

PRZEGLĄD WYBRANYCH SPECJALISTYCZNYCH PRZYRZĄDÓW STOSOWANYCH W BADANIACH GEODYNAMICZNYCH I POMIARACH PRZEMIESZCZEŃ

Kazimierz Ćmielewski, Olgierd Jamroz, Piotr Gołuch,
Janusz Kuchmister, Krzysztof Mąkolski

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. W artykule przedstawiono i opisano przegląd autorskich specjalistycznych przyrządów pomiarowych, przydatnych w geodezyjnych pomiarach przemieszczeń bądź w badaniach geodynamicznych. Autorzy podają krótką charakterystykę wybranych przyrządów, z których trzy uzyskały prawa ochronne jako patent na wynalazek lub wzór użytkowy. W opracowaniu przedstawiono dwa pochyłomierze nasadkowe z analogowym i optoelektronicznym modułem pomiarowym, geodezyjny sygnał celowniczy oraz mechaniczne, optoelektroniczne i fotogrametryczne sposoby przeniesienia wysokości z reperów częściowo zabudowanych. Dla każdego z przyrządów pomiarowych podano podstawowe parametry charakteryzujące budowę, sposób posługiwania się oraz dokładności wyznaczone podczas badań w warunkach laboratoryjnych i terenowych. Opisana aparatura cechuje się zwartą i nieskomplikowaną budową, znaczną poręcznością i dokładnością porównywalną z innymi dostępnymi na rynku przyrządami geodezyjnymi. Zaprezentowane przyrządy pomiarowe umożliwiają wykonanie pomiarów z submilimetrową dokładnością.

Słowa kluczowe: pomiary pochyleń, klinometry, pomiary przemieszczeń, pomiary niwelacyjne

WPROWADZENIE

W badaniach geodynamicznych oraz podczas wyznaczania przemieszczeń obiektów inżynierskich często zachodzi konieczność określenia zmian położenia punktów reprezentujących badany obiekt. Obserwacje tych punktów wykonywane są z trwale stabilizowanych słupów obserwacyjnych, które stanowią w sieci kontrolno-pomiarowej stałe punkty

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Adres do korespondencji – Address correspondence to: Kazimierz Ćmielewski, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, e-mail: kazimierz.cmielewski@up.wroc.pl

odniesienia (stanowiska obserwacyjne) lub są punktami aproksymującymi badany obiekt (punkty kontrolowane). Położenie słupów obserwacyjnych można monitorować z użyciem pochyłomierzy o różnej konstrukcji. W pracy zamieszczono przykłady kilku autorskich rozwiązań pochyłomierzy nasadkowych. Podczas wykonywania geodezyjnych obserwacji kątowo-liniowych do określenia położenia punktów kontrolowanych można wykorzystać sygnały celownicze. Wariant rozwiązania takiego sygnału został zaprezentowany w niniejszym opracowaniu. Do wyznaczenia przemieszczeń pionowych obiektów inżynierskich i przyrodniczych powszechnie wykorzystuje się metodę geometrycznej niwelacji precyzyjnej. Repery w ciągach niwelacyjnych, zlokalizowane na budynkach i budowlach, podczas modernizacji tych obiektów (ocieplenie i remont elewacji, montaż banerów, skrzynek pocztowych itp.) mogą stać się niedostępne do bezpośredniego, klasycznego pomiaru niwelacyjnego. W artykule przedstawiono przykłady przyrządów pomiarowych umożliwiających przeniesienie wysokości z reperów częściowo zabudowanych trzema sposobami: mechanicznym, optoelektronicznym i fotogrametrycznym.

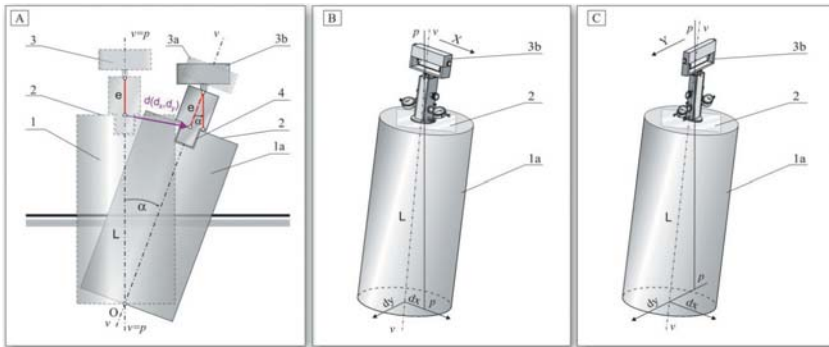
I. AUTORSKIE PRZYRZĄDY DO POMIARU POCHYLEŃ

W pracy zaprezentowano dwie autorskie konstrukcje pochyłomierzy nasadkowych, umożliwiających pomiary pochyłeń słupów obserwacyjnych i punktów kontrolowanych w osnowach geodezyjnych. Pierwsze rozwiązanie pochyłomierza jest analogowe, natomiast drugie bazuje na technice optoelektronicznej i jest cyfrowe.

A. Pochyłomierz nasadkowy

Pochyłomierz nasadkowy – klinometr analogowy (rys. 1, 2) służy do wyznaczania pochyłeń stanowisk badawczych – słupów pomiarowych i osadzany jest podczas realizacji pomiarów w głowicy stanowiska pomiarowego za pomocą cylindrycznego sprzęgu (wymuszone centrowanie). Przyrząd składa się z korpusu, który w dolnej części posiada trzpień centrujący, a w górnej zamocowane wahliwe ramię uchylne z libellą koincydencyjną (rys. 2A, 3) [Cacoń i Ćmielewski 1992]. Przed wykonaniem pomiaru trzeba przeprowadzić połowę kalibrację przyrządu [Jamroz 1997]. W celu wykonania pomiaru przyrząd należy umieścić w tulei głowicy słupa w zadanym kierunku i zablokować śrubą zaciskową, a następnie doprowadzić do górowania libelle (rys. 3) za pomocą śruby poziomującej. Aby wyznaczyć pochylenie osi słupa, należy wykonać odczyty na podziale mikrometrycznych czujników zegarowych. Na podstawie wykonanych odczytów można wyznaczyć względną, liniową wartość odchylenia słupa od pionu z dokładnością $\pm 0,01$ mm w dwóch ortogonalnych płaszczyznach, skierowanych odpowiednio na SN i WE (dokładność poziomowania $\pm 2''$).

