

Badanie warunków geometrycznych pionów optycznych i laserowych w aspekcie metrologicznym

Streszczenie. Efektem współpracy dwóch jednostek naukowych - Zakładu Geodezji Inżynierskiej i Pomiarów Szczegółowych Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu oraz Zakładu Geodezji i Nawigacji Wojskowej Akademii Technicznej jest opracowane oraz stale doskonalone stanowisko badawcze do oceny dokładności pionów optycznych i laserowych instrumentów geodezyjnych. Niniejszy artykuł przedstawia jego założenia konstrukcyjne, a także wyniki wstępnych prac doświadczalnych.

Abstract. The cooperation result of two research units - the Department of Geodesy Engineering and Land Surveying, Wrocław University of Environmental and Life Sciences and the Department of Geodesy and Navigation of the Military University of Technology it has recently been developed and constantly improved a test stand for assessing the accuracy of optical and laser plummets. This article presents its design assumptions, as well as the results of preliminary experimental works. (Testing geometrical conditions of the optical and laser plummets in the metrological aspect).

Słowa kluczowe: piony optyczne i laserowe; automatyczne rozpoznawanie obrazu; metrologia geometrii.

Keywords: optical and laser plummets, automatic picture recognition, geometric metrology.

Wstęp

Badania dokładności instrumentów geodezyjnych znajdują zastosowanie zarówno w pracy naukowej, w dydaktyce, a także podczas świadczenia usług zewnętrznych dla środowiska wykonawców. Zarówno w metrologii, jak i w geodezji instrumentalne stanowią jeden z głównych nurtów badań naukowych oraz jedno z czołowych zadań w praktyce terenowej [1,2,7]. W szczególności, zadania te dotyczą oceny rzeczywistej dokładności oferowanej przez dany instrument w celu stwierdzenia poprawności jego działania oraz zapewnienia najwyższej możliwej dokładności, zgodnie ze specyfikacją producenta [3,4]. W trakcie eksploatacji, sprawność działania instrumentów geodezyjnych ulega stopniowemu pogarszaniu. Wpływ na taki stan rzeczy ma wiele czynników - głównie niekorzystnie oddziałujące na urządzenie warunki zewnętrzne, nieprawidłowości w przechowywaniu oraz obsłudze, a także zużycie materiałów, z których przyrząd został wykonany. Producenci instrumentów geodezyjnych, z reguły, zalecają corocznie ich serwisowanie oraz przeprowadzenie walidacji uzyskiwanych dokładności. Ponadto, użytkownikom rekomenduje się regularne sprawdzanie, już we własnym zakresie, błędów instrumentalnych. Procedury sprawdzenia warunków geometryczno-konstrukcyjnych instrumentów geodezyjnych opisane są zarówno w podręcznikach [6], jak również w dołączanej do urządzeń dokumentacji technicznej. Nie mniej jednak, wiele przedsięwzięć inwestycyjnych oraz prac realizacyjnych wymaga uzyskania przez użytkowników pewności, że zadania wykonują oni z najwyższą wiarygodnością oraz przy zachowaniu najwyższej możliwej jakości. W tym celu, instrumentarium podlega zaawansowanym testom dokładnościowym oraz kontrolom prowadzonym w sprawdzonych jednostkach - laboratoriach. Niektóre z nich, posiadają autoryzację producentów sprzętu pomiarowego (tzw. „autoryzowane serwisy”). Inne - zlokalizowane przykładowo na uczelniach lub w instytutach badawczych, prowadzą prace nad walidacją dokładnościową urządzeń oraz innowacyjne badania naukowe z zakresu instrumentoznawstwa. Dostarczają również użytkownikom raporty oraz świadectwa potwierdzające spełnianie przez testowany instrument odpowiedniej dokładności pomiaru.

