

KONCEPCJA PRECYZYJNYCH GEODEZYJNYCH POMIARÓW PRZEMIESZCZEŃ OBIEKTÓW INŻYNIERSKICH I PRZYRODY NIEOŻYWIONEJ

Kazimierz Ćmielewski, Piotr Gołuch,
Janusz Kuchmister, Olgierd Jamroz

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie: Większość obiektów przyrodniczych i inżynierskich w trakcie procesów fizycznych i chemicznych ulega deformacji i i przemieszczaniu. Z tego powodu zachodzi konieczność prowadzenia monitoringu z użyciem odpowiedniego sprzętu kontrolno-pomiarowego. W niniejszym artykule autorzy zaprezentowali koncepcję pomiarów przemieszczeń z zastosowaniem zestawu pomiarowego złożonego z instrumentu geodezyjnego sprzęgniętego ze stolikiem mikrometrycznym i dwusygnałowej tarczy celowniczej, zastabilizowanej na badanym obiekcie. Zestaw pomiarowy może być zastosowany do prowadzenia monitoringu względnych przemieszczeń i odkształceń, np. bloków i ostańców skalnych, w korytarzach jaskiń, a także w sztolniach górniczych, galeriach zapór wodnych i śluz itp. Zaproponowana koncepcja metody pomiaru i oprzyrządowania z użyciem stolika mikrometrycznego i dwusygnałowej tarczy celowniczej może wspomagać znane (klasyczne), jak również współczesne zautomatyzowane rozwiązania.

Słowa kluczowe: geodezyjne metody pomiarów, przyrządy pomiarowe, tarcze celownicze

WSTĘP

Pomiary geodezyjne wykonywane na obiektach przyrody nieożywionej i inżynierskich są zróżnicowane dokładnościowo. Ze względu na zasięg i dokładność pomiaru można wyróżnić następujące 3 segmenty pomiarowe [Cacoń 2001]:

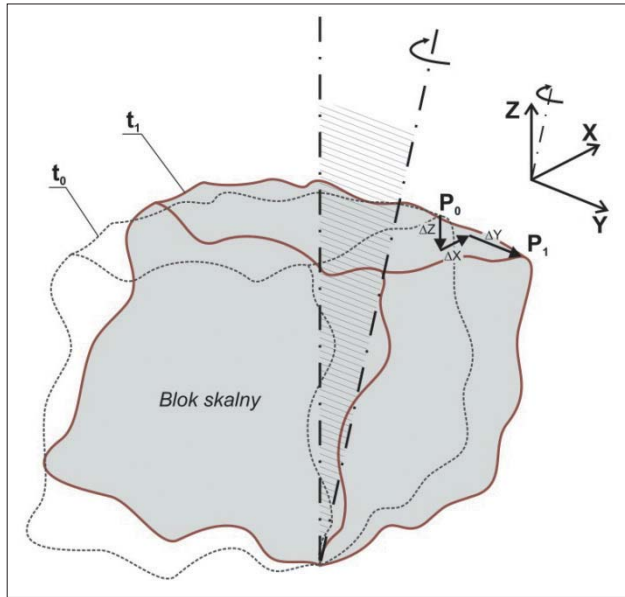
- segment I – obserwacje satelitarne GNSS oraz niwelacja precyzyjna (dokładność pomiarów przemieszczeń wynosi: $\pm 0,5 \div 10$ mm);

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Adres do korespondencji – Address correspondence to: Kazimierz Ćmielewski, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 24, 50-357 Wrocław, e-mail: kazimierz.cmielewski@up.wroc.pl

- segment II – obserwacje jak wyżej, wzbogacone o tachimetry elektroniczne (dokładność pomiarów przemieszczeń wynosi: $\pm 0,5 \div 2$ mm);
- segment III – pomiary względne (dokładność pomiarów przemieszczeń wynosi: $\pm 0,01 \div 0,1$ mm).

Wektor przemieszczenia punktu to wektor łączący położenie punktu w momencie początkowym z położeniem tego punktu w momencie końcowym, przy czym zmiana położenia punktu rozpatrywana jest w określonym interwale czasu i w przyjętym układzie odniesienia (rys. 1).



