

Opracowanie prototypowego dylatometru 3D. Badanie jego właściwości metrologicznych

ELŻBIETA WŁOSIŃSKA

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

Dotychczas znane urządzenia do pomiaru przemieszczeń względnych fragmentów obiektu, zwłaszcza budowlanego w strefie szczelin dylatacyjnych i pęknięć mierzą tylko liniowe przemieszczenia, co nie oddaje w pełni stanu obiektu [1]. Przykładowo dylatometry produkowane przez światowe firmy [3], które stanowią jednoosiowe przetworniki przemieszczeń, są montowane końcami do obiektu po dwóch stronach szczeliny i pozwalają na pomiar jedynie zmian jej rozwartości pomijając pomiar przemieszczeń w osiach innych niż zgodnych z osią przyrządu. Dlatego też pomiar wykonywany za pomocą prototypowego dylatometru 3D będzie miał na celu wyznaczenie dowolnych przemieszczeń względnych i ich kierunków fragmentów obiektu. Jednym z ważniejszych zadań wykonanych podczas realizacji przetwornika jest zbadanie jego właściwości metrologicznych.

Słowa kluczowe: dylatometr, przetwornik strunowy, właściwości metrologiczne

1. Wstęp

Dzięki dotychczas znanej aparaturze tensometrycznej można uzyskać tylko pomiar liniowych przemieszczeń (Rys. 1). Konstrukcja takich urządzeń przewiduje instalację na obiekcie badanym za pomocą dwóch zamocowań, jednego nieruchomego względem korpusu urządzenia pomiarowego i drugiego ruchomego [2]. Zamocowanie ruchome połączone jest z elementem czujnikowym za pośrednictwem bolca przesuwne w osi korpusu, natomiast zamocowanie nieruchome połączone jest bezpośrednio z korpusem. Zmiana odległości pomiędzy zamocowaniem ruchomym i nieruchomym powoduje zmianę wartości sygnału wyjściowego urządzenia. Za pomocą takich zamocowań po obu stronach szczeliny do fragmentu obiektu możliwe jest wykonanie pomiaru zmian rozwartości badanej szczeliny, przy jednoczesnym pominięciu przemieszczenia w osiach innych aniżeli oś przyrządu pomiarowego. Dlatego też aby móc uzyskać pomiary przestrzenne zaproponowana została koncepcja nowego przyrządu pomiarowego.



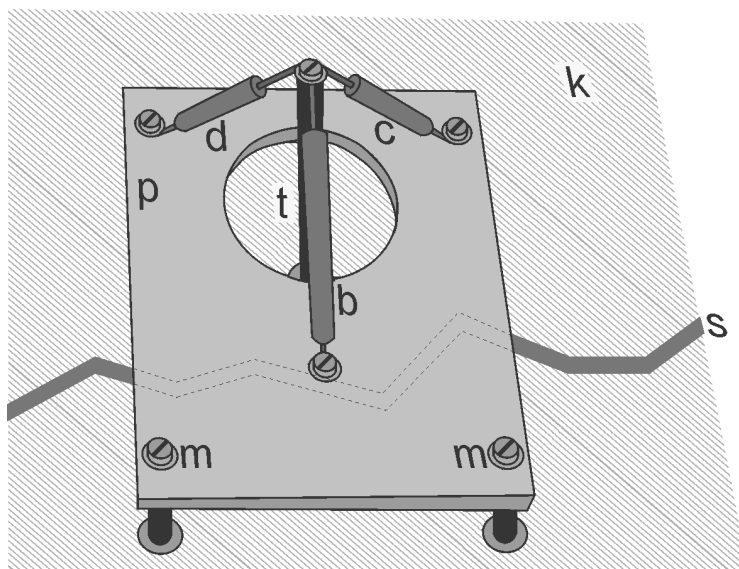
Rys. 1. Jednoosiowy tensometr strunowy firmy Geokon [3]