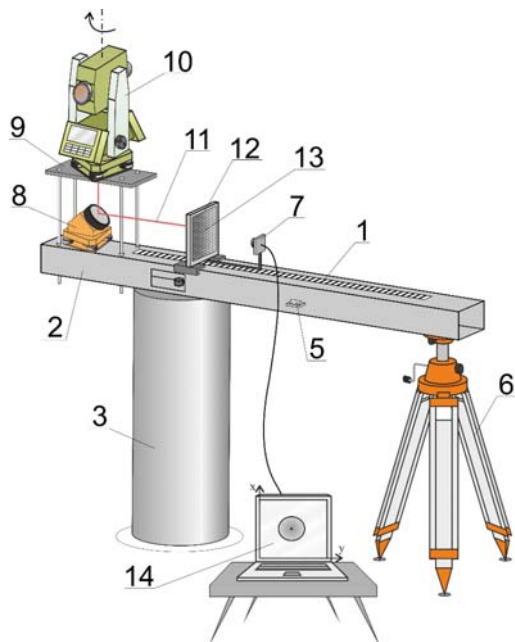
Efektem współpracy dwóch jednostek naukowych - Zakładu Geodezji Inżynierskiej i Pomiarów Szczegółowych

Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu oraz Zakładu Geodezji i Nawigacji Wojskowej Akademii Technicznej jest opracowane oraz stale doskonalone stanowisko badawcze do oceny dokładności pionów optycznych i laserowych instrumentów geodezyjnych. Niniejszy artykuł prezentuje jego założenia konstrukcyjne, a także wyniki wstępnych wariantowych prac doświadczalnych dotyczących badania wybranych urządzeń.

Stanowisko badawcze

Instrumentami pomiarowymi znanymi i stosowanymi w metrologii oraz w geodezji są tachimetry elektroniczne oraz - produkowane na bazie ich konstrukcji, specjalistyczne stacje pomiarowe (z ang. „total-stations”) umożliwiające pozycjonowanie punktów w przestrzeni z dokładnością od kilku milimetrów nawet do dziesiątych części milimetra [5]. Dokładność ta wiąże się w sposób pośredni z realizacją lokalnej linii pionu, czyli z odpowiednim scentrowaniem instrumentu nad punktem o znanych współrzędnych. Abstrahując od rodzajów centrowania, w zależności od konkretnych zadań pomiarowych, do precyzyjnego ustawienia urządzenia nad punktem służy zintegrowany z nim pion laserowy (wizualizujący przebieg linii lokalnego pionu w postaci wiązki laserowej) lub optyczny. Ten ostatni może występować zarówno w połączeniu z alidadą (głównym korpusem) instrumentu, jak również może być umieszczony w spodarce. Pion optyczny jest to zatem niewielkich rozmiarów luneta wbudowana w instrument, której oś celowa załamana jest pod kątem 90°. Podczas obrotu pionu o 360°, jego oś główna powinna przecinać dowolną płaszczyznę w wyznaczonym punkcie.

W praktyce, z powodu niedoskonałości konstrukcyjnych oraz ewentualnych uszkodzeń, obrót pionu dookoła osi głównej spowoduje realizację niewielkiego okręgu lub elipsy, których rozmiary należy okresowo kontrolować. Problematyka ta stała się motywacją autorów do podjęcia badań nad skonstruowaniem specjalistycznego stanowiska testowego służącego do wielowariantowej oceny dokładności pionów - zarówno optycznych, jak i laserowych w warunkach laboratoryjnych. Powstałe rozwiązanie przedstawiono schematycznie na rys. 1.

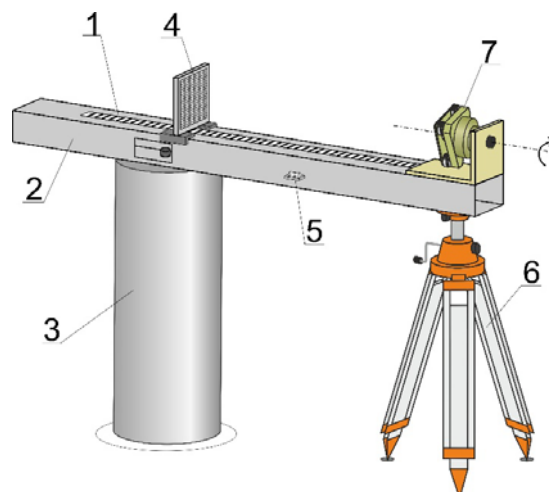


Rys.1. Schemat stanowiska laboratoryjnego testowania pionów instrumentów geodezyjnych i metrologicznych

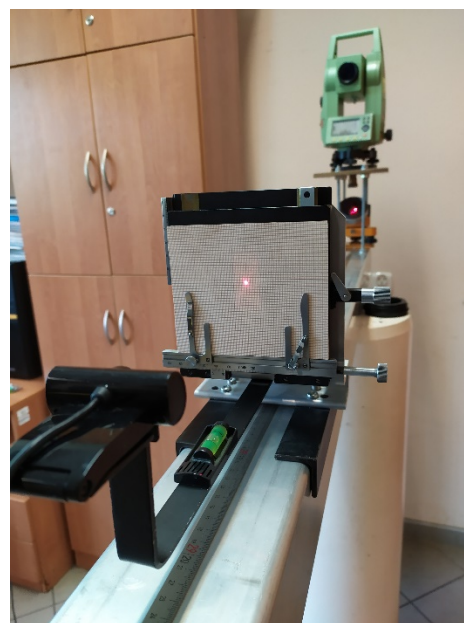
Stalowa szyna z wbudowaną przewodnicą (1,2) przytwierdzona jest w postaci centrowania wymuszonego (4) do słupa betonowego (3) oraz dodatkowo wsparta na statywie (6), co zapewnia dodatkową stabilizację kontrolowaną przy pomocy libelli rurkowej (5). Do konstrukcji przytwierdzona jest specjalna podstawa (9), do której możliwe jest przymocowanie instrumentu pomiarowego (10). Bezpośrednio pod nim znajduje się płaskie zwierciadło autokolimacyjne (8) pochylone w płaszczyźnie o 45° i umożliwiające praktycznie bezstratną projekcję przełamanej promienia świetlnego (11) pod kątem prostym na tarczę celowniczą (12) wyposażoną w transparentną płaszczyznę odczytową (13). Za nią, na przewodnicy umieszczona jest kamera CCD (7), z której obraz widoczny jest będzie na ekranie podłączonego komputera (14). Przedstawiony wariant umożliwia testowanie pionów optycznych oraz laserowych tachimetrów elektronicznych wbudowanych w alidadę (korpus) instrumentu. Polega ono na sekwencyjnym obracaniu urządzenia względem osi głównej (co zaznaczono strzałką) oraz synchronicznej obserwacji pozycji znacznika w lunecie lub emitowanej plamki lasera na tle matrycy odczytowej. Wspomniana przewodnica (1) pozwala na dowolne ustalanie odległości systemu odczytowego od badanego instrumentu, w zakresie długości bazy (1,6m). Stanowisko zaprojektowano tak, by umożliwiło badanie pionów dla dowolnych odległości, jednak w zakresie standardowego posadowienia tachimetru nad punktem lub na słupie (z reguły jest to 1,4m - 1,7m). Wariant pozwalający na testowanie pionów optycznych wbudowanych bezpośrednio w spodarkę instrumentu wymaga niewielkiej modyfikacji stanowiska, co przedstawiono na rys. 2.

Wówczas to, do szyny z przewodnicą (1,2), wyposażoną w libellę rurkową (5), wspartą na statywie (6) i umieszczoną na słupie (3), przytwierdza się adapter umożliwiający prostopadłe zamontowanie spodarki (7) obracanej następnie według wskazania strzałki. Odczyty wykonywane są – podobnie jak poprzednio – na matrycy odczytowej (4). Widok skonstruowanego stanowiska w laboratorium Instytutu Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu przedstawiono na rys. 3 i 4

(rys. 3 – wariant badający pionów zintegrowanych oraz 4 – badający pionów optycznych umieszczonych w spodarkach).



