

Bogdan WOLSKI
Politechnika Krakowska

ZESTAW POMIAROWY DO BADAŃ PRZEMIESZCZEŃ LINIOWYCH I DEFORMACJI SPRĘŻYSTYCH

Streszczenie. Zestaw umożliwia obserwację i rejestrację względnych przemieszczeń liniowych. Pomiar wykonywany jest w kilku punktach z błędem względnym 0,001, z maksymalną częstotliwością 1 obserwacji/s. Zbiór wyników zarejestrowany w pamięci urządzenia poddawany jest bieżącej selekcji i analizie. W badaniach procesów deformacji położenie czujników kontrolowane jest metodami geodezyjnymi.

A SURVEY SYSTEM FOR MONITORING OF LINEAR DISPLACEMENTS AND ELASTIC DEFORMATIONS

Summary. The system enables to survey all quantities that can be transformed into relative displacements. Surveys takes place in several points of objects with 0,001 relative error and frequency of less than 1 observation/s. Registered data sets are selected and analyzed. Gauges positions have to be controlled during investigations of the deformation process.

1. APARATURA SPECJALISTYCZNA W SYSTEMACH KONTROLNO – POMIAROWYCH

W badaniach procesu przemieszczeń lub deformacji o doborze metody pomiaru decydują cztery wyróżniki:

– wymiary wyodrębnionej czasoprzestrzeni X_t , w której realizowany jest pomiar,

$$\Delta X_t = |\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta T|^T \quad (1)$$

- zakres zmienności obserwowanych wielkości,

$$\Delta G = |\Delta p, \Delta t|^T \quad (2)$$

$$\Delta p = |\Delta x, \Delta y, \Delta z|^T$$

- prędkość przebiegu procesu,

$$G_t = \partial G / \partial t \quad (3)$$

- wymagana dokładność obserwacji,

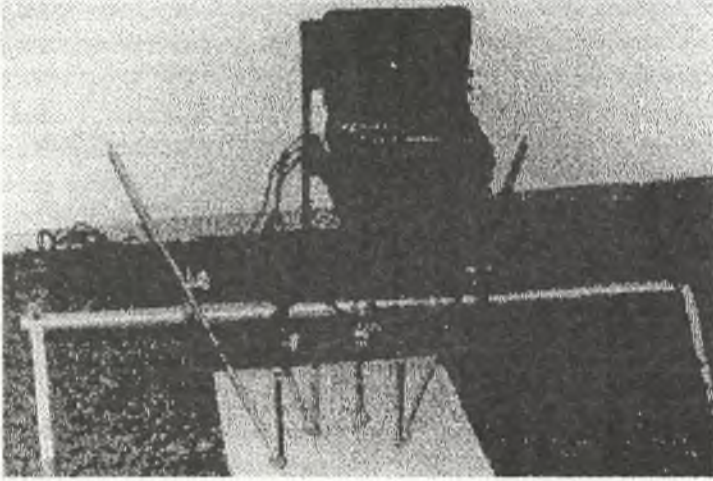
$$\sigma_{\Delta G} = |\sigma_1, \sigma_t|^T \quad (4)$$

$$\sigma_1 = |\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z|^T$$

Gdy elementy czasoprzestrzeni X , mierzone są w dziesiątkach lub setkach metrów, a proces jest wolnozmienny, tylko geodezyjne techniki pomiarowe dają możliwość uzyskania zbioru homogenicznego pod względem dokładności. Użyteczność typowych metod geodezyjnych maleje, gdy prędkość przebiegu procesu rośnie. W pewnych przedziałach G_t i wymaganego kroku czasowego Δ_t jedynym rozwiązaniem jest zastosowanie odpowiedniej aparatury.

Jakkolwiek pod względem rozwiązań konstrukcyjnych aparatura specjalistyczna różni się od typowych narzędzi geodezyjnych, to z uwagi na funkcje, jakie pełni w systemach pomiarowo-kontrolnych, została na stałe wpisana w szeroko rozumianą problematykę pomiarową. Rozbudowanie tradycyjnego instrumentarium z jednej strony rozszerzyło ofertę usług geodezyjnych, z drugiej przybliżyło perspektywę opracowania technologii ciągłego monitoringu umożliwiającego sterowanie badanym procesem. Osiągnięcia elektroniki i informatyki pozwalają już tworzyć efektywne pod względem dokładnościowym systemy pomiarowe [3,4,5].