2. Budowa i sposób pomiaru przemieszczeń względnych fragmentów obiektu za pomocą trzech przetworników

2.1. Prototyp dylatometru 3D – budowa

Modelowy przyrząd do pomiaru przemieszczeń względnych (Rys. 2) fragmentów obiektu składa się z trzech przetworników przemieszczenia, podstawy, trzpienia centralnego oraz obudowy. Podstawa zawiera

trzy zamocowania końców trzech przetworników przemieszczenia. Położone są one w wierzchołkach trójkąta równobocznego tworzącego podstawę ostrosłupa prawidłowego. Pomiędzy tymi zamocowaniami znajduje się trzpień w pionowej osi ostrosłupa, do jednego z jego końców przymocowane są pozostałe końce przetworników, co 120° . W ten sposób przetworniki położone są wzdłuż krawędzi bocznych ostrosłupa o podstawie trójkąta równobocznego, w którego wierzchołkach znajdują się zamocowania związane z podstawą i wierzchołką znajdującego się na osi trzpienia. Podstawa jest mocowana sztywno do fragmentu obiektu z jednej strony szczeliny, a trzpień (wolny jego koniec) do fragmentu obiektu z drugiej strony szczeliny.

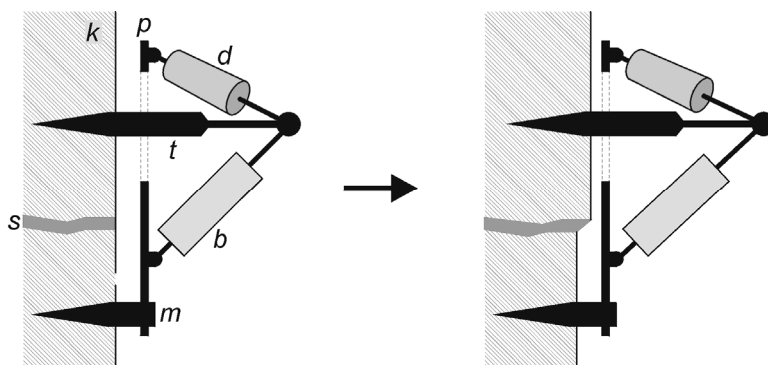


Rys. 2. Schemat dylatometru 3D: p – podstawa przyrządu; m – mocowania podstawy do konstrukcji k; t – trzpień, b, c, d – 3 przetworniki przemieszczeń liniowych; s – szczelina

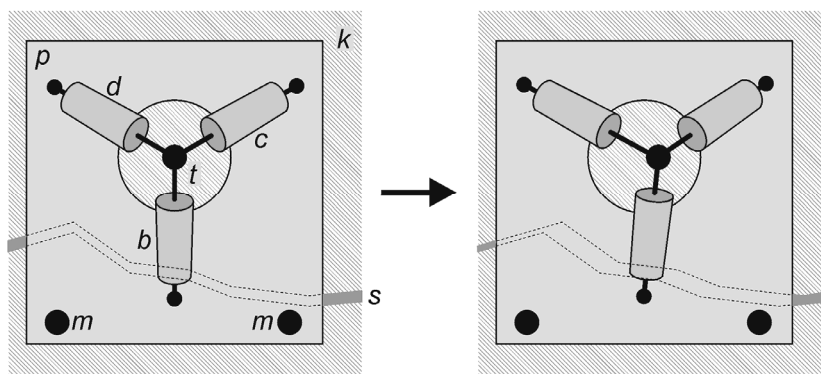
2.2. Sposób pomiaru przemieszczeń względnych

W stanie wyjściowym układ przetworników jest symetryczny, a ostrosłup przez nie tworzony jest ostrosłupem prawidłowym. Trzpień znajduje się w osi prostopadłej do podstawy. Zmiana rozwartości szczeliny, bądź przemieszczenia fragmentu obiektu wzdłuż niej powodują zmianę położenia trzpienia względem podstawy i wydłużenie pewnych przetworników przy skróceniu pozostałych, co powoduje utratę regularności przez wspomniany ostrosłup.

Przemieszczenie względne fragmentów obiektu w płaszczyźnie prostopadłej do podstawy przyrządu powoduje jednakowe wydłużenie lub skrócenie wszystkich przetworników. Pomiar przemieszczeń wykazywanych przez wszystkie przetworniki z osobna pozwala zatem na określenie dowolnych przemieszczeń względnych fragmentów obiektu i ich kierunków. Poniżej przedstawione zostały przykładowe schematy pracy poszczególnych przetworników na skutek zmian rozwartości szczeliny bądź przemieszczenie się fragmentów obiektu względem siebie prostopadle do podstawy przyrządu (Rys. 3-4).