Rys.2. Schemat stanowiska laboratoryjnego testowania pionów optycznych wbudowanych w spodarki instrumentów geodezyjnych i metrologicznych



Rys.3. Widok stanowiska laboratoryjnego testowania zintegrowanych pionów instrumentów geodezyjnych (fot. Krzysztof Karsznia)



Rys.4. Widok stanowiska laboratoryjnego testowania spodarkowych pionów instrumentów geodezyjnych (fot. Krzysztof Karsznia)

Wykonywanie odczytów z matrycy tarczy celowniczej wykonywane jest na tle kartki z podziałem milimetrycznym (dla metod optycznych) lub z wykorzystaniem fotoprzewodnika (urządzenie odbiorcze umożliwiające przekształcanie energii świetlnej w prąd elektryczny) kamery CCD – w przypadku badania pionów laserowych. Obraz z kamery CCD widoczny jest także na ekranie komputera, a sam odczyt realizowany jest przy użyciu dedykowanej aplikacji napisanej w środowisku Matlab® (autor: Piotr Gołuch, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu). Aplikacja ta jest rozwiązaniem autorskim. Procedura wykorzystuje moduł rozpoznawania obrazów i polega na wyznaczeniu współrzędnych środka plamki światła rozpoznanej wiązki laserowej. Środek plamki laserowej wyznaczany jest na podstawie określenia położenia pikseli wchodzących w jej skład.

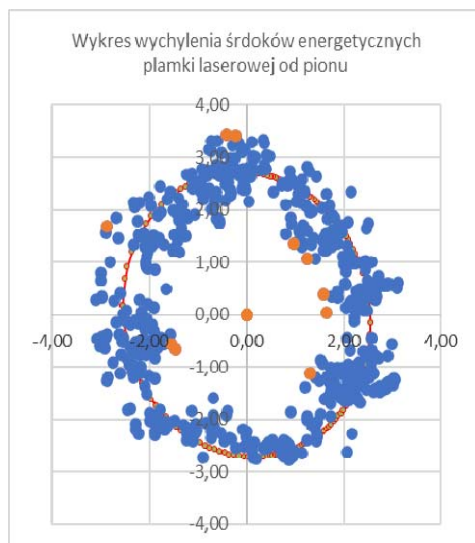
Wyniki badania pionów laserowych

Badanie przeprowadzono dla trzech instrumentów geodezyjnych (tachimetrów elektronicznych) różnych klas:

- Leica TCR407 – geodezyjno-budowlany tachimetr elektroniczny charakteryzujący się dokładnością pomiaru kąta $\pm 7''$ oraz realizacji linii pionu $\pm 2''$,
- Trimble S3 – geodezyjny tachimetr elektroniczny charakteryzujący się dokładnością pomiaru kąta $\pm 2''$ oraz realizacji linii pionu $\pm 1,5''$,
- Leica TS10 – precyzyjny tachimetr elektroniczny charakteryzujący się dokładnością pomiaru kąta $\pm 3''$ oraz realizacji linii pionu $\pm 1,5''$.

Każda seria wykonana została kolejno dla odległości 0,3m, 0,6m, 0,9m i 1,2m. Badanie wykonano obracając alidadę instrumentu względem osi głównej i rejestrując uzyskane obrazy w interwale 0,2s (czas badania wyniósł w każdym przypadku średnio 125 s). Wynik każdej serii testowej – czyli lokalizację środków energetycznych plamki laserowej rejestrowano

w postaci filmu, którego klatki podlegały następnie rozpoznawaniu obrazowemu. Ocenę prowadzono z wykorzystaniem współrzędnych pikselowych. W procesie wyznaczenia skali obrazu określono rozmiar piksela jako 0,154mm. Na podstawie przeprowadzonej analizy, oszacowano niepewność pomiaru dla prowadzonego badania jako $\pm 0,04$ mm (dla przeciętnej średnicy plamki laserowej rzędu 3mm). Przykładowe wyniki testu przedstawiono na rys. 5.