Rys. 1. Przykład możliwości zachowania się w czasie badanego obiektu
Fig. 1. Example of the test object behavior at the time

Na obiektach przyrodniczych zachodzą naturalne procesy powodujące pękanie i przemieszczenie się bloków skalnych. Efektem działania tych procesów są zagrożenia dla życia ludzi, środowiska oraz katastrofy. Parametry geometryczne obiektu można wyznaczyć różnymi metodami pomiarów [Brys i Przewłocki 1998, Ćmielewski 2007, Ćmielewski i in. 2015, Gocał 1993, Gołuch i in. 2013, Pelzer 1988]. Do sygnalizacji punktów kontrolowanych wykorzystuje się różnego rodzaju znaki, sygnały i tarcze celownicze, które różnią się między sobą rysunkiem tarczy, konstrukcją, wielkością i kształtem [Gołuch i in. 2013, Janusz i in. 1973, Katalogi i prospekty firmowe 2014–2016].

Współcześnie na ważnych obiektach prowadzony jest ciągły monitoring wskazań urządzeń pomiarowych. Przy badaniach przemieszczeń względnych obiektu (w szczególności zmian odległości między punktami, zmian wysokości punktów czy odchylen od linii pionu) wykorzystuje się specjalistyczne przyrządy pozwalające osiągnąć dokładności do kilku setnych milimetra. Do urządzeń pomiarowo-kontrolnych wykorzystywanych w pomiarach przemieszczeń względnych można zaliczyć:

- tensometry i czujniki zegarowe (mechaniczne, elektroniczne),
- dylatometry i szczelinomierze,

- klinometry i pochyłomierze,
- pionowniki i pionowy mechaniczne,
- wahadła.

W miejscach, w których spodziewane są wspomniane zagrożenia, należy prowadzić monitoring z użyciem odpowiedniego sprzętu kontrolno-pomiarowego. W pracy przedstawiono koncepcje pomiarów względnych przemieszczeń bloków skalnych oraz wybranych obiektów inżynierskich, w przypadku których wymagana jest wysoka dokładność na poziomie submilimetrowym. Na podstawie zarejestrowanych wyników można określić przemieszczenia i odkształcenia zachodzące w czasie na badanym obiekcie. W artykule zaprezentowano dwa niezależne sposoby pomiarów geodezyjnych. Pierwszy z nich to sposób klasyczny, który bazuje na pomiarze kierunków poziomych i kątów pionowych do dwusygnałowej tarczy celowniczej. Drugi sposób pozwala wyznaczyć przemieszczenie na obiekcie przez pomiar przesunięć poziomych instrumentu geodezyjnego z użyciem stolika mikrometrycznego. Stolik mikrometryczny jest przyrządem, który umożliwi precyzyjny pomiar przesunięcia (za pomocą śruby mikrometrycznej) ustawionego na jego blacie instrumentu geodezyjnego (teodolit lub tachimetr). Stolik w dolnej części posiada otwór sprzęgający go z głowicą słupa obserwacyjnego, pozwalający na jednoznaczne ustawienie go na słupie obserwacyjnym. Natomiast w górnej części (błat) posiada trzpień gwintowany, pełniący rolę śruby sercowej w statywie geodezyjnym, umożliwiający połączenie stolika ze spodarką instrumentu geodezyjnego.