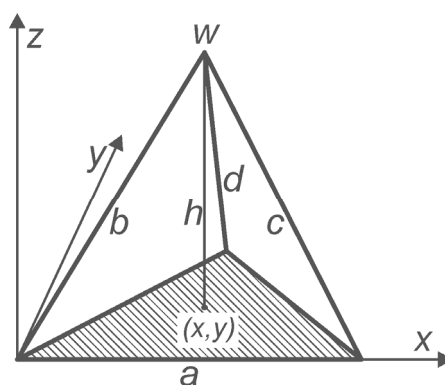


Rys. 3. Przemieszczenie względne fragmentów konstrukcji w kierunku prostopadłym do płaszczyzny podstawy urządzenia i kierunku rozciągłości szczeliny wszystkie przetworniki uległy wydłużeniu



Rys. 4. Przemieszczenie względne fragmentów konstrukcji w kierunku zbliżonym do kierunku rozciągłości szczeliny przetworniki b i d uległy wydłużeniu, a przetwornik c – skróceniu

Teoretyczną podstawą działania dylatometru jest fakt, że położenie przestrzenne wierzchołka ostrosłupa w (Rys. 5) o podstawie będącej trójkątem równobocznym o boku a może być określone za pomocą długości jego krawędzi bocznych b , c i d .



Rys. 5. Zależność położenia przestrzennego wierzchołka ostrosłupa od długości jego krawędzi bocznych

Znając współrzędne (x, y) położenia rzutu wierzchołka w na płaszczyznę x, y i wysokość ostrosłupa h możliwe jest wyliczenie długości krawędzi bocznych b, c, d na podstawie następujących równań:

$$b^2 = x^2 + y^2 + h^2 \quad (1)$$

$$c^2 = (a - x)^2 + y^2 + h^2 \quad (2)$$

$$d^2 = \left(x - \frac{a}{2}\right)^2 + \left(a \frac{\sqrt{3}}{2} - y\right)^2 + h^2 \quad (3)$$

Po przekształceniu tych równań otrzymuje się wartości x, y w zależności od b, c, d , oraz a jako parametru.

$$x = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2a} \quad (4)$$

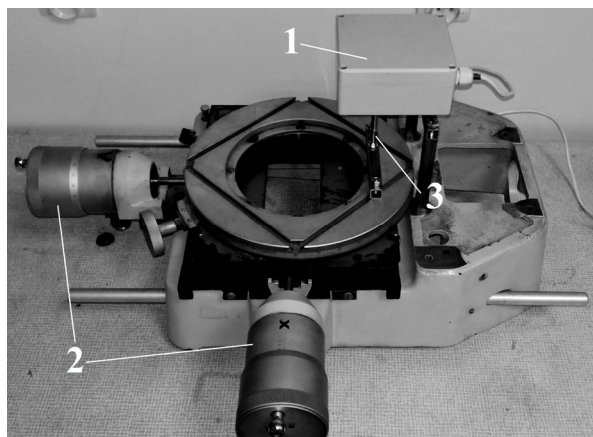
$$y = \frac{a^2 + b^2 + c^2 - 2d^2}{2\sqrt{3}a} \quad (5)$$

Znając wartość x i y , wartość h można wyliczyć z następującego wzoru:

$$h = \sqrt{b^2 - x^2 - y^2} \quad (6)$$

3. Badanie właściwości metrologicznych dylatometru

W celu przeprowadzenia badań właściwości metrologicznych prototypu dylatometru 3D zostało skonstruowane specjalne stanowisko badawcze (Rys. 6), tak by precyzyjnie wykonać pomiar przemieszczenia dla każdego przetwornika. Przesunięcie zadawane jest za pomocą śrub mikrometrycznych dla płaszczyzny X, Y z dokładnością do 0.01 mm, oraz dla płaszczyzny Z za pomocą specjalnej śruby rzymskiej z dokładnością 0,01 mm.

