych w Krakowie (dzielnica Podgórze, tereny miejscowości Bodzów). Składająca się z 20 słupów, umożliwiających centrowanie na spodarkach wieżowych Kerna, baza jest w pełni funkcjonalna od 1999 roku. Pomiar wykonywany jest wraz z precyzyjnym wyznaczaniem temperatury z dokładnością na poziomie ±0,2 °C za pomocą psychrometru, ciśnienia z dokładnością ±0,1 mmHg za pomocą aneroidu firmy Bertrand i wilgotności powietrza za pomocą higrometru elektronicznego LB-755.

Wartości poprawek atmosferycznych wyznaczane są poprzez wygładzenie średnią ruchomą szeregu czasowego utworzonego przez wartości chwilowe poprawek oraz moment wykonania obserwacji. Wysoka stabilność bazy „Wisła" jest kontrolowana okresowo poprzez pomiary dalmierzami oraz odbiornikami GPS [Szczutko i in. 2011].

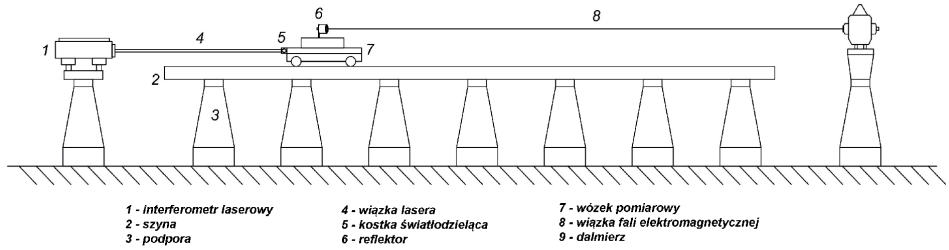
Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 3. Baza testowa „Wisła"
Figure 3. Calibration baseline „Wisła"

Komparator poziomy, o długości użytkowej około 30 metrów, składa się z regulowanej aluminiowej szyny, po której porusza się wózek pomiarowy wyposażony w napęd elektryczny z możliwością kontroli prędkości (rys. 4). Na wózku umieszczone są elementy umożliwiające mocowanie reflektorów, tarcz celowniczych, mini łat niwelacyjnych i mikroskopów. Dlatego komparator poziomy wykorzystywany może być m. in. do kalibracji przymiarów i wzorców w pozycji horyzontalnej oraz badania stałości osi celowej instrumentów.

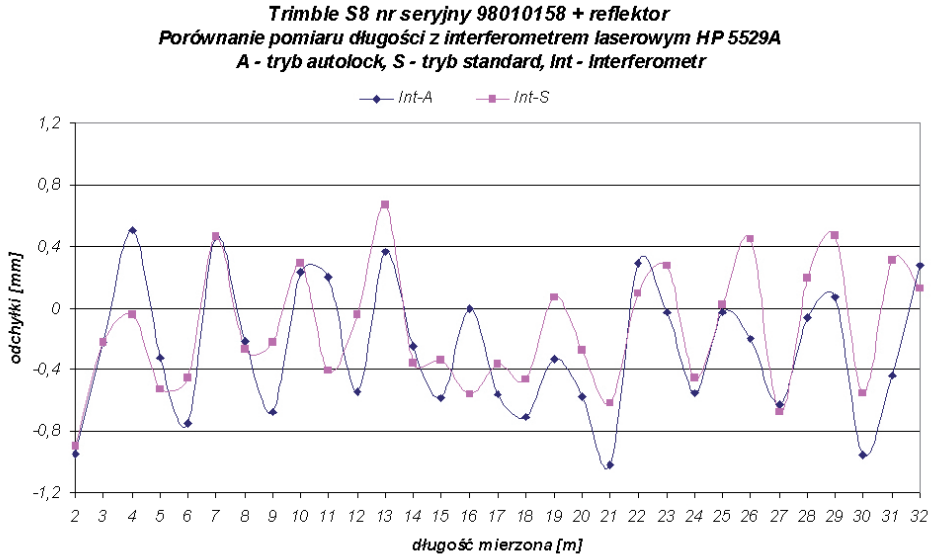
Ważną funkcją komparatora poziomego jest także możliwość badania błędów cyklicznych dalmierzy. W czasie takiego pomiaru na wózku komparatora mocowane są retroreflektory interferometru oraz reflektor dalmierza (ewentualnie folia celownicza lub tarcza w zależności od wyznaczanych parametrów). Na jednym końcu komparatora ustawiany jest interferometr laserowy, który mierząc względne odległości do wózka z dokładnością około ±1 ppm (co dla całego