Instrumentarium aparatury pomiarowej wzbogacić może zaprezentowany w artykule zestaw GEOSCAN [2]. Miara użyteczności, rekomendującą zastosowanie zestawu w pracach inżynierskich, są jego wielorakie funkcje w czasie pomiaru oraz pozytywne wyniki uzyskane przy testowaniu prototypu (rys. 1).



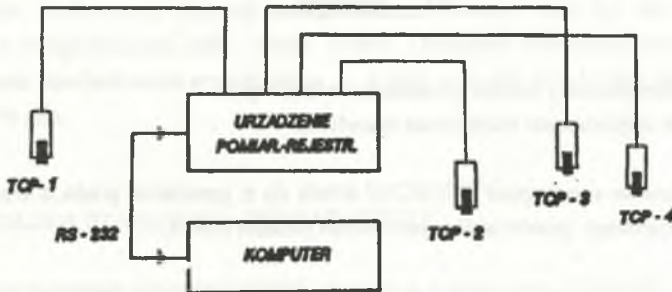
Rys. 1. Prototyp zestawu GEOSCAN

Fig. 1. The prototype of GEOSCAN survey set

2. ZESTAW POMIAROWO – REJESTRUJĄCY GEOSCAN

Główne elementy zestawu przedstawiono schematycznie na rys. 2, są to:

- transformatorowe czujniki przemieszczeń liniowych,
- urządzenie pomiarowo – rejestrujące,
- komputer.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego

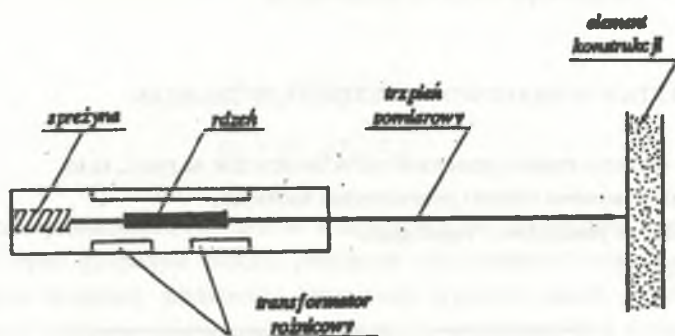
Fig. 2. Survey station diagram

Transformatorowe czujniki przemieszczeń liniowych (TCP), które zastosowano w zestawie, powszechnie wykorzystuje się w badaniach zjawisk statycznych i dynamicznych. Ich konstrukcja oparta jest na zjawisku indukcji różnicowej (rys. 3).

W cylindrycznej obudowie znajduje się transformator różnicowy i rdzeń połączony z przemieszczającym się trzpieniem. Przeszczanie rdzenia względem transformatora generuje sygnał elektryczny w postaci zmiany napięcia prądu. Spośród czujników produkowanych w Polsce można wymienić przykładowo przetwornik przemieszczeń liniowych PSx o zakresie pomiarowym $\Delta_1 \leq 100$ mm oraz PTx o zakresie $\Delta_1 \leq 2$ m.

Ze względu na typowe warunki pomiaru (zakres Δ_1) i wymagania dokładnościowe (σ_1) stawiane przy badaniach procesu deformacji, szczególnie przydatne są czujniki PSx. Istotnym elementem jest również mechanizm sprężynowy, który zapewnia stały kontakt trzpienia z badanym obiektem w każdym położeniu czujnika (rys. 3).

W czujnikach PTx, których główną zaletą jest duży zakres Δ_1 , styk z badanym obiektem utrzymuje ciężar własny trzpienia i rdzenia. Takie rozwiązanie ogranicza pomiar przemieszczeń do kierunku pionowego ($\Delta_1 = \Delta_z$). Każdy z czujników instalowany jest w odległości nie większej niż 200 m od urządzenia pomiarowo-rejestrującego.