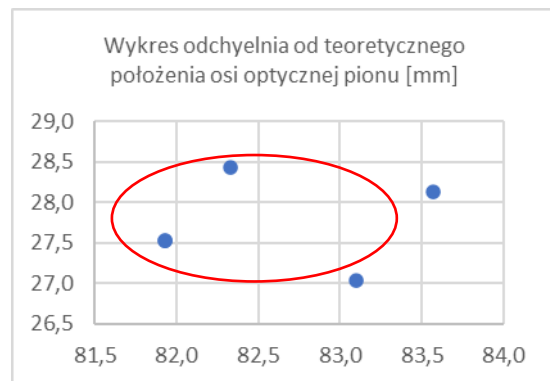


Rys.5. Wykres obrazujący detekcję projektowanej wiązki laserowej badanego pionu (współrzędne pikselowe)

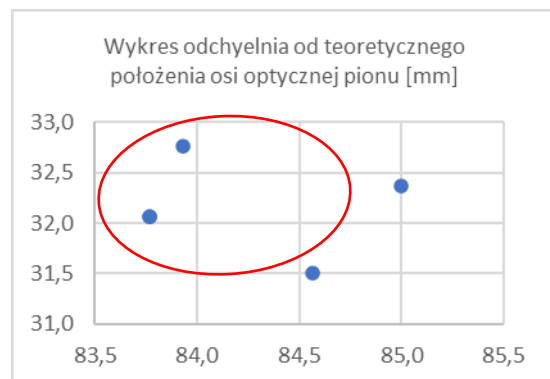
Wynik badania pionów optycznych

Badanie spodarki Leica z pionem optycznym (typ GDF302) przeprowadzono na stanowisku zaprezentowanym na rys. 3b w trzech seriach pomiarowych. Każda seria wykonana została kolejno dla odległości 0,3m, 0,6m, 0,9m i 1,2m. Wyniki odczytów z matrycy pokrytej papierem milimetrycznym wykonano dla czterech ustawień spodarki – w pozycji wyjściowej (00), obracając o kąt prosty (90O), półpełny (180O), kąt 270O oraz pełny 360O (pozycja wyjściowa). W punkty kontrolne wpasowano elipsy obrazujące praktyczne odchylenia badanego pionu od teoretycznego położenia osi optycznej. Wyniki pomiaru obrazują rys 6a-6d.

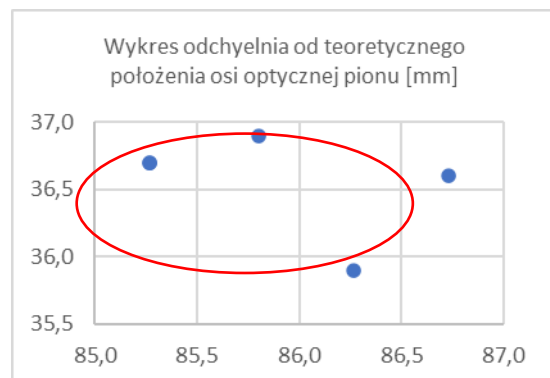
Na podstawie przeprowadzonej analizy, oszacowano niepewność pomiaru dla prowadzonego badania jako $\pm 0,12$ mm.



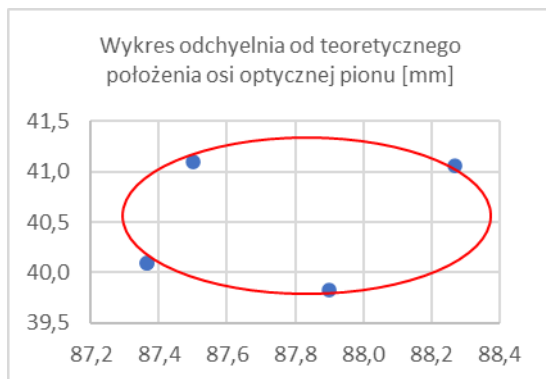
Rys.6a. Wykres obrazujący odchylenie pozycji badanego pionu od teoretycznego położenia osi optycznej dla odległości 0,3m