Pochyłomierz nasadkowy [Cacoń i Ćmielewski 1992] został wykonany w Instytucie Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu i po przeprowadzeniu badań laboratoryjnych zastosowany w terenowych badaniach stabilności stanowisk pomiarowych w sieciach geodynamicznych w Sudetach w Polsce i Republice Czeskiej (rys. 2C, D) [Cacoń i in. 1996, 2004, Jamroz 1997, 2000].



Rys. 1. Schemat pomiaru wychylenia słupa obserwacyjnego pochyłomierzem nasadkowym: A. istota wyznaczenia wartości liniowego pochylenia osi słupa; B. wyznaczenie wartości liniowego pochylenia osi słupa wzdłuż osi X; C. wyznaczenie wartości liniowego pochylenia osi słupa wzdłuż osi Y

Oznaczenia: α – kąt pochylenia słupa, $v-v$ – oś słupa, $p-p$ – oś linii pionu, L – długość słupa, e – długość ramienia pomiarowego pochyłomierza, 1 – słupek obserwacyjny w pionie, 1a – słupek obserwacyjny w trakcie pomiaru, 2 – głowica słupa, 3 – pochyłomierz nasadkowy, 3a – pochyłomierz nasadkowy w trakcie pomiaru przed spoziomowaniem, 3b – pochyłomierz nasadkowy w trakcie pomiaru po spoziomowaniu, 4 – tuleja centrująca

Fig. 1. Scheme of measurements of the pillar inclination using clinometers: A. essence of determination the linear value of pillar's axis inclination; B. determination the linear value of pillar's inclination along the X axis; C. determination the linear value of pillar's inclination along the Y axis

Symbols: α – angle of inclination, $v-v$ – pillar's axis, $p-p$ – plumb line, L – pillar's height, 1 – observation pillar in vertical position, 1a – pillars position during the measurement, 2 – pillar's head, 3 – analog clinometer, 3a – clinometer during the measurement before levelling, 3b – clinometer during the measurement after levelling, 4 – centring-fixing bush

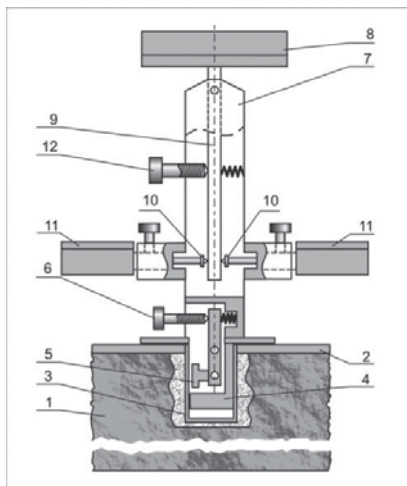


Rys. 2. Analogowy pochyłomierz nasadkowy i przykłady jego zastosowania: A. Schemat pochyłomierza nasadkowego, B. widok instrumentu podczas pomiaru wychylenia słupa obserwacyjnego w laboratorium, C. widok instrumentu podczas pomiaru wychylenia słupa obserwacyjnego w terenie, D. wyniki pomiarów geodynamicznej sieci kontrolno-pomiarowej [Cacoń i in. 2004]

Oznaczenia: 1 – korpus, 2 – ramię uchylne, 3 – libella koincydencyjna Wilda, 4 – śruba poziomująca, 5 – mikrometryczny czujnik zegarowy, 6 – śruba dociskowa, 7 – trzpień ustalający

Fig. 2. Analog clinometer and examples of its use: A. Scheme of the analog clinometer, B. instrument during the laboratory tests, C. view of the instrument during field measurements, D. scheme of geodynamic measurement-control network [Cacoń et al. 2004]

Symbols: 1 – body, 2 – inclination arm, 3 – Wild's coincidence tubular level, 4 – levelling screw, 5 – micrometric dial gauge, 6 – fixing screw, 7 – centering roller



Rys. 3. Pochyłomierz nasadkowy [Cacoń i Ćmielewski 1992]

Oznaczenia: 1 – słup obserwacyjny, 2 – głowica słupa, 3 – tuleja centrująca, 4 – trzpień ustalający, 5 – dociskacz, 6 – śruba dociskowa, 7 – korpus, 8 – libella koincydencyjna, 9 – ramię uchyłne, 10 – głowica czujnika pomiarowego, 11 – mikrometryczny zegarowy czujnik pomiarowy, 12 – pokrętło poziomujące

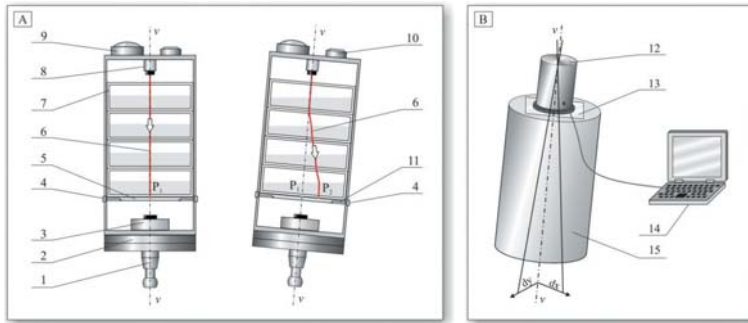
Fig. 3. Analog clinometer [Cacoń and Ćmielewski 1992]

Symbols: 1 – observation pillar, 2 – pillar's head, 3 – centering-fixing bush, 4 – centering roller, 5 – pressing plate, 6 – fixing screw, 7 – body, 8 – Wild's coincidence tubular level, 9 – inclination arm, 10 – micrometric dial gauge head, 11 – micrometric dial gauge, 12 – levelling screw