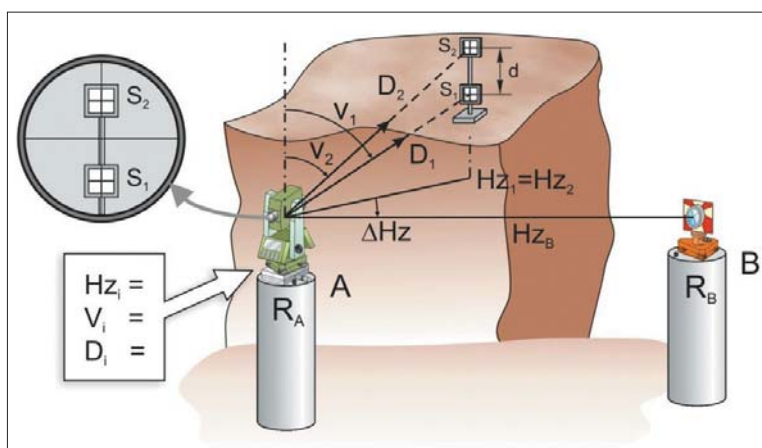
KONCEPCJA METODY POMIAROWEJ

Pomiar przemieszczenia punktu kontrolowanego można wykonać dwoma sposobami. Pierwszy sposób, znany z praktyki geodezyjnej, polega na realizacji kąтового wcięcia w przód (lub kątowno-liniowego) ze stałej bazy AB do dwusygnałowej tarczy osadzonej w punkcie kontrolowanym obiekcie pomiarowego (rys. 2). Do pomiarów przemieszczeń używa się kątomierczy instrumentu geodezyjnego (teodolit, tachimetr), który podczas pomiaru ustawiany jest jednoznacznie na słupie obserwacyjnym, przy wykorzystaniu wymuszonego centrowania.

Przed rozpoczęciem obserwacji w punktach kontrolowanych obiektu osadza się pionowo dwusygnałowe tarcze celownicze, natomiast w zaplanowanych miejscach ustawienia instrumentu geodezyjnego (na podstawie projektu sieci kontrolno-pomiarowej) stabilizuje się słupy obserwacyjne (A , B), zaopatrzone w głowice do wymuszonego centrowania i posiadające repery robocze (R_A , R_B). Tarcza celownicza posiada minimum dwa sygnały (S_1 , S_2), odległe od siebie o ustaloną odległość d (rys. 2). Na każdym stanowisku pomiarowym, po ustawieniu tachimetru i nawiązaniu na sąsiedni punkt bazy pomiarowej AB , należy wykonać pomiar następujących obserwacji geodezyjnych: kąty pionowe V_1 , V_2 , odległości przestrzenne D_p , D_2 , D_{AB} oraz kierunki poziome H_{z_B} , H_{z_1} i H_{z_2} (odpowiednio do tarczy B i sygnałów S_1 i S_2). Na podstawie analizy wykonanych obserwacji ustala się, czy nastąpiło przemieszczenie punktu sygnalizowanego tarczą oraz określa się jego charakter.

W drugim sposobie, do pomiaru poprzecznych przesunięć punktu kontrolowanego (reprezentowanego przez dwusygnałową tarczę celowniczą), wykorzystuje się stół mikrometryczny sprzęgnięty z instrumentem geodezyjnym. W tym celu głowica słupa po-

winna umożliwić powtarzalne ustawienie stolika mikrometrycznego, tak żeby oś śruby mikrometrycznej (kierunek przesuwu stolika) była prostopadła do kierunku celowej na dany punkt kontrolowany.

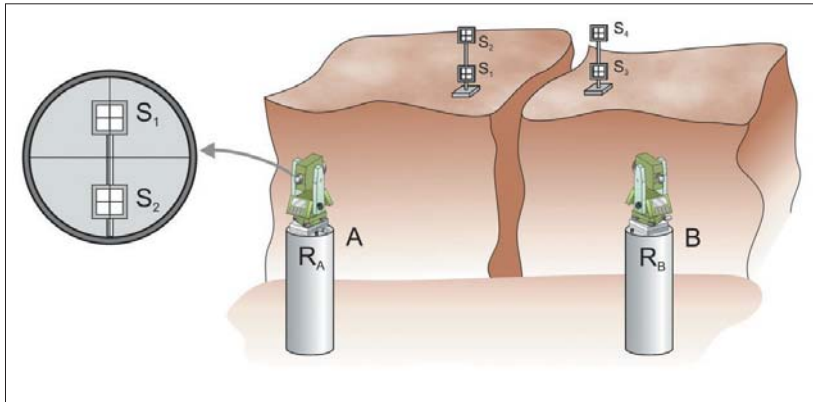


Rys. 2. Istota pomiaru przemieszczeń z użyciem dwusygnałowej tarczy celowniczej
Fig. 2. The essence of displacement measurement using double signals target plate