Rys.6b. Wykres obrazujący odchylenie pozycji badanego pionu od teoretycznego położenia osi optycznej dla odległości 0,6m



Rys.6c. Wykres obrazujący odchylenie pozycji badanego pionu od teoretycznego położenia osi optycznej dla odległości 0,9m



Rys.6d. Wykres obrazujący odchylenie pozycji badanego pionu od teoretycznego położenia osi optycznej dla odległości 1,2m

Podsumowanie

Opracowane stanowisko testowe do badania pionów optycznych i laserowych umożliwia powtarzalne, precyzyjne i niezawodne badanie dokładności realizacji linii pionu przez testowany instrument. Potwierdzają to wyniki przeprowadzonych prac oraz stosowne analizy. Na ich podstawie, sformułować można następujące wnioski:

- uzyskana niepewność pomiarowa badania pionów laserowych wyniosła $\pm 0,04\text{mm}$, natomiast optycznych $\pm 0,12\text{mm}$,
- przedstawione stanowiska są portatywne i mogą stanowić uzupełniające wyposażenie laboratoriów geodezyjnych,
- stanowiska umożliwiają wykonywanie wielokrotnych niezależnych obserwacji co przyczynia się do podniesienia wiarygodności badań,
- opracowanie procedury rektyfikacyjnej z wykorzystaniem zaprezentowanych stanowisk może przyczynić się do poprawy warunków użytkowania podstawowego sprzętu geodezyjnego (eliminacja błędów instrumentalnych oraz ustalenie przyczyn ich powstawania).

Autorzy: dr inż. Krzysztof Karsznia, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: krzysztof.karsznia@wat.edu.pl; dr hab. inż. Kazimierz Cmielewski, Prof. UPWr, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, ul. Grunwaldzka 55, 50-357 Wrocław, E-mail: kazimierz.cmielewski@upwr.edu.pl; dr hab. inż. Piotr Gołuch, Prof. UPWr, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, ul. Grunwaldzka 55, 50-357 Wrocław, E-mail: piotr.goluch@upwr.edu.pl; dr inż. Janusz Kuchmister, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, ul. Grunwaldzka 55, 50-357 Wrocław, E-mail: janusz.kuchmister@upwr.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Chen H., Schall Jr. M.C., Fethke N., Accuracy of angular displacements and velocities from inertial-based inclinometers, *Applied Ergonomics* 67 (2018), pp. 151-161
- [2] Cmielewski K., Kuchmister J., Gołuch P., Wilczyńska I., Kowlaski K., Determination of horizontal geodetic control networks for engineering objects using optoelectronic techniques, *Reports on Geodesy and Geoinformatics* vol. 98/2015, pp. 39-51, DOI: 10.2478/rgg-2015-0004
- [3] García-Balboa J.L., Ruiz-Armenteros A.M., Rodríguez-Avi J., Reinoso-Gordo J.F., Robledillo-Román J., A Field Procedure for the Assessment of the Centring Uncertainty of Geodetic and Surveying Instruments, *Sensors* 2018, 18, 3187; doi:10.3390/s18103187
- [4] Garrido-Carretero M.S., de Lacy-Pérez de los Cobos M.C., Borque-Arancón M. J., Ruiz-Armenteros A.M., Moreno-Guerrero R., Gil-Cruz A.J., Low-cost GNSS receiver in RTK positioning under the standard ISO-17123-8: A feasible option in geomatics, *Measurement* 137 (2019), pp. 168-178
- [5] Leica Geosystems AG, DCP05 Training Manual, Leica Geosystems AG on behalf of A.M.S., Oulu/Finland, 1999-2002
- [6] Ogundare J.O., *Precision Surveying – The Principles and Geomatics Practice*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2016
- [7] Parker D.H., Schwab F.R., Shelton J.W., Weadon T.L., Calibration and modeling of a dual-axis inclinometer, *Precision Engineering* 29 (2005), pp. 381-385