Rys. 3. Transformatorowy czujnik przemieszczeń liniowych

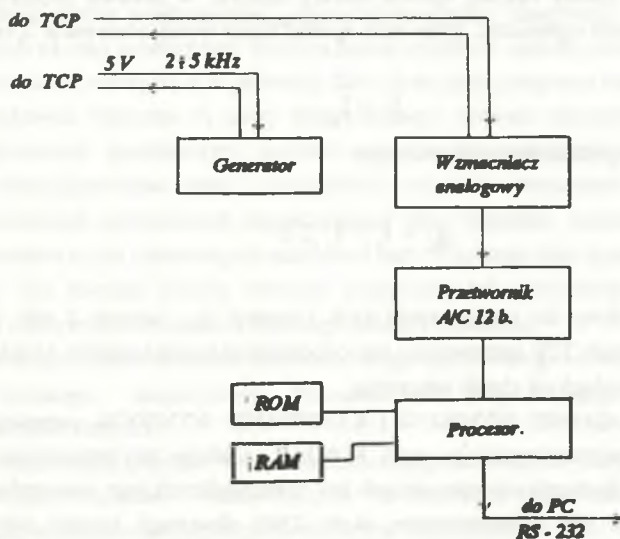
Fig. 3. A linear displacement transformer transducer

Urządzenie pomiarowo-rejestrujące GEOSCAN składa się z: generatora prądu o częstotliwości 5 kHz, bloku analogowego, przetwornika, procesora i pamięci (rys. 4).

Blok analogowy przetwarza sygnał wyjściowy, jakim jest zmiana napięcia, na możliwy do pomiaru sygnał analogowy. Przetwornik analogowo-cyfrowy zamienia sygnał analogowy na cyfrowy z 12-bitową rozdzielczością. Procesor steruje pomiarem zgodnie z programem zapisanym w pamięci ROM i rejestruje wyniki badań w pamięci RAM. Oprogramowanie w module ROM jest wymienne, dostosowane do specyfiki danego zagadnienia. Urządzenie

zasilane jest za pomocą akumulatora, który przy pełnym naładowaniu pozwala na ok. 4 godziny monitoringu 4 czujników TCP.

W przygotowywanym obecnie prototypie zestawu liczbę czujników zwiększono do 8 TCP.



Rys. 4. Schemat urządzenia pomiarowo-rejestrującego

Fig. 4. Survey-to-register assembly diagram

Dokładność wyników obserwacji zależy od parametrów zastosowanego czujnika oraz cechowania. Cechowanie, najlepiej autoryzowane, wykonane musi być dla każdego nowego czujnika z uwzględnieniem pętli całego układu. Osiągana dokładność obserwacji mierzona odchyleniem standardowym wynosi: od $\sigma_1 = \pm 0,02$ mm, dla $\Delta_1 \leq 10$ mm do $\sigma_1 = \pm 0,1$ mm, dla $\Delta_1 \leq 100$ mm.

3. OBSŁUGA STANOWISKA POMIAROWEGO

Włączenie zestawu uruchamia MENU główne, a w nim opcje: POMIAR, PRZEGLĄDANIE WYNIKÓW, KASOWANIE WYNIKÓW, ZEGAR. W opcji POMIAR ustalamy:

- sposób rejestracji przemieszczeń,
- krok czasowy Δt_{min}
- które z kanałów pomiarowych mają być aktywne.

Obserwacje wykonywane są pierścieniowo i rejestrowane w sekwencji TCP1, TCP2, TCP3, TCP4, TCP1, TCP2 itd. Zadany krok czasowy Δt_{\min} stanowi różnicę pomiędzy TCP1 w „pierwszej” i w „drugiej” serii odczytów. W przypadkach gdy nie ma potrzeby rejestracji całego zbioru $\{l_i\}$, należy określić sposób selekcji danych. W zestawie problem rozwiązano poprzez wprowadzenie ograniczeń, które musi spełnić każdy wynik obserwacji. Z reguły:

$$l_i \geq l_{gr} \quad (4)$$

co można zapisać w postaci ogólnego warunku:

$$g_j = l_i - l_j \leq 0 \quad (5)$$

Minimalny możliwy do zrealizowania krok czasowy Δt_{\min} wynosi 1 sek. W zależności od liczby podłączonych TCP uaktywniana jest odpowiednia liczba kanałów. Urządzenie zaczyna pracować po 2 sekundach od chwili włączenia.