W celu pomiaru przemieszczenia tarczy celowniczej z użyciem stolika mikrometrycznego (druga metoda pomiaru) należy, w pierwszej kolejności, odłożyć wartość kąta nawiązania z pomiaru wyjściowego i wykorzystując śrubę mikrometryczną oraz leniwkę koła pionowego, naprowadzić krzyż kresek najpierw na sygnał S_1 , a później na S_2 i wykonać kolejno obserwacje: kąta pionowego V_1 i odległości D_1 , a następnie kąta pionowego V_2 i odległości D_2 . Wykonane obserwacje geodezyjne i odczyty ze śruby mikrometrycznej pozwalają określić na podstawie znanych wzorów przemieszczenia poziome i pionowe oraz pochylenie tarczy dwusygnałowej, która reprezentuje zachowanie się badanego obiektu.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat rozmieszczenia dwóch punktów kontrolowanych (1 i 2) reprezentujących badany obiekt, na których zastabilizowano dwusygnałowe tarcze celownicze oraz bazę pomiarową (AB) wraz z reperami R_A i R_B . Na punktach A i B ustawione są dwa tachimetry, które umożliwiają wykonanie niezależnych obserwacji geodezyjnych i pomiary śrubą mikrometryczną zgodnie z rysunkiem 2. Stanowiska obserwacyjne powinny być zlokalizowane poza zasięgiem oddziaływania obiektu i umożliwić realizację właściwej geometrii wcięcia kątowno-liniowego w przód do punktów kontrolowanych.

W zaprezentowanej metodzie pomiarów nawiązaniem kierunkowym może być odległy cel lub drugi punkt bazy sygnalizowany tarczą umieszczoną na zastabilizowanym słupie pomiarowym (rys. 2). Na badanym obiekcie w punktach kontrolowanych stabilizowane są dwusygnałowe tarcze celownicze, których położenie wyznacza się w kolejnych cyklach obserwacyjnych w odniesieniu do pierwszego cyklu (pomiar wyjściowy). Zaprezentowany zestaw pomiarowy umożliwia wyznaczenie położenia sygnałów celowniczych na podstawie pomiarów kątowych i niezależnie wykonanych pomiarów liniowych stanowiska instrumentu z użyciem stolika mikrometrycznego.



Rys. 3. Przykład pomiaru przemieszczeń dwóch punktów kontrolowanych z użyciem dwusygnałowych tarcz celowniczych z bazy pomiarowej

Fig. 3. Example of two controlled points displacement measurement using double signals target plates from measuring base

Kolejno na rysunkach 4–7 przedstawiono przykłady wyznaczenia przemieszczenia punktu kontrolowanego reprezentowanego przez dwusygnałową tarczę celowniczą w zależności od zachowania się obiektu w okresie od pomiaru wyjściowego (t_0) do pomiaru aktualnego t_1 . Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych obserwacji można ustalić zachowanie się obiektu i określić rodzaj zaistniałego przemieszczenia – przesunięcie i obrót.

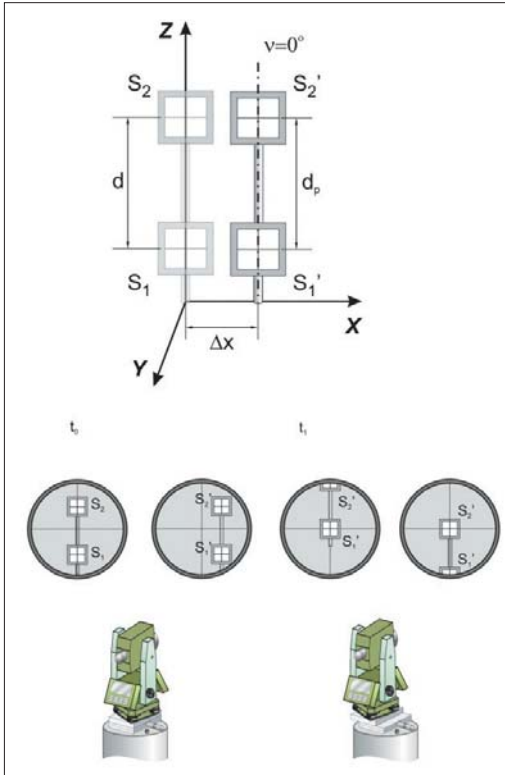
Na rysunku 4 przedstawiono przesunięcie poziome kontrolowanego punktu obiektu, reprezentowanego tarczą celowniczą, w kierunku prostopadłym do osi celowej instrumentu. Przy takim przesunięciu dwusygnałowej tarczy celowniczej (w czasie t_0 – t_1), wyznaczona na podstawie obserwacji odległość d_p , pomiędzy sygnałami S_1 i S_2 , powinna być równa odległości pomierzonej bezpośrednio d oraz sygnały S_1' i S_2' powinny pokrywać się z pionową kreską krzyża instrumentu geodezyjnego.