B. Pochyłomierz optoelektroniczny

Rozwój techniki optoelektronicznej, miniaturyzacja i zapewnienie niezawodności urządzeń pomiarowych w zróżnicowanych warunkach meteorologicznych stanowiły bodziec do opracowania lekkiego i wygodnego w obsłudze przyrządu do monitoringu pochyłości elementów konstrukcyjnych lub stanowisk pomiarowych [Ćmielewski i in. 2006]. Pochyłomierz zawiera kamerę CCD, zespół klinów cieczowych, matowy ekran z naniesioną siatką ortogonalną, czerwoną diodę laserową. Układ odniesienia definiowany jest przez 4 rdzenie światłowodów, ustawionych prostopadle do ekranu. Orientację magnetyczną lokalnego układu współrzędnych horyzontalnych zapewnia busola, umieszczona na obudowie. Strumień światła laserowego przechodząc przez kolejne naczynia, ulega załamaniu [Ćmielewski i in. 2006]. Liczba naczyń (klinów cieczowych) oraz rodzaj i poziom zawartej w nich cieczy zostały dobrane eksperymentalnie. Kamera CCD rejestruje obraz plamki laserowej na tle matowego ekranu i światłowodowych punktów referencyjnych (rys. 4). Zespół pomiarowo-rejestrujący jest osłonięty solidną obudową, a stabilne osadzenie klinometru w tulei słupa obserwacyjnego zapewnia moduł rozprężny (rys. 4). Rejestracja i opracowanie danych możliwe są w post-processingu lub w czasie rzeczywistym, po uprzednim wyznaczeniu środka energetycznego zarejestrowanego obrazu plamki laserowej i wyznaczeniu wektora pochylenia (wartości i azymutu w płaszczyźnie horyzontalnej), co zilustrowano na rysunku 5.

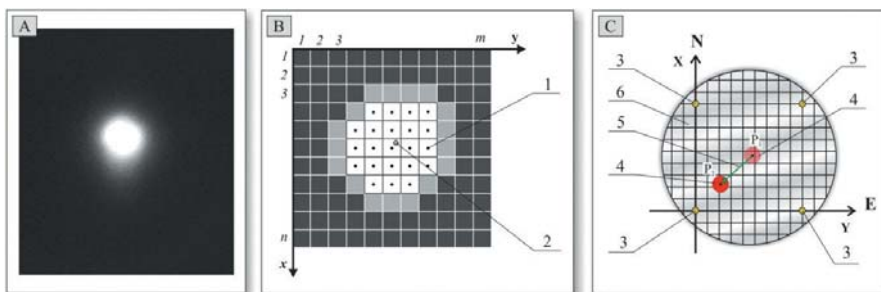
Szczegóły konstrukcyjne [Ćmielewski i in. 2006] oraz wyniki pomiarów testowych opisano w kilku publikacjach [Jamroz i in. 2006a, b]. Przeprowadzone pomiary badawcze wykazały poręczność przyrządu, odporność na zmienne czynniki meteorologiczne oraz dokładność obserwacji na poziomie $\pm 0,02$ mm, przy maksymalnym zakresie wychylenia do $\pm 10^\circ$. Przyrząd może być również wykorzystywany do monitoringu permanentnego wybranych stanowisk w warunkach uciążliwych.



Rys. 4. Budowa i zasada pomiaru wychylenia słupa obserwacyjnego pochyłomierzem optoelektronicznym: A. schemat pochyłomierza optoelektronicznego; B. pomiar wychylenia słupa obserwacyjnego

Oznaczenia: 1 – rozprężny moduł centrujący, 2 – podstawa, 3 – matryca CCD, 4 – kondensator, 5 – ekran, 6 – wiązka laserowa, 7 – klin cieczowy, 8 – nadajnik laserowy, 9 – busola, 10 – libella pudełkowa, 11 – światłowód, 12 – pochyłomierz optoelektroniczny, 13 – głowica słupa obserwacyjnego, 14 – notebook, 15 – słup obserwacyjny

Fig. 4. Construction and scheme of measurements of the pillar inclination using laser-prismatic clinometers: A. scheme of laser-prismatic clinometers; B. measuring the pillar inclination
Symbols: 1 – centering-fixing module, 2 – base, 3 – CCD converter, 4 – condenser, 5 – focusing screen, 6 – laser beam, 7 – optical refracting element, 8 – laser transmitter, 9 – compass, 10 – spherical level, 11 – fiber optics, 12 – laser-prismatic clinometer, 13 – pillar's head, 14 – notebook, 15 – observation pillar



Rys. 5. Sposób identyfikacji środka energetycznego obrazu plamki laserowej w pochyłomierzem optoelektronicznym: A. zarejestrowany obraz plamki laserowej; B. zasada identyfikacji środka geometrycznego plamki; C. zasada wyznaczenia wektora przesunięcia

Oznaczenia: P_1 – położenie wyjściowe śladu plamki laserowej (wyznaczona podczas kalibracji przyrządu), P_2 – aktualne położenie śladu plamki laserowej, 1 – środek piksela w układzie współrzędnych obrazu x_p, y_p , 2 – geometryczny środek śladu plamki laserowej, 3 – światłowodowy punkt referencyjny, 4 – obraz śladu plamki laserowej, 5 – wektor przesunięcia śladu plamki laserowej z położenia wyjściowego do położenia aktualnego, 6 – ekran

Fig. 5. A method of identifying the energetic center of the image of the laser spot using laser-prismatic clinometers: A. recorded image of the laser spot; B. the principle of identifying the geometric center spot; C. principle the designation of the displacement vector