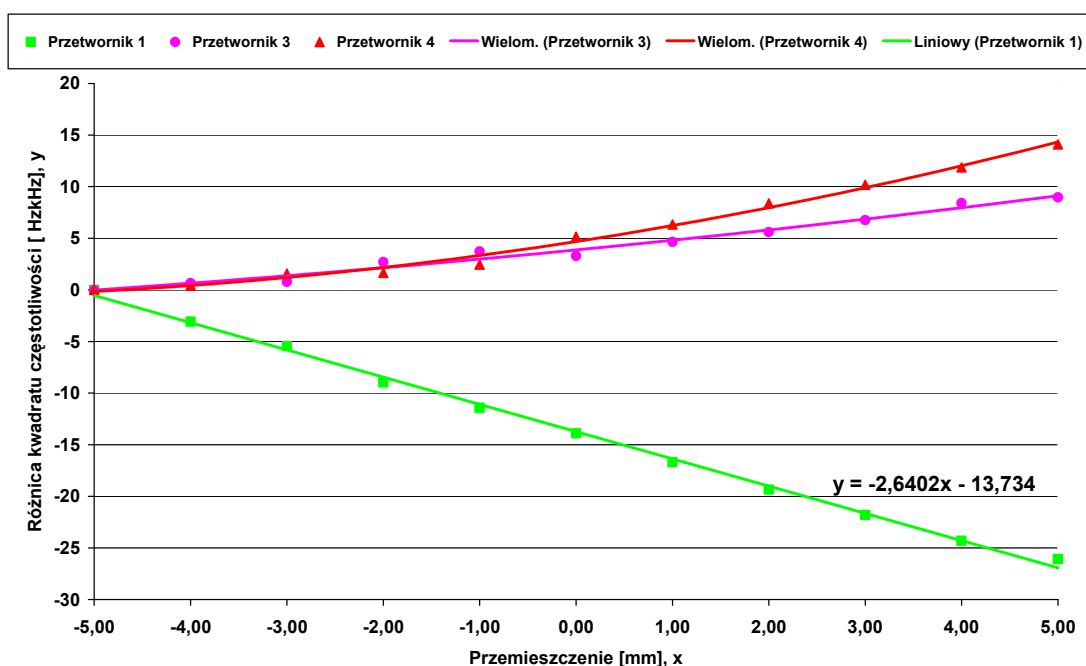


Rys. 6. Układ testujący właściwości metrologiczne dylatometru 3D. 1 – badane urządzenie; 2 – śruby mikrometryczne; 3 – śruba rzymska

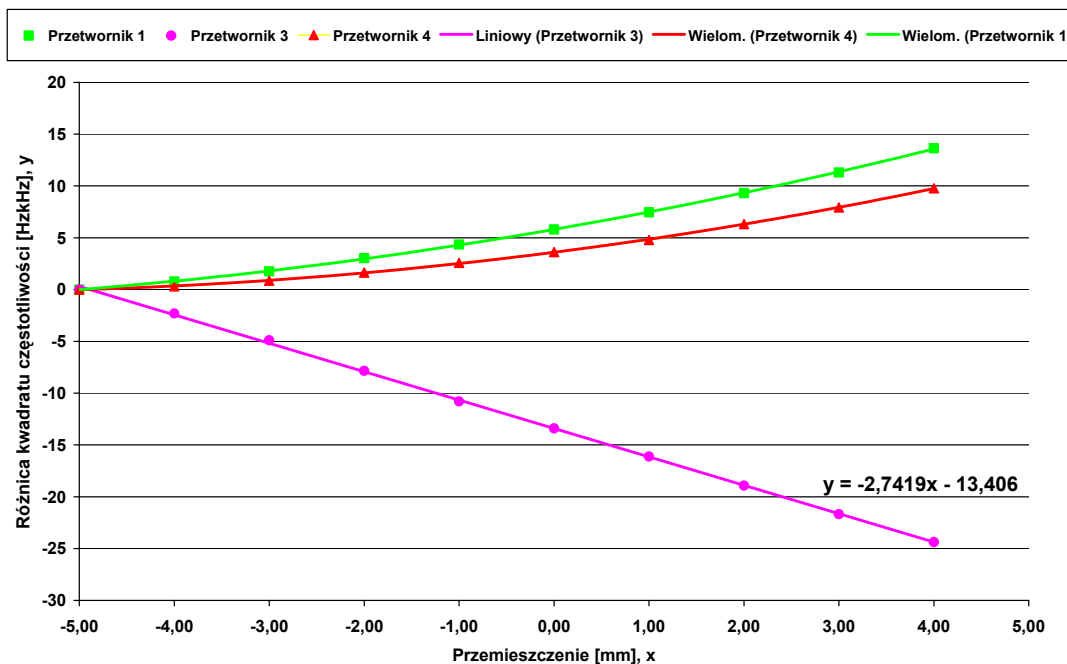
Badanie właściwości metrologicznych zostało przeprowadzone dla każdego przetwornika przemieszczeń z osobna w ten sposób, że przemieszczenie zadawano zawsze w płaszczyźnie wyznaczonej przez oś trzpienia przyrządu i oś przetwornika. W ten sposób przeprowadzono trzy niezależne wzorcowania. Podczas testu przemieszczenie dla poszczególnych przetworników zmieniano od -5 mm do 5 mm.