W celu wyznaczenia wektora przesunięcia Δx (klasyczna metoda pomiaru) należy naprowadzić krzyż kresek na dolny sygnał celowniczy S_1 z użyciem leniwki kół poziomego Hz i pionowego V geodezyjnego instrumentu kątomierczego. Na podstawie pomierzonych odległości D_1 i D_2 oraz wyznaczonej wartości różnic kierunków poziomych zaobserwowanych podczas pomiaru wyjściowego i aktualnego wyznacza się wartość liniową przesunięcia Δx sygnałów tarczy celowniczej.

Drugi sposób wyznaczenia przesunięcia Δx występującego na obiekcie podlegającym pomiarowi polega na pomiarze tego przesunięcia za pomocą stolika mikrometrycznego. W tym celu należy, posługując się śrubą mikrometryczną (i leniwką ruchu pionowego lunety), naprowadzić krzyż kresek kolejno na widoczne sygnały celownicze S_1' i S_2' . Po naprowadzeniu trzeba wykonać odpowiednie odczyty na podziale śruby mikrometrycznej i na ich podstawie wyznaczyć przesunięcie Δx .

Na rysunku 5 przedstawiono pochylenia obiektu reprezentowanego przez dwusygnałową tarczę celowniczą w płaszczyźnie pionowej prostopadłej do osi celowej instrumentu. Przy pochyleniu dwusygnałowej tarczy celowniczej (w czasie t_0 – t_1) w płaszczyźnie pionowej prostopadłej do osi celowej instrumentu wyznaczona na podstawie obserwacji

odległość d_p , pomiędzy sygnałami S_1 i S_2 , powinna być równa odległości pomierzonej bezpośrednio d . Kąt pochylenia tarczy v oblicza się na podstawie znanych zależności trygonometrycznych według wyznaczonego wzajemnego przesunięcia sygnałów celowniczych dx_p oraz przy założeniu, że odległość $d_p = d$.

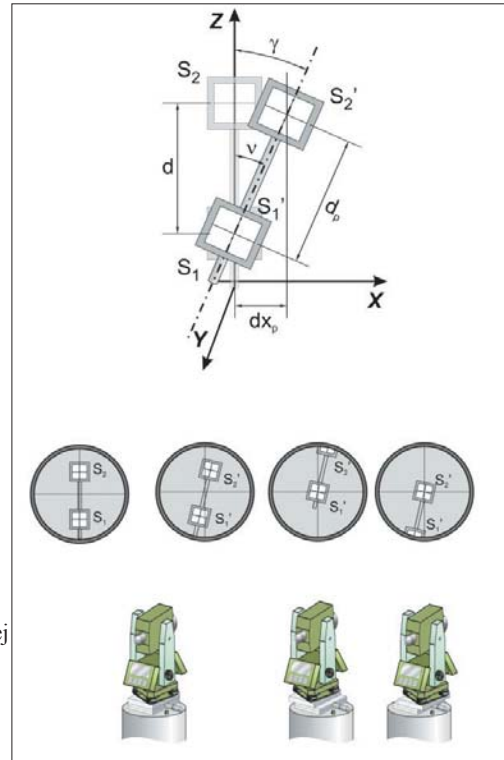


Rys. 4. Przykład wyznaczenia przemieszczenia obiektu w płaszczyźnie poziomej w kierunku poprzecznym do osi celowej instrumentu

Fig. 4. Example of determine the object displacement in a horizontal plane, in a direction transverse to the instrument line of sight

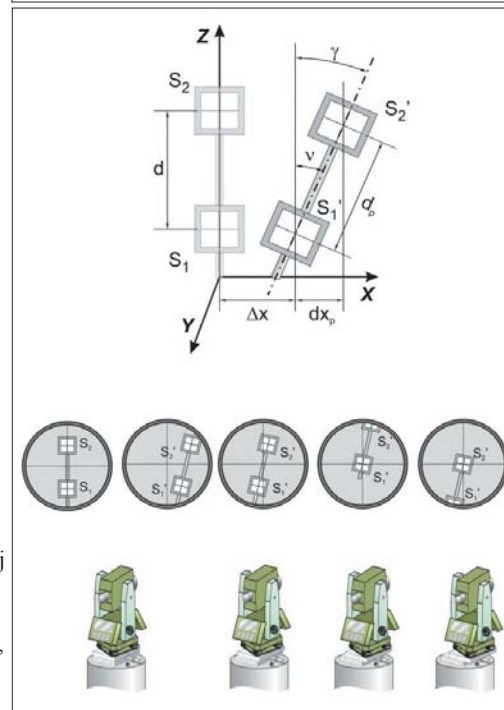
Na rysunku 6 przedstawiono przesunięcie i pochylenie obiektu reprezentowanego przez dwusygnałową tarczę celowniczą w płaszczyźnie pionowej prostopadłej do osi celowej instrumentu. Przy przesunięciu i pochyleniu dwusygnałowej tarczy celowniczej (w czasie t_0-t_1) w płaszczyźnie pionowej prostopadłej do osi celowej instrumentu przesunięcie Δx , składową wektora pochylenia tarczy dx_p i odległość d_p wyznacza się na podstawie wykonanych obserwacji, w opisany powyżej sposób. W tym przypadku wyznaczona odległość d_p pomiędzy sygnałami S_1 i S_2 powinna być również równa odległości pomierzonej bezpośrednio d . Natomiast kąt pochylenia tarczy v oblicza się na podstawie znanych zależności trygonometrycznych według wyznaczonych wzajemnych przesunięć sygnałów celowniczych dx_p oraz przy założeniu, że odległość $d_p = d$.

Na rysunku 7 przedstawiono pochylenie obiektu reprezentowanego przez dwusygnałową tarczę celowniczą w płaszczyźnie pionowej. Przy pochyleniu dwusygnałowej tarczy celowniczej (w czasie t_0-t_1) w płaszczyźnie pionowej wyznacza się na podstawie obserwacji wektory dx_p , dy_p i dz_p , w opisany powyżej sposób. Następnie oblicza się na podstawie zależności trygonometrycznych kierunek α wektora pochylenia oraz składowe kąta pochylenia v (kąty β i γ).



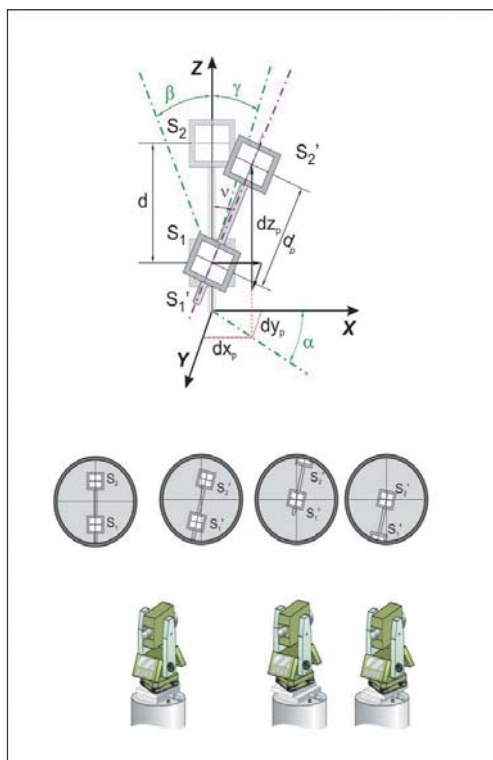
Rys. 5. Przykład wyznaczenia pochylenia obiektu w płaszczyźnie pionowej, prostopadłej do osi celowej instrumentu