Opcje PRZEGLĄDANIE WYNIKÓW i KASOWANIE WYNIKÓW pozwalają na wtórna, niezależnie od zaprogramowanej w opcji POMIAR, selekcję zarejestrowanych obserwacji, głównie usuwanie zbędnych zbiorów danych lub poszczególnych jego elementów. W pamięci urządzenia możliwe jest zarejestrowanie około 2500 obserwacji (numer sekwencji, czas, przemieszczenie). Dane są przesyłane do komputera w formacie CDF (comma and delimited file), wg którego dane tekstowe podawane są w cudzysłowie, liczby oddzielone przecinkami. Format CDF jest czytany przez wszystkie arkusze kalkulacyjne (LOTUS, QUATRO, EXCEL).

W opcji ZEGAR podane są informacje o rzeczywistym czasie dokonania pomiaru.

Przewidziana w zestawie możliwość podłączenia komputera rozwiązuje problem archiwizowania i analizy dużych zbiorów obserwacji (rys. 2).

4. ZASTOSOWANIA W POMIARACH INŻYNIERSKICH

Pomiar deformacji podłoża gruntowego w czasie próbnych obciążeń

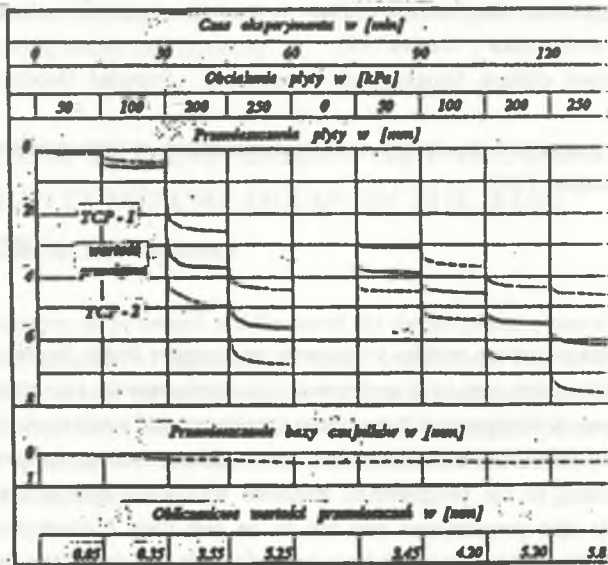
Badania podłoża gruntowego metodą próbnych obciążeń polegają na obserwacji przemieszczeń pionowych płyty o średnicy ok. 30 — 50 cm obciążanej narastająco od 50 kPa do 400 kPa. Czas obciążania i obserwacji zależy od rodzaju badanego ośrodka gruntowego i waha się w przedziale od 2 do kilkudziesięciu godzin.

Rozpiętość przemieszczeń jest znaczna, od kilku milimetrów, gdy grunt jest zagęszczony, do kilkudziesięciu w przypadku gruntów luźnych lub spoistych. Stosowane przez długi czas geodezyjne metody obserwacji oparte na niwelacji geometrycznej, w ostatnich latach zastąpiono czujnikami. Zastosowanie czujników okazało się efektywne z uwagi na koszt i dokładność, ma jednak i słabe strony. Po pierwsze, w miarę wzrostu obciążenia podłoże może osiadać lub ulec wypiętrzeniu również w sąsiedztwie płyty, a więc w miejscach zamocowania bazy