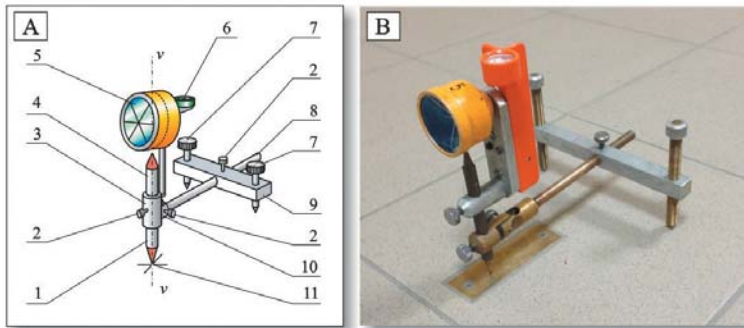
Symbols: P_1 – initial position of laser beam dot (established in the calibration process), P_2 – actual position of laser beam dot, 1 – pixel's center of x_p, y_p coordinates, 2 – geometrical center of the laser beam trace, 3 – fiber optics reference points, 4 – image of laser beam spot, 5 – laser beam displacement vector, 6 – focusing screen



Rys. 6. Widok prototypu pochylomierza optoelektronicznego
Fig. 6. View of prototype laser-prismatic clinometer

II. GEODEZYJNY SYGNAŁ CELOWNICZY

Do sygnalizowania położenia punktów kontrolowanych w geodezyjnych sieciach kontrolno-pomiarowych, założonych do monitorowania obiektów inżynierskich i przyrodniczych, został opracowany patent [Cacoń i in. 1993a] i wykonany geodezyjny sygnał celowniczy (rys. 7) [Cacoń i in. 1993b]. Sygnał celowniczy ustawia się bezpośrednio nad kontrolowanym punktem, wykorzystując w tym celu stożek centrujący i libellę pudełkową. Do wykonania obserwacji liniowych używany jest pryzmat dalmierzy, natomiast do obserwacji kątowych stożek celowniczy. W zależności od panujących na obiekcie warunków pomiarowych istnieje możliwość regulacji wysokości pryzmatu dalmierczego i stożka celowniczego. Przeprowadzone prace doświadczalne w warunkach laboratoryjnych i terenowych wykazały, że sygnał celowniczy umożliwia wyznaczenie położenia punktów kontrolowanych z dokładnością submilimetrową. Konstrukcja sygnału celowniczego umożliwia jednoznaczną identyfikację punktów kontrolowanych i centrowanie go nad punktem z dokładnością od $\pm 0,1$ do $\pm 0,3$ mm.

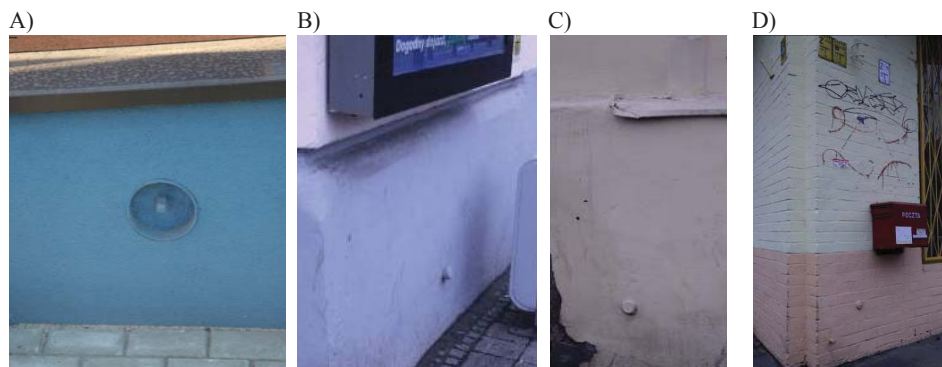


Rys. 7. Geodezyjny sygnał celowniczy [Cacoń i in. 1993b]: A) schemat sygnału; B) widok prototypu
Oznaczenia: 1 – stożek centrujący, 2 – śruba blokująca, 3 – tuleja ustawcza, 4 – stożek celowniczy, 5 – pryzmat dalmierczy, 6 – libella pudełkowa, 8 – wysięgnik prętowy, 9 – ramię poziomujące, 10 – zawias, 11 – punkt pomiarowy

Fig. 7. Geodetic sight signal [Cacoń et al. 1993b]: A) scheme of the signal; B) the prototype
Symbols: 1 – centering cone, 2 – blocking screw, 3 – fixing sleeve, 4 – sight cone, 5 – prism, 6 – spherical level, 8 – boom rod, 9 – levelling arm, 10 – hinge, 11 – measuring point

III. PRZYRZĄDY DO PRZENIESIENIA WYSOKOŚCI Z REPERÓW CZĘŚCIOWO ZABUDOWANYCH

Prace remontowe budynków i budowli, związane m.in. z ociepleniem ścian, często są powodem utrudnionego dostępu do geodezyjnych znaków wysokościowych (reperów), które zastabilizowano na ścianach. Na rysunku 8 zaprezentowano często występujące przypadki zabudowy punktów wysokościowych osnowy państwowej. Fakt ten powoduje brak możliwości wykorzystania reperów w klasycznych pomiarach niwelacyjnych podczas wyznaczania przemieszczeń pionowych obiektów inżynierskich i przyrodniczych.



Rys. 8. Widok częściowo zabudowanych punktów wysokościowych [Kuchmister i in. 2015]
 Repery niedostępne z powodu: A) ocieplenia budynku i wykonania parapetu; B) umieszczenia reklamy na ścianie budynku; C) wykonania parapetu na elewacji budynku; D) umieszczenia skrzynki pocztowej lub uchwyty flagi na ścianie budynku

Fig. 8. Partially covered benchmarks [Kuchmister et al. 2015]
 Benchmarks unavailable due: A) building thermomodernization and windowsill installing; B) billboard location on the building wall; C) placement a sill of the building facade; D) mailbox or flag holder on the wall

W literaturze [Bryś i Przewłocki 1998, Ćmielewski i in. 2007, Niwelacja precyzyjna 1993, Schofield i Breach 2007] można znaleźć opisy różnych rozwiązań przyrządów, które umożliwiają wykonanie obserwacji niwelacyjnych na reperach częściowo niedostępnych (zabudowanych).