Fig. 5. Example of determine the object inclination in a vertical plane, orthogonal to the instrument line of sight

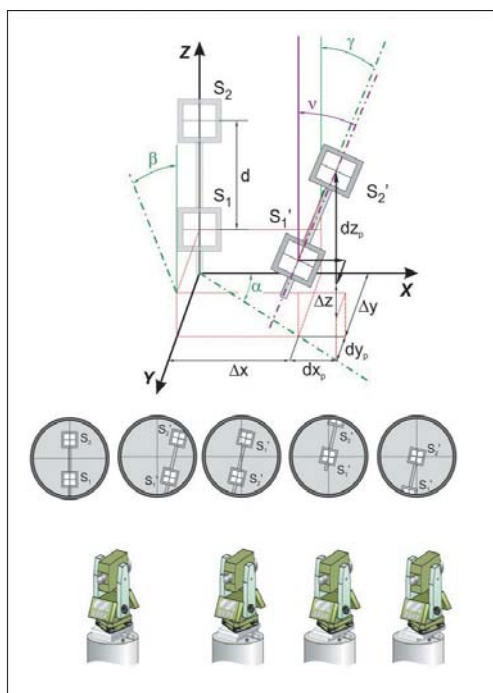


Rys. 6. Przykład wyznaczenia przesunięcia i pochylenia obiektu w płaszczyźnie pionowej prostopadłej do osi celowej instrumentu

Fig. 6. Example of determine the object displacement and inclination in a vertical plane, orthogonal to the instrument line of sight



Rys. 7. Przykład wyznaczenia pochylenia obiektu w płaszczyźnie pionowej
 Fig. 7. Example of determine the object inclination in a vertical plane



Rys. 8. Przykład wyznaczenia przesunięcia i pochylenia obiektu w płaszczyźnie pionowej
 Fig. 8. Example of determine the object displacement and inclination in a vertical plane

Na rysunku 8 przedstawiono najbardziej złożone zachowanie się obiektu, reprezentowanego przez dwusygnałową tarczę celowniczą, który doznał przemieszczenia w płaszczyźnie pionowej Δz przesunięcia w płaszczyźnie poziomej Δx i Δy oraz pochylenia o kąt v w kierunku α .

Przy przesunięciu i pochyleniu dwusygnałowej tarczy celowniczej (w czasie t_0-t_1) w płaszczyźnie pionowej wyznacza się na podstawie obserwacji składowe wektora pochylenia dx_p , dy_p i dz_p , w opisany powyżej sposób. Następnie oblicza się z wykorzystaniem znanych zależności trygonometrycznych kierunek α wektora pochylenia oraz składowe kąta pochylenia v (kąty β i γ). Kontrolą przeprowadzonych pomiarów i obliczeń jest porównanie obliczonej przestrzennej odległości d_p pomiędzy sygnałami S_1 i S_2 z odległością pomierzoną bezpośrednio d .

PODSUMOWANIE

Przedstawione w artykule rozwiązanie może być zastosowane na obiektach przyrody nieożywionej (ostańce, bloki skalne itp.) oraz obiektach inżynierskich wytworzonych przez człowieka (zapory, śluzy, jazy, mury oporowe, monitorowane obiekty budowlane itp.). W założeniach przedstawiona koncepcja pomiaru i oprzyrządowania może wspomagać znane, klasyczne oraz współczesne zautomatyzowane rozwiązania pomiarowe (np. GEOMOS, ALERT).

Zaproponowany sposób pomiaru przemieszczeń i odkształceń obiektu reprezentowanego przez dwusygnałową tarczę celowniczą z użyciem instrumentu zaopatrzonego w stolik mikrometryczny umożliwia, oprócz klasycznego pomiaru metodą wcięć kątowno-liniowych, wykonanie pomiarów kontrolnych drugą niezależną metodą przesunięć liniowych. W tej metodzie przesunięcie punktu kontrolowanego wyznaczane jest na podstawie odczytów wykonanych na podziale śruby mikrometrycznej stolika, zlokalizowanego na stanowisku obserwacyjnym instrumentu geodezyjnego.

W rozwiązaniach szczegółowych zaprezentowany projekt dwusygnałowej tarczy celowniczej może być odpowiednio dostosowany do geometrii obiektu, parametrów techniczno-dokładnościowych instrumentu geodezyjnego i panujących na obiekcie warunków pomiarowych. Dostosowanie to polega na doborze wielkości sygnałów celowniczych i odległości między nimi. W związku z tym długości celowych mogą wynosić od 2 do 150 m. Zastosowane sygnały celownicze mogą występować jako: rysunek tarczy (pomiar bezlustrowy), reflektor zwrotny, rozwiązanie mieszane. W artykule opisano rozwiązanie tarczy dwusygnałowej, natomiast mogą występować również tarcze wielkosygnałowe (3 lub więcej). Zamierzeniem autorów jest, aby tarcza w rozwiązaniu prototypowym była odporna na warunki środowiskowe. Tarcza celownicza może być związana na stałe z badanym obiektem lub w sposób rozłączny mocowana na czas wykonywania pomiarów.

PIŚMIENNICTWO

- Bryś H., Przewłocki S., 1998. Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Cacoń S., 2001. Problem wiarygodności geodezyjnych pomiarów deformacji obiektów inżynierskich w relacji obiekt-górotwór. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, XLVIII (102), 131–142.

- Ćmielewski K., 2007. Zastosowanie technik światłowodowych i laserowych w precyzyjnych pomiarach kształtu i deformacji obiektów inżynierskich. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 551, Rozprawy CCXLVI, Wrocław.
- Ćmielewski K., Gołuch P., Kuchmister J., Wilczyńska I., 2015. The application of optoelectronic set for measuring relative movements of rock blocks. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 12 No. 1 (177), Prague, Czech Republic, 59–66.
- Gocał J., 1993. Metody i instrument geodezyjne w precyzyjnych pomiarach maszyn i urządzeń mechanicznych. Wyd. AGH, Kraków.
- Gołuch P., Ćmielewski K., Kuchmister J., Kowalski K., 2013. The possibility of using close-range mono-photogrammetry in measuring relative displacements of rock blocks. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 10 No. 4 (172), Institute of Rock Structures and Mechanics, Acad. Sci. Czech Republic, Prague, 411–420.
- Janusz W., Smółka M., Kołodziejczyk M., 1973. Katalog znaków i urządzeń pomiarowo-kontrolnych do pomiaru przemieszczeń i odkształceń budowli. IGiK, zeszyt A, Warszawa.
- Katalogi i prospekty firmowe, 2014–2016. GeoMax, Leica, Topcon, Trimble.
- Pelzer H., 1988. Ingenieurvermessung – Deformations-messungen – Massenberechnung. Ergebnisse des Arbeitskreises 6 des Deutschen Vereins für Vermessungswesen (DVW) e.V. Verlag Konrad Witwer, Stuttgart, 192.

CONCEPTION OF PRECISION GEODETIC MEASUREMENTS DISPLACEMENTS OF ANIMATE AND INANIMATE NATURE OBJECTS

Abstract: Most of the natural and engineering objects undergo physical and chemical transformation processes which cause their cracking and displacement. Due to that there is a need for monitoring the use of proper control-measuring devices. In this paper, authors presented the concept of displacement measurements using a measuring system, consisting of a geodetic instrument coupled with a table micrometer and double signals target plate, fixed on the examined object. Test set can be used to monitor the relative displacements and strains: eg. blocks and monadnocks, in the corridors of the caves and in the mine galleries, galleries dams, locks or watergates, etc. The proposed concept of measurement methods and instrumentation, with a micrometric table and double signals target plate, can support already known (classical) as well as modern automated solutions.

Key words: geodetic measuring methods; measuring instruments, target plates

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

Do cytowania – For citation: Ćmielewski K., Gołuch P., Kuchmister J., Jamroz O., 2015. Koncepcja precyzyjnych geodezyjnych pomiarów przemieszczeń obiektów inżynierskich i przyrody nieożywionej. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 14 (3–4), 29–38.