komparatora daje błąd rzędu ±30 μm) stanowi wzorzec pomiaru długości. Na drugim końcu ustawiany jest natomiast badany dalmierz, którym mierzone są odległości do reflektora. Porównanie wskazań dalmierza z pomiarami z interferometru pozwala badać rzeczywiste pasmo błędów pomiaru odległości dalmierzem oraz występowanie błędów cyklicznych. Na rysunku 5 przedstawiono wyniki takiego badania dla tachimetru Trimble S8 w dwóch wariantach pomiarowych: standardowym i z wykorzystaniem trybu autolock.



Źródło: opracowanie własne.

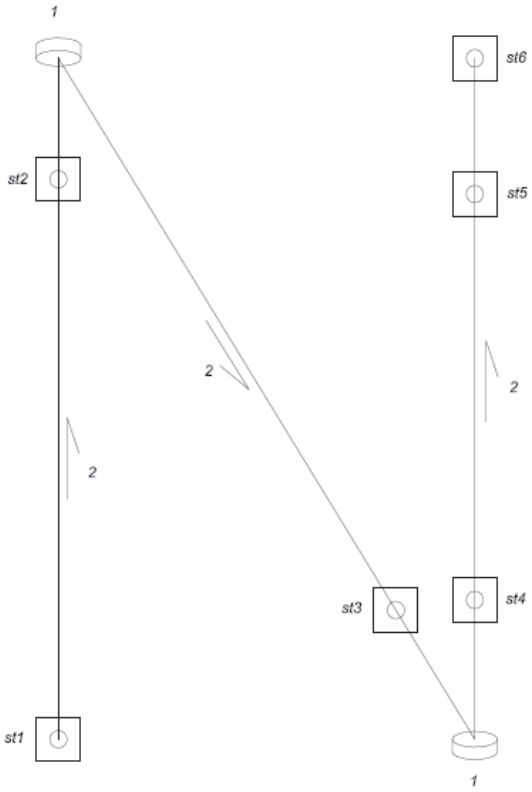
Rysunek 4. Komparator poziomy z interferometrem laserowym
Figure 4. Horizontal comparator with laser interferometer



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 5. Różnice wskazań dalmierza Trimble S8 i interferometru na komparatorze poziomym
Figure 5. Length differences between EDM Trimble S8 and laser interferometer on horizontal comparator

Wykorzystując istniejące w GLM murowane słupy obserwacyjne o wymiarach 0,4x0,4 m i wysokości 1,9 m, zbudowano łamaną bazę laboratoryjną do wyznaczania stałej dodawania dalmierzy. Projektując bazę opierano się na doświadczeniach Instytutu Geodezji i Kartografii z Warszawy [Janusz J, Janusz W 2001] oraz projekcie przedstawionym przez H. Khalila na konferencji FIG [2005]. Baza składa się z sześciu punktów – pięciu słupów (stanowiska dalmierza) i punktu końcowego umieszczonego na ścianie pomieszczenia (tylko do ustawienia reflektora). Baza jest załamana dwukrotnie (rys. 6) z wykorzystaniem jednego zwierciadła, pochodzącego z zestawu autokolimacyjnego Carl Zeiss Jena oraz zwierciadła umieszczonego pod lunetą kolimatora geodezyjnego służącego do badania teodolitów i niwelatorów. Łączna długość bazy wynosi ok. 130 m. Strojenie zwierciadeł odbywa się za pomocą tachimetru z wbudowanym laserem.



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 6. Baza łamana do wyznaczania stałej dodawania w GLM
Figure 7. Polyline calibration base to determine prism constant at GLM

Zastosowano system centrowania firmy Kern z dedykowanymi spodarkami GDF21K (przejściówka Kern-Wild), które są przenoszone wraz z instrumentem i reflektorem na kolejne stanowiska. System centrowania jest identyczny z wykorzystanym na bazie terenowej „Wisła", co umożliwia centrowanie z dokładnością rzędu ±0,05 mm, a także eliminację części błędów systematycznych i porównanie wyników pomiarów testowych wykonanych na bazie i w laboratorium. Baza stanowi uzupełnienie bazy interferencyjnej do wyznaczania błędów cyklicznych dalmierzy [Szczutko 2007]. Obliczenie stałej dodawania wraz z oceną dokładności wykonuje się z wykorzystaniem metody Schwendenera [1972].

Porównanie wyników wyznaczenia stałej dodawania na bazie terenowej „Wisła" oraz na bazie łamanej w pomieszczeniu GLM przedstawione w tabeli 1 wskazuje na dużą zgodność wyznaczeń na obu bazach.

Tabela 1. Porównanie wyznaczenia stałej dodawania na dwóch bazach
Table 1. Comparison of designation of prism constant on two bases

Dalmierz	Model obliczeń	Wild Di2002 nr 180231	Leica Di2002 nr 180650	Wild TC2002 nr 358534
Stała dodawania (mm)	Wyznaczenie stałej na bazie terenowej	**- 0.56**	**- 0.75**	**+0.80**
Błąd wyznaczenia stałej (mm)		±0.04	±0.05	±0.04
Stała dodawania (mm)	Wyznaczenie stałej na bazie łamanej	**- 0.41**	**- 0.69**	**+0.75**
Błąd wyznaczenia stałej (mm)		±0.07	±0.03	±0.02

Źródło: opracowanie własne.

BADANIE TEODOLITÓW

Zestaw kolimatorów rozmieszczonych w pomieszczeniu GLM oraz regulowane stanowiska pomiarowe umożliwiają sprawdzanie, rektyfikację i klasyfikację teodolitów według procedury pomiarowej spełniającej wymagania norm PN-ISO 17123-3 i BN-78/8770-07. Przedstawione wyniki pomiarów wskazują na zgodność wyznaczonej dokładności układów kątomierczych tachimetru Leica TCRA1101plus z jego danymi katalogowymi (rys. 7).

AGH

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

KATEDRA GEOMATYKI

WGGiŚ: 1T/09/11 Kraków dn., 12.09.2011

Świadectwo Sprawdzenia Teodolitu
Leica TCRA 1101plus nr 625983

Tachimetr elektroniczny **Leica TCRA 1101plus** nr fabryczny **625983** został sprawdzony jako teodolit na laboratoryjnej bazie do sprawdzania i rektyfikacji teodolitów w Komparatorium Geodezyjnym Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie w dniu 9.09.2011 r. według procedury pomiarowej spełniającej wymagania norm PN-ISO 17123-3 i BN-78/8770-07.

W badanym teodolicie nie występują błędy libel, kompensatora, niepoziomości horyzontalnej kreski siatki celowniczej oraz błędu indeksu.

Wyznaczone na podstawie pomiarów błędy średnie pomiaru wynoszą:

- kąta poziomego $\mathbf{m_\alpha = \pm 4.4^{cc}}$
- kąta pionowego (zenitalnego) $\mathbf{m_z = \pm 3.3^{cc}}$

Zgodnie z normą BN-78/8770-07 teodolit ten spełnia wymogi dokładnościowe dla instrumentów **klasy III**.

Termin ważności cechy klasyfikacyjnej upływa z dniem **10.09.2014 r.**.

Użytkownik sprzętu:
3Deling sp. z o.o. 30-532 Kraków, ul. Wincentego Pola 7/46

Opracował
dr inż. Tadeusz Szczutko

KIEROWNIK
KATEDRY GEOMATYKI
Prof. dr hab. inż. Józef Czaja

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 7. Świadectwo sprawdzenia teodolitu
Figure 7. Certificate of theodolite's examination

PODSUMOWANIE

Zaprezentowane powyżej stanowiska badawcze umożliwiają kompleksowe badania niemal każdego rodzaju sprzętu geodezyjnego. Poczynając od kalibracji przymiarów wstęgowych, poprzez badanie łat klasycznych i kodowych do niwelacji precyzyjnej (a w razie konieczności także niwelacji technicznej), sprawdzenie i atestację niwelatorów optycznych i cyfrowych, badanie instrumentów kątomierczych, dalmierzy i tachimetrów w warunkach polowych i laboratoryjnych. Aktualnie trwają także prace zmierzające do opracowania procedur wzorcowania anten odbiorników GNSS.

W wyniku prowadzonych badań zleceniodawcy otrzymują stosowne świadectwa kalibracji oraz wyniki klasyfikacji danych instrumentów, które są niezbędne w procesie przetargowym prac geodezyjnych oraz później przy obliczaniu stosownych poprawek do wyników pomiarów. Ponadto, bazując na otrzymanych wynikach badań, zleceniodawcy otrzymują zalecenia odnośnie użytkowania sprzętu, które pozwalają na zachowanie ich właściwości metrologicznych. Kalibracja pozwala także na wykrycie błędów dyskwalifikujących wykorzystanie sprzętu do pomiarów określonej grupy dokładnościowej.

BIBLIOGRAFIA

Beluch J., Frukacz M., Mróz J., Pokrzywa A., Szczutko T. 2008. *Badania laboratoryjne niwelatorów i precyzyjnych łat niwelacyjnych*, Kraków.

Frukacz M. 2010. *Optymalne procedury wyznaczania współczynnika liniowej rozszerzalności termicznej i wzorcowania precyzyjnych łat niwelacyjnych*, Praca doktorska, AGH Kraków.

Janusz J., Janusz W. 2001. *Łamana baza długości do komparacji dalmierzy elektromagnetycznych,* Prace IGiK - zeszyt 103 tom XLVIII.

Schwendener, H. R. 1972. *Electronic distancers for short ranger: accuracy and checking procedures*, Survey Review nr 164.

Szczutko, T. 2007. *Badania związane z występowaniem błędów cyklicznych w precyzyjnych dalmierzach elektrooptycznych*. Geomatics and Environmental Engineering, Vol. 1, no. 1/1.

Szczutko T., Frukacz M. 2011. *Invar Rod Calibration on Vertical Comparator Executed in the Geodesy Metrology Laboratory of the AGH University of Science and Technology in Krakow – Poland with Use of Computer-aided Image Analysis*, Reports on Geodesy, No. 1 (90).

Szczutko T., Frukacz M., Buśko M. 2011. *Application of Precise Distancers and GPS Receivers for Lenght Calculation and Krakow-Located „Wisła" Calibration Baseline Stability Control*, Reports on Geodesy, No. 1 (90).

Dr inż. Mariusz Frukacz
Dr inż. Tadeusz Szczutko
AGH Akademia Górniczo – Hutnicza
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Geomatyki
tel. 12 617 3892,
12 617 2323
al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
e-mail: frukacz@agh.edu.pl
e-mail: szczutko@agh.edu.pl

Artykuł powstał w ramach badań statutowych Katedry Geomatyki WGGiIŚ AGH