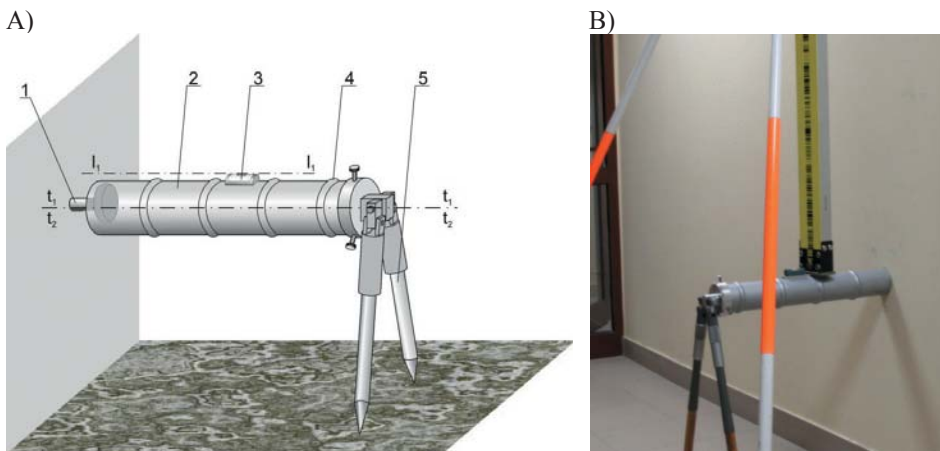
W celu umożliwienia wykonania pomiarów niwelacyjnych reperów ściennych częściowo zabudowanych autorzy opracowali i wykonali kilka wariantowych rozwiązań aparatury pomiarowej umożliwiających przeniesienie wysokości z takich reperów na inny reper lub pośredni wysokościowy punkt pomiarowy (zabka/klin) trzema metodami: mechaniczną (rys. 9, 10), optoelektroniczną (rys. 11) oraz fotogrametryczną (rys. 12).

A. Mechaniczna przystawka reperowa

Mechaniczną przystawkę tulejową stanowi wydłużona tuleja, która posiada pierścienie, libellę rurkową oraz podpórkę. Przystawka nakładana jest na reper częściowo zabudowany wewnętrzną powierzchnią, natomiast zewnętrzne pierścienie są pośrednimi punktami wysokościowymi (tymczasowymi reperami z przeniesioną wysokością) (rys. 9).

Przystawka reperowa powinna posiadać minimum 1 pierścień reperowy; większa liczba pierścieni czyni przystawkę bardziej uniwersalną, dzięki czemu m.in. można dokonać kontroli pomiarów. Prototyp wykonanej przystawki reperowej ma cztery pierścienie. Przed rozpoczęciem pomiarów niwelacyjnych przystawkę ma skalibrować [Kuchmister i in. 2014]. Podczas pomiarów łąkę niwelacyjną należy ustawić na wybranym pierścieniu reperowym (rys. 10).

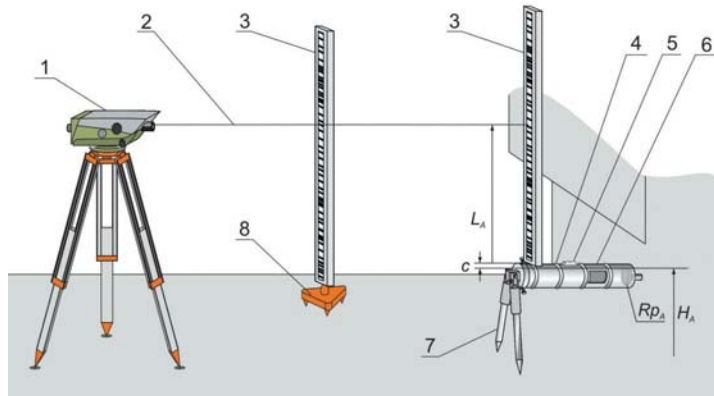
Na podstawie przeprowadzonych prac eksperymentalnych w warunkach laboratoryjnych z użyciem niwelatora Leica DNA03, kodowej łąki niwelacyjnej i przystawki reperowej stwierdzono, że dokładność wyznaczenia przewyższeń, przy długość celowej ok. 4 m, wynosi od $\pm 0,004$ do $\pm 0,008$ mm [Kuchmister i in. 2014]. Dokładność ta jest zbliżona do dokładności wyznaczenia przewyższenia bez użycia przystawki i jest zgodna z dokładnością określoną Rozporządzeniem z 2012 r. [Rozp. MAiC 2012] dla niwelacji precyzyjnej.



Rys. 9. Widok mechanicznej reperowej przystawki tulejowej: A. Schemat konstrukcyjny, B. Przykład wykonania

Oznaczenia: 1. reper ścienny, 2. reperowa przystawka tulejowa, 3. libella rurkowa, 4. pierścień reperowy, 5. podpórka, l_1-l_1 – oś libelli rurkowej, t_1-t_1 – oś wewnętrznej powierzchni tulei, t_2-t_2 – oś zewnętrznej powierzchni tulei

Fig. 9. The view of the mechanical tubular snap-in: A. Constructional scheme, B. prototype
Symbols: 1. benchmark, 2. mechanical sleeve snap-in, 3. tubular level, 4. benchmark ring, 5. bracket, l_1-l_1 – axis of the tubular level, t_1-t_1 – axis of the inner surface of the sleeve, t_2-t_2 – axis of the outer surface of the sleeve



Rys. 10. Istota przeniesienia wysokości z reperów częściowo zabudowanych z użyciem mechanicznej przystawki reperowej

Oznaczenia: 1 – niwelator, 2 – oś celowa, 3 – łąta, 4 – pierścień reperowy, 5 – libella, 6 – mechaniczna reperowa przystawka tulejowa, 7 – podpórka, 8 – żabka

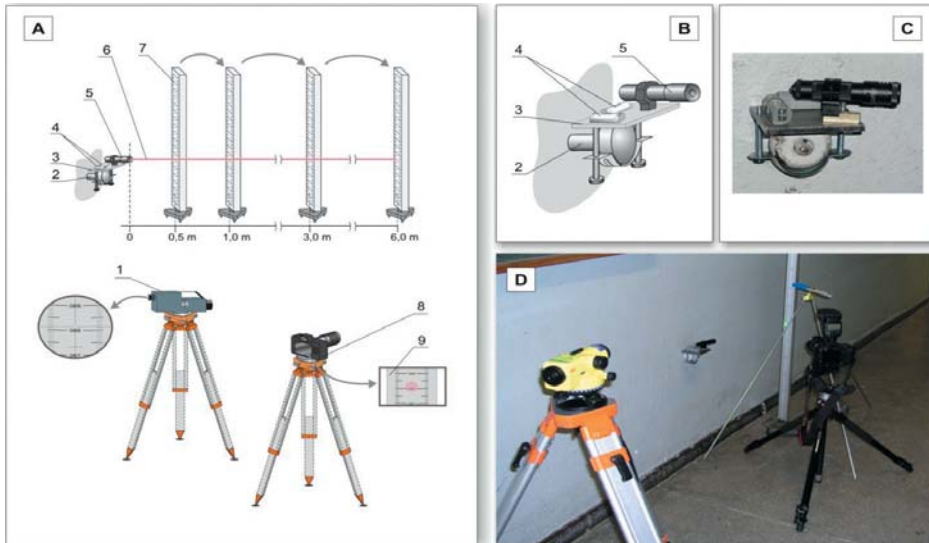
Fig. 10. The essence of transferring height from the partially recessed benchmark to the temporary height point (foot plate) using the mechanical sleeve snap-in

Symbols: 1 – levelling instrument, 2 – horizontal line of sight, 3 – levelling staff, 4 – benchmark ring, 5 – tubular level, 6 – mechanical sleeve snap-in, 7 – bracket, 8 – temporary height point (foot plate)

B. Przeniesienia wysokości metodą fotogrametryczną z wykorzystaniem techniki optoelektronicznej

W skład zestawu pomiarowego wchodzi stół reperowy, łąta niwelacyjna, niwelator i aparat fotograficzny (rys. 11A). Stół reperowy złożony z nadajnika laserowego i dwóch wzajemnie prostopadłych libell ustawia się na reperze za pomocą zestawu mocującego (rys. 11B, C) [Kuchmister i in. 2014]. W celu przeniesienia wysokości z reperu w jego sąsiedztwie na reperze roboczym (żabka/klin) ustawia się łątę niwelacyjną, na podział której kieruje się (spoziomowaną według libell) wiązkę światła laserowego. Położenie śladu plamki laserowej na tle podziału łąty można odczytać wizualnie lub zarejestrować za pomocą kamery. Na zarejestrowanym obrazie podziału łąty dokonuje się detekcji środka energetycznego plamki laserowej, wykorzystując w tym celu zasady cyfrowego przetwarzania obrazu [Kuchmister i in. 2012]. W naszym przypadku jest to realizowane autorskim programem. Na podstawie stałej stolika wyznaczonej w procesie kalibracji i wyznaczonego położenia środka plamki laserowej na podziale łąty wyznacza się przewyższenie pomiędzy reperem przesłoniętym a reperem roboczym (żabka/klin). Kolejne stanowiska niwelacyjne realizuje się już z wykorzystaniem niwelatora.

Przed przystąpieniem do pomiarów niwelacyjnych z użyciem stolika reperowego przyrząd należy skalibrować. Istota kalibracji przedstawiona jest na rysunku 11A. Kalibracja polega na wyznaczeniu pionowej odległości pomiędzy poziomą osią wiązki światła laserowego a powierzchnią reperu.



Rys. 11. Istota przeniesienia wysokości z reperów zabudowanych z użyciem przyrządu laserowego: A. Sposób kalibracji stolika reperowego, B. Widok stolika reperowego po zamocowaniu na reperze przyściennym, C. Prototyp stolika reperowego, D. Usytuowanie aparatury pomiarowej podczas właściwych prac eksperymentalnych

Oznaczenia: 1 – niwelator, 2 – reper, 3 – miniaturowy stolik reperowy, 4 – libelle, 5 – celownik laserowy, 6 – wiązka laserowa, 7 – łąta z podziałem milimetrowym, 8 – kamera, 9 – obraz plamki laserowej na tle podziału łąty

Fig. 11. The essence of transferring elevation using the photogrammetric method combined with the optoelectronic technique: A. The gist of calibrating the laser transmitter; B. The view of the benchmark table after fixing it to the wall benchmark; C. The prototype of the benchmark table; D. The location of measuring equipment during the actual experimental works

Symbols: 1 – levelling instrument, 2 – benchmark, 3 – benchmark table, 4 – crossed tubular levels, 5 – laser sighting, 6 – laser beam, 7 – levelling staff, 8 – camera, 9 – image of the laser spot on the background of the staff graduation

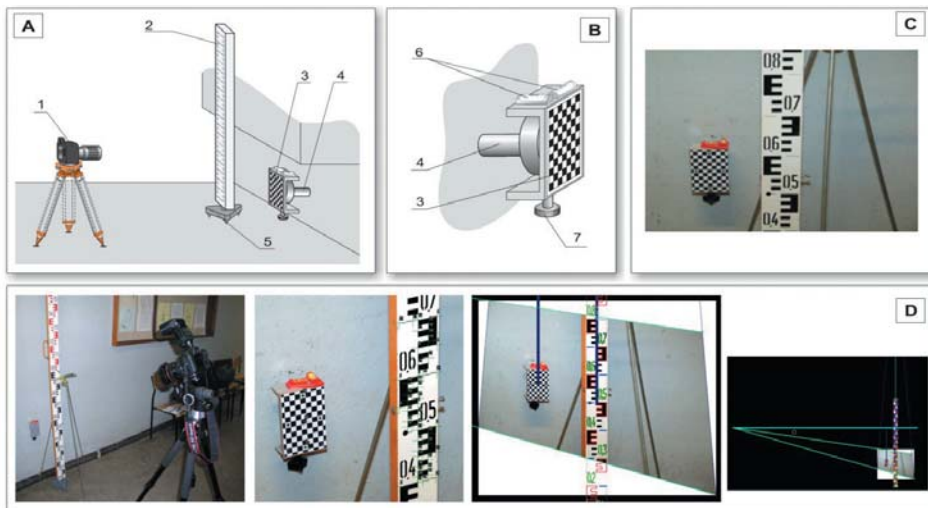
Na podstawie przeprowadzonej analizy dokładności, opierając się na powtarzalności wyników pomiarów i porównania metody fotogrametrycznej z metodą niwelacji geometrycznej, średni błąd pomiaru metodą fotogrametryczną wynosi $\pm 0,05$ mm.

C. Przeniesienie wysokości fotogrametryczną metodą jednoobrazową

W metodzie tej do przesłoniętego reperu na czas pomiaru mocowana jest, według wskazań libelli, sygnalizacyjna tarcza fotogrametryczna, natomiast w pobliżu reperu – na reperze roboczym (zabka/klin) ustawia się pionowo łątę niwelacyjną (rys. 12A, B). Następnie po ustawieniu kamery należy wykonać zdjęcie, na którym odfotografują się tarcza pomiarowa i fragment podziału łąty niwelacyjnej (rys. 12C). Zdjęcie można wykonać z tzw. wolnej ręki lub po ustawieniu kamery na statywie. Na tak zarejestrowanym obrazie tarczy pomiarowej i podziału łąty wykonuje się pomiary fotogrametryczne, na podstawie których wyznacza się różnicę wysokości pomiędzy reperem przesłoniętym a reperem roboczym (rys. 12D).

Opracowanie fotogrametryczne bazuje na metodzie płaskich przekształceń rzutowych (Direct Linear Transformation – DLT). W związku z tym metoda ta polega na przekształceniu płaszczyzny zarejestrowanego kamerą obrazu o dowolnej nieznannej orientacji w płaszczyznę o pionowo ustawionej łąty niwelacyjnej (eliminacja zniekształceń obrazu spowodowanych kątem nachylenia zdjęcia). W drugim kroku opracowania zdjęć należy obliczyć poprawki umożliwiające wyznaczenie przesunięć radialnych wybranych punktów tarczy pomiarowej, wynikające z występującej różnicy odległości pomiędzy kamerą a fotografowanymi: tarczą i podziałem łąty geodezyjnej [Kuchmister i in. 2014].

Przeprowadzone prace badawcze wykazały, że błąd średni wyznaczenia różnicy wysokości metodą fotogrametryczną jednoobrazową przy użyciu technicznej łąty geodezyjnej i dowolnej orientacji kamery nie przekracza wartości ± 1 mm. Przy odpowiednich parametrach wykonania zdjęcia oraz zastosowaniu precyzyjnej łąty inwarowej można znacząco ograniczyć wartość błędu do poziomu setnych części milimetra [Kuchmister i in. 2014].



Rys. 12. Istota przeniesienia wysokości z reperów zabudowanych metodą fotogrametryczną jednoobrazową dla zdjęć z osią optyczną poziomą i nachyloną: A. Przykładowe rozmieszczenie aparatury pomiarowej; B. Przykład tarczy fotogrametrycznej zamocowanej na przesłoniętym reperze; C. Wybrane zdjęcie do prowadzonych analiz dokładnościowych; D. Etapy fotogrametrycznego opracowania wykonanych zdjęć

Oznaczenia: 1 – kamera pomiarowa, 2 – łąta, 3 – sygnalizator fotogrametryczny, 4 – reper, 5 – żabka, 6 – libelle, 7 – śruba mocująca

Fig. 12. The essence of the transfer height from the partially recessed benchmark using the mono-photogrammetric method for images with the horizontal and sloped optical axis: A. Examples of arrangement of the measuring equipment; B. Example of photogrammetric target plate mounted on recessed benchmark; C. Picture selected to carry out accuracy analyses; D. Stages of the photogrammetric processing of the images

Symbols: 1 – camera, 2 – levelling staff, 3 – photogrammetric target plate, 4 – benchmark, 5 – temporary height point (foot plate), 6 – crossed tubular levels, 7 – fixing screw

PODSUMOWANIE

Opracowane, wykonane i przedstawione w pracy rozwiązania pochyłomierzy nasadkowych umożliwiają pomiar niepionowości słupów obserwacyjnych z dokładnością $\pm 2''$. Zastosowanie pochyłomierzy pozwoliło na podniesienie dokładności w pomiarach deformacji obiektów inżynierskich i przyrodniczych.

Zaprezentowany geodezyjny sygnał celowniczy umożliwia precyzyjne centrowanie pryzmatu dalmierczego nad trudno dostępnymi punktami oraz cechuje go wysoka dokładność centrowania nad mierzonym punktem i wynosi od $\pm 0,1$ do $\pm 0,3$ mm.

Na podstawie przeprowadzonych doświadczalnych prac badawczych stwierdzono przydatność opracowanych i wykonanych zestawów pomiarowych do przeniesienia wysokości z reperów częściowo zabudowanych na inne repery lub przejściowe znaki wysokościowe. Przed rozpoczęciem pomiarów na obiekcie przedstawione w artykule przyrządy należy sprawdzić i ewentualnie skalibrować. Na podstawie wyznaczonych różnic wysokości pomiędzy reperami z użyciem mechanicznej przystawki reperowej, metody fotogrametrycznej z wykorzystaniem techniki optoelektronicznej oraz fotogrametrycznej metody jednoobrazowej (przy odpowiednio dobranych parametrach wykonania zdjęcia) dokładność wyznaczenia przewyższeń w warunkach laboratoryjnych wynosi od $\pm 0,004$ do $\pm 0,008$ mm.

Opisane przyrządy charakteryzują się prostą budową, łatwą obsługą, lekką i zwartą konstrukcją. Ponadto cechują je wysoka precyzja i powtarzalność odczytów oraz wysoka niezawodność w zróżnicowanych warunkach atmosferycznych.

PIŚMIENNICTWO

- Bryś H., Przewłocki S., 1998. Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Cacoń S., Ćmielewski K., 1992. Pochyłomierz nasadkowy. Wzór użytkowy nr 53778. Biuletyn Urzędu Patentowego RP, vol. 25, 5.
- Cacoń S., Ćmielewski K., Kuchmister J., Mąkowski K., 1993a. Geodezyjny sygnał celowniczy. Prawo ochronne na wzór użytkowy nr 55105, Urząd Patentowy RP, Warszawa.
- Cacoń S., Ćmielewski K., Kuchmister J., Mąkowski K., 1993b. Przyrządy pomocnicze w pomiarach deformacji górotworów obiektów przyrody nieożywionej [w:] Stan i kierunki rozwoju aparatury geodezyjnej i monitoringu środowiska, Turawa 21–22 maja 1993 r.
- Cacoń S., Weigel J., Švabenský O., Kontny B., Jamroz O., 1996. Geodynamika masywu Śnieżnika i obszarów przyległych [w:] Masyw Śnieżnika – Zmiany w Środowisku Przyrodniczym. Wyd. Polskiej Agencji Ekologicznej (monografia), Warszawa, 57–70.
- Cacoń S., O. Švabenský O., Kontny B., Weigel J., Jamroz O., Ćmielewski K., Bosy J., Kapłon J., Machotka R., 2004. Deformation analysis of the upper part of the earth crust in the Sněžnik Massif (Polish and Czech side between 1993 and 2003). *Acta Geodynamica et Geomaterialia* IRSM AS, Series A and B, Vol. 1, No. 3 (135), Prague, Czech Rep., 59–67.
- Ćmielewski K., 2007. Zastosowanie technik światłowodowych i laserowych w precyzyjnych pomiarach kształtu i deformacji obiektów inżynierskich. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu nr 551, Rozprawy CCXLVI, Wrocław.
- Ćmielewski K., Jamroz O., Kowalski K., 2006. Pochyłomierz. Biuletyn Urzędu Patentowego RP Nr 25 (860) z 11.12.2006, Zgłoszenie wynalazku nr P-379920, 24, Warszawa.
- Jamroz O., 1997. Zastosowanie metod bezwzględnych i względnych w badaniach geodynamicznych masywu Śnieżnika Kłodzkiego. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, s. Geod. i Urz. Rol. XIV, nr 324, 189–200.

- Jamroz O., 2000. Monitorowanie zmian górnej warstwy litosfery w Masywie Śnieżnika Kłodzkiego. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, s. Geodezja i Urządzenia Rolne XVI, nr 379, 51–83.
- Jamroz O., Ćmielewski K., Kowalski K., 2006a. Testing measurements of the prototype of laser-prismatic clinometer for observation pillars inclination. Reports on Geodesy, No. 2 (77), Warsaw, 115–122.
- Jamroz O., Ćmielewski K., Kowalski K., 2006b. Examples of the constructions of instruments for inclination measurement of the observation pillars (clinometers). Acta Scientiarum Polonorum, s. Geodesia et Descriptio Terrarum No. 5 (1–2), Wrocław, 47–56.
- Kuchmister J., Ćmielewski K., Gołuch P., 2014. The application of optoelectronic technique of transferring heights from the recessed benchmarks in networks in the examination of rock mass deformation. Acta Geodynamica et Geomaterialia, Vol. 11, No. 1 (173), Prague, Czech Republic 2014, 23–33.
- Kuchmister J., Ćmielewski K., Gołuch P., Kowalski K., 2012. Zastosowanie pionownika laserowego do badań prostoliniowości obiektów wydłużonych. Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr., 11 (1), 5–16.
- Kuchmister J., Gołuch P., Ćmielewski K., Mąkowski K., 2015. The development and calibration of the benchmark sleeve for levelling elevation points which are partially recessed. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 12, No. 2 (178), 181–186.
- Niwelacja precyzyjna. Niwelacja geometryczna, trygonometryczna, satelitarna i hydroniwelacja, 1993. Praca zbiorowa. PPWK im. E. Romera S.A., Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 14 lutego 2012 r. w sprawie osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych, Dz.U. z 30 marca 2012 poz. 352.
- Schofield W., Breach M., 2007. Engineering Surveying. Elsevier Ltd., Oxford.

REVIEW OF SOME SPECIAL INSTRUMENTS USED IN GEODYNAMICAL RESEARCHES AND MEASUREMENTS OF DISPLACEMENTS

Abstract. The article presents an overview and describes the author's specialist measuring instruments, which are useful in geodetic displacement measurements or in geodynamical researches. The authors give a brief description of selected instruments, three of them were granted protective rights as a patent for invention or utility model. The study presents two inclinometer with analogue and optoelectronic measuring module, geodetic sight signal, mechanical, optoelectronic and photogrammetric methods of transferring the height of partially built benchmarks. For each of the measuring instruments the basic parameters characterizing the construction are given, as well as manual instruction and the accuracy determined during the laboratory and field tests. The described equipment is characterized by a compact and simple construction, considerable convenience and accuracy comparable to other commercially available surveying instruments. Presented instruments allow the measurements with submillimetre accuracy.

Key words: inclination observations, clinometers, deformation measurements, levelling

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2015

Do cytowania – For citation: Ćmielewski K., Jamroz O., Gołuch P., Kuchmister J., Mąkowski K., 2015. Przegląd wybranych specjalistycznych przyrządów stosowanych w badaniach geodynamicznych i pomiarach przemieszczeń Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr., 14 (1–2), 5–18.