Jak widać z rysunków (7-9) charakterystyka dla poszczególnych przetworników jest w dobrym przybliżeniu liniowa, o współczynniku liniowym w granicach $(-2,6)$ do $(-2,8)$. Do pomiaru wskazań przetworników przemieszczeń wykorzystano miernik KA – 6D [4].

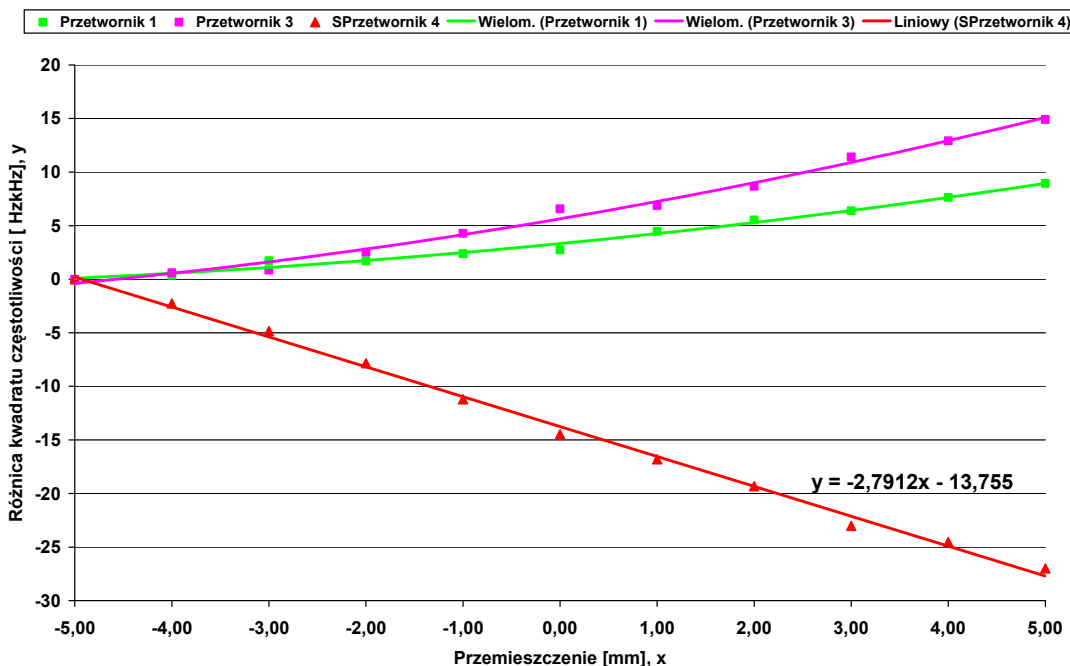
Nic nie stoi na przeszkodzie by móc uznać za obowiązującą liniową zależność przemieszczeń od kwadratu częstotliwości, zwłaszcza, że dopasowanie charakterystyki wszystkich przetworników jest bardzo dobre.



Ry. 7. Wynik testu dylatometru 3D dla przetwornika nr 1



Rys. 8. Wynik testu dylatometru 3D dla przetwornika nr 3



Rys. 9. Wynik testu dylatometru 3D dