

ŚRODOWISKO

CZASOPISMO TECHNICZNE  
TECHNICAL TRANSACTIONS  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

WYDAWNICTWO  
POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

2-Ś/2011  
ZESZYT 6  
ROK 108  
ISSUE 6  
YEAR 108

GRZEGORZ MIREK\*

## AUTOMATYZACJA WYZNACZANIA PRZEMIESZCZEŃ WZGLĘDNYCH W OBRĘBIE SZCZELIN DYLATACYJNYCH

### AUTOMATION OF DETERMINING THE RELATIVE DISPLACEMENTS ALONG THE EXPANSION JOINTS

#### Streszczenie

W artykule zaprezentowano prototyp urządzenia umożliwiającego zdalny oraz ciągły pomiar przemieszczeń względnych zachodzących pomiędzy elementami obiektu budowlanego, oddzielonych od siebie szczeliną dylatacyjną. Przedstawiono zasadę jego działania, konstrukcję oraz wyniki wstępnych testów laboratoryjnych.

*Słowa kluczowe: pomiar przemieszczeń względnych*

#### Abstract

The paper describes a prototype of a device that enables remote and real-time measurement of relative displacements between structure elements separated by expansion joint. Working principle, construction and results of a laboratory testing were presented.

*Keywords: relative displacements measurement*

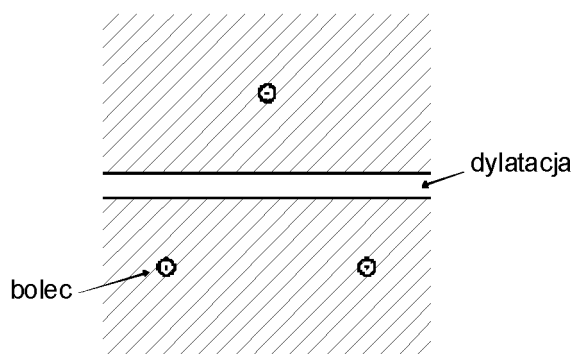
\* Dr inż. Grzegorz Mirek, Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Monitoring przemieszczeń względnych stanowi jeden z wielu wymogów bezpieczeństwa w przypadku obiektów inżynierskich, których eksploatacja wiąże się z dużym ryzykiem zarówno dla nich samych, jak i dla ich otoczenia. Jedną z popularniejszych metod wyznaczania przemieszczeń względnych pomiędzy elementami strukturalnymi obiektu jest okresowa kontrola odległości pomiędzy bolcami trwale zainstalowanymi w pobliżu krawędzi szczelin dylatacyjnych. Metoda ta stosowana jest powszechnie na polskich obiektach hydrotechnicznych, gdzie ze względu na stosunkową powolność zachodzących procesów, będących źródłem przemieszczeń, pomiary okresowe są wystarczające. Poniższy artykuł prezentuje prototyp urządzenia pozwalającego na automatyczne wyznaczanie wartości przemieszczeń względnych w trybie *real time*.

## 2. Konstrukcja i zasada działania aparatu

Prototyp składa się z dwóch ramion połączonych biegunem, wzdłuż których zamocowane są hallotronowe czujniki przemieszczeń liniowych [4]. Na końcach ramion oraz współosiowo na biegunie znajdują się ułożyskowane tuleje, przy pomocy których urządzenie mocowane jest na trzech bolcach pomiarowych. Bolce te zwykle rozmieszczone są w wierzchołkach trójkąta w odległości 254 mm od siebie, w ten sposób, aby jeden jego bok był równoległy do szczeliny dylatacyjnej (rys. 1) [2]. Zmieniając długość ramion urządzenia oraz wprowadzając odpowiednią korektę stałych C1 oraz C2 (1.1), można je dostosować do dowolnej konfiguracji bolców pomiarowych.



Rys. 1. Rozmieszczenie bolców do wyznaczania przemieszczeń względnych wzdłuż szczeliny dylatacyjnej  
Fig. 1. Location of the gap gauge bolts along expansion joints

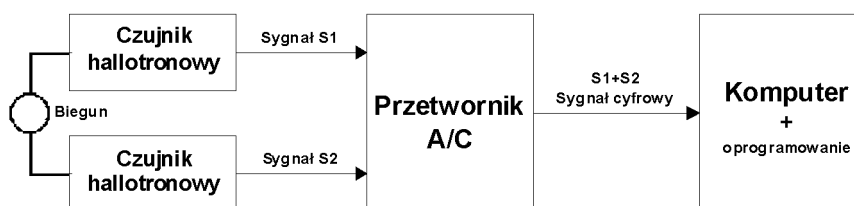
Zastosowane czujniki hallotronowe pozwalają na precyzyjny pomiar zmian odległości w zakresie 25 mm na każdym z ramion urządzenia, z błędem średnim  $\pm 0,02$  mm [5]. Sygnały analogowe z czujników zamieniane są na postać cyfrową za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego podłączonego do komputera. Tam w oparciu o charakterystykę czujników wyznaczoną w procesie ich kalibracji, przeliczane są na wartości liniowe  $D1$  oraz  $D2$ , które stanowią długości boków trójkąta.

$$D1 = C1 + S1$$

$$D2 = C2 + S2$$
(1)

gdzie:

$C1, C2$  – stałe czujników,  
 $S1, S2$  – odczyty czujników.



Rys. 2. Schemat aparatu do pomiaru przemieszczeń względnych  
 Fig. 2. A scheme of the device for relative displacements measurement

Biorąc pod uwagę czułość czujników hallotronowych, należy zapewnić wystarczającą rozdzielczość przetwarzania ich sygnału na postać cyfrową [3].

$$LSB = \frac{\Delta V}{2^N}$$
(2)

gdzie:

LSB – wartość przyporządkowana najmniej znaczącemu bitowi w liczbie zapisanej w systemie binarnym (ang. *least significant bit*),

$\Delta V$  – zakres przetwarzanego sygnału analogowego (5 Volt),

$N$  –  $n$ -bitowy przetwornik.

Ze wzoru (2) wynika, że do uzyskania wymaganej rozdzielczości na poziomie 1 mili-Volta niezbędne jest stosowanie co najmniej 12-bitowego przetwornika analogowo-cyfrowego. Wartości przemieszczeń względnych  $\Delta X, \Delta Y$ , składających się na wektor przemieszczenia  $W$  przy stałym boku  $B$ , wyliczane są z następujących wzorów (rys. 3):

$$\Delta X = X_i - X_0$$

$$\Delta Y = Y_i - Y_0$$
(3)

gdzie:

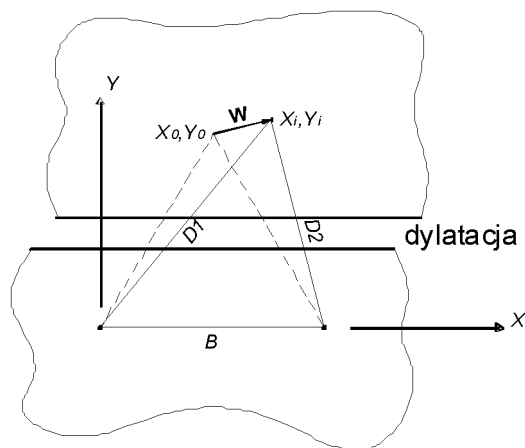
$$X_i = \frac{D1^2 + B^2 - D2^2}{2 \cdot B}$$

$$Y_i = \sqrt{D1^2 - \left( \frac{D1^2 + B^2 - D2^2}{2 \cdot B} \right)^2}$$
(4)

oraz:

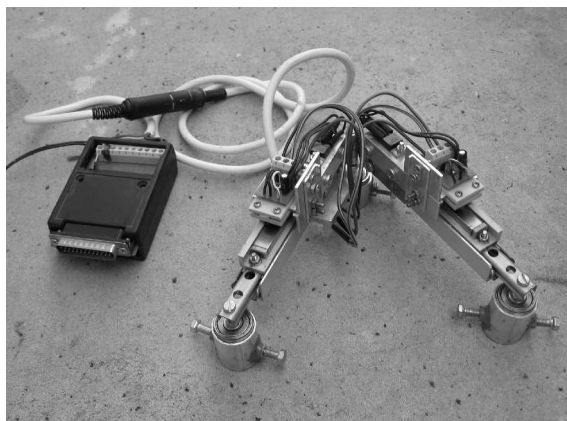
$X_0, Y_0$  – wartości  $X_i, Y_i$  w chwili  $t_0$  przyjęte jako stan wyjściowy.

Wartości przemieszczeń prezentowane na ekranie komputera są uaktualniane co sekundę. Długość boku  $B$ , jako odległość między osiami bolców znajdującymi się po tej samej



Rys. 3. Zasada wyznaczania przemieszczeń względnych  
( $W$  – wektor przemieszczenia)  
Fig. 3. Principle of determining the relative displacements  
( $W$  – displacement vector)

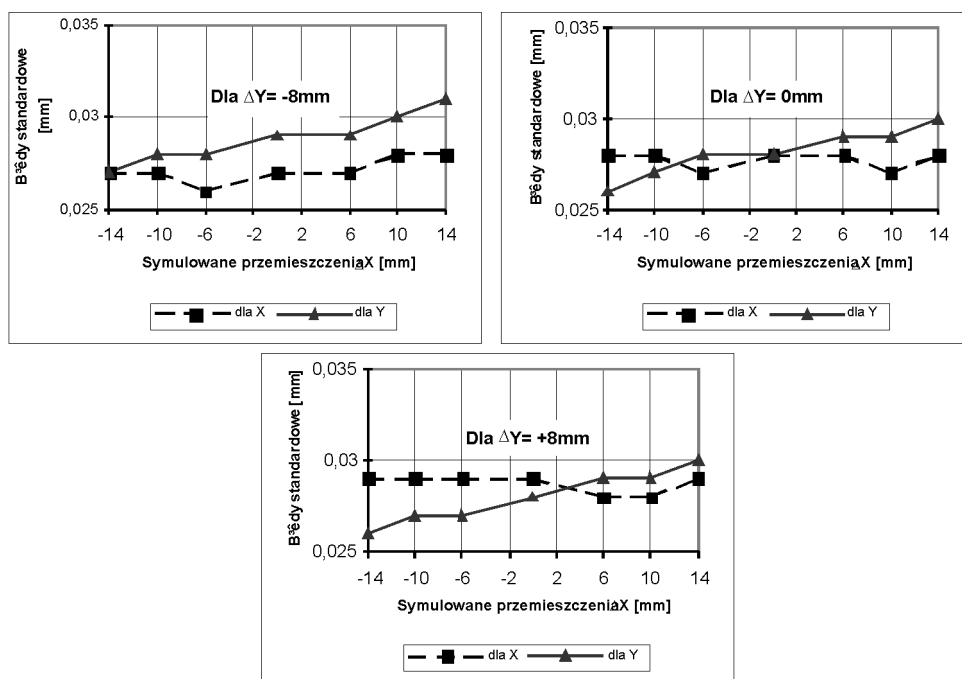
stronie szczeliny dylatacyjnej, jest przyjmowana jako stała bez ujemnego wpływu na dokładność pomiaru. Jego wartość wprowadzana jest do komputera wraz ze stałymi  $C1$  oraz  $C2$ . Przy instalowaniu urządzenia należy zwrócić uwagę na współosiowość jego ułożyskowanych tulei i bolców pomiarowych. Można ją ustalić przy pomocy śrub regulacyjnych znajdujących się przy każdej z tulei. Jest to warunek konieczny, gdyż ewentualny ekscentr będzie przyczyną przekłamywania obliczanych wartości  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ . Zakres pomiarowy zastosowanych w prototypie urządzenia czujników hallotronowych zapewnia pełną swobodę wyznaczania przemieszczeń względnych w zakresie  $\pm 14$  mm dla kierunku osi  $X$  oraz  $\pm 8$  mm dla kierunku osi  $Y$ .



Fot. 1. Prototyp aparatu do pomiaru przemieszczeń względnych  
w obrębie szczelin dylatacyjnych  
Photo 1. A prototype of the device for measuring relative displacements along  
the expansion joints

### 3. Badania laboratoryjne

Urządzenie poddano testom laboratoryjnym mającym na celu stwierdzenie poprawności działania prototypu urządzenia oraz wstępną weryfikację dokładności pomiaru. Podczas badań wykorzystano symulator przemieszczeń, w którym ich wartości ustalane były przy pomocy śrub mikrometrycznych z dokładnością do 0,01 mm [1]. Równocześnie dokonywano ich pomiarów za pomocą zainstalowanego na symulatorze prototypu urządzenia. Na podstawie serii pomiarów wyznaczono błędy standardowe  $\sigma_{\Delta X}$  oraz  $\sigma_{\Delta Y}$  dla 24 różnych wartości przemieszczeń obejmujących cały użyteczny zakres pomiarowy urządzenia. Należy zaznaczyć, że na dokładność pomiarów miały również wpływ: błąd kwantyzacji, błąd przesunięcia zera i skalowania oraz błąd nieliniowości całkowitej i różniczkowej. Występowanie tych błędów związane jest z typem zastosowanego przetwornika sygnału analogowego na sygnał cyfrowy. Stwierdzono, że  $\sigma_{\Delta X}$  i  $\sigma_{\Delta Y}$  nie przekroczyły wartości 0,03 mm, poza jednym przypadkiem na granicy zakresu pomiarowego. Można to uznać za rezultat zadowalający. Docelowo przedmiotowe urządzenie po zainstalowaniu na wybranym obiekcie inżynierskim będzie poddane testom w dłuższym interwale czasowym, co pozwoli precyzyjniej określić jego parametry użytkowe i zweryfikować jego przydatność w praktyce.



Rys. 4. Wielkości błędów standardowych  $\sigma_{\Delta X}$  oraz  $\sigma_{\Delta Y}$  wyznaczonych dla różnych wartości mierzonych przemieszczeń

Fig. 4. Standard errors  $\sigma_{\Delta X}$  and  $\sigma_{\Delta Y}$  determined for different values of displacements

#### 4. Wnioski

Zaprezentowany prototyp urządzenia pozwala na zdalny oraz ciągły pomiar wartości przemieszczeń względnych, co jest szczególnie przydatne w przypadku ich monitorowania podczas piętren próbnych zapór wodnych lub obciążeń próbnych, np. mostów. Wstępne badania laboratoryjne wskazują na jego wysoką dokładność. Proponowane urządzenie można też łatwo zaadoptować do Automatycznych Systemów Technicznej Kontroli Zapór (ASTKZ), w których może stanowić jeden z komponentów pozyskujących dane o kontrolowanym obiekcie.

#### Literatura

- [1] Anigacz W., *Simulator of mutual displacements in hydrotechnical structures*, Materiały VIII Konferencji Naukowo-Technicznej „Aktualne problemy w Geodezji Inżynierskiej”, Reports on Geodesy, Warszawa-Białobrzegi 2007.
- [2] CBSiPBW „Hydroprojekt”, *Budownictwo wodne śródlądowe. Wyposażenie kontrolno-pomiarowe*, Dokumentacja powtarzalna, Warszawa 1975.
- [3] Kulka Z., Libura A., Nadachowski M., *Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.
- [4] Mirek G., *Projekt czujnika przemieszczeń liniowych i jego zastosowanie do wyznaczania zmian położenia drutu wahadła fizycznego*, Materiały XVIII Konferencji Katedr i Zakładów Geodezji na Wydziałach Niegeodezyjnych „Współczesna geodezja w rozwoju nauk technicznych, przyrodniczych i ekonomicznych”, Warszawa–Rogów 4–6.09.2003, 181-188.
- [5] Mirek G., Bryś H., *Hallotronowe czujniki przemieszczeń w systemie pomiarowym do wyznaczania deformacji betonowej sekcji zapory wodnej*, Monografia „Wykorzystanie metod geodezyjnych w ocenie stanu geometrycznego budowli”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008, 37-45.