czujników [1]. Po drugie, płyta w czasie badania często przemieszcza się nierównolegle. Ponieważ wyeliminowanie przyczyn zniekształcenia obrazu zjawiska deformacji jest trudne lub wręcz niemożliwe, jedynym rozwiązaniem jest stosowanie metod korygujących wyniki pomiaru. Wpływ przechyłu można wyeliminować poprzez równoczesne obserwacje 3 — 4 czujników rozmieszczonych na całej powierzchni. Większa liczba czujników nakłada jednak na obserwatora trudną do utrzymania, szczególnie w pierwszej fazie, dyscyplinę programu badań. W kontekście takich uwarunkowań widoczne są zalety elektronicznego systemu odczytywania i rejestracji. Sterowanie procesem pomiarowym pozwala na dowolne zagęszczenie obserwacji bez uciążliwego dyscyplinowania czasu i dokładności odczytów. Automatycznie wykonywany pomiar przemieszczeń traktowanych konsekwentnie jako względne, pozwala obserwatorowi na skoncentrowanie się na obserwacjach stabilności bazy. Położenie bazy wystarczy obserwować co 30 — 60 min stosując metodę niwelacji precyzyjnej lub hydrostatycznej w zależności od potrzebnej dokładności dowiązania lokalnego układu odniesienia.

Pomiar dowiązać należy do znaku wysokościowego usytuowanego w bezpiecznej odległości od przeprowadzanego eksperymentu. Przemieszczenia bazy korygują wartości osiadań sygnalizowane przez czujniki.

Zakres i technologię pomiaru dobrze ilustruje przykład badania nasypu pod przyczółki wiaduktu autostrady Kraków — Katowice (rys. 5). Niezbędna liczba odczytów dla jednego czujnika w każdym badaniu wynosiła około 50, liczba eksperymentów 68.



Rys. 5. Wyniki pomiaru pionowych przemieszczeń podłoża gruntowego w czasie próbnych obciążeń

Fig. 5. The diagram of soil vertical displacements under test load

Pomiar deformacji belek konstrukcyjnych w czasie próbnich obciążeń

Zasada pomiaru nie odbiega od opisanego wyżej przypadku badań podłoża gruntowego. Zastosowanie zestawu GEOSCAN pozwala na jednoczesny pomiar przemieszczeń elementów w kilku punktach. Kontrola stabilności zamocowania bazy przeprowadzana jest oddzielnie dla każdego czujnika.

Pomiar deformacji sprężystych torów podsuwnicowych

Zastosowanie zestawu daje możliwość zbadania zachowania się toru lub belki w czasie przejazdu mostu suwnicowego. Pomiar przeprowadzany jest w wybranych punktach. Z uwagi na oddziaływanie mostu suwnicowego na całą konstrukcję, dużą trudność może stanowić odpowiednie zamocowanie bazy czujników.

LITERATURA

1. Gil J.: Zastosowanie metody geodezyjnej do badań odkształceń podłoża gruntowego. Konferencja naukowo-techniczna: Geodezja budowl i środowiska, Rynia 1993, s.12-17.
2. Jarosz M.: Opis podstawowych funkcji urządzenia GEOSCAN, Kraków 1993 (maszynopis).
3. Latoś S., Rodzyńkiewicz J.: Kierunki rozwoju aparatury do kontroli przemieszczeń budowli lub ich elementów. Konferencja: „Stan i kierunki rozwoju aparatury geodezyjnej i monitoringu środowiska”, Turawa 1993.
4. Majde A.: Nowe oblicze fotogrametrii dynamicznej. „Przegląd Geodezyjny”1992, nr 6, s. 10-13.
5. Pelzer H.: Ingenieurvermessung, Deformationmessungen, Massenberechnung, Verlag K. Wittwer, Stuttgart 1988.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Henryk Bryś

Abstract

GEOSCAN survey system enables to measure and register linear displacements and other mechanical quantities that can be transformed into displacements e.g. elastic deformations. The set is composed of displacement transformer transducers and a survey-to-register assembly. A computer can be also included in field for control and monitoring purposes. Displacements survey run according to the programmed sequence with 0.001 relative error. A frequency of observations is also programmed and has to be less than 1 observation/s. Results are registered in assembly RAM memory and can be analyzed in real time. Data sets of great power have to be transmitted to computer. In the paper it has been shown how the set works in survey system that includes other geodetical methods. It has been presented the example of soil investigation by means of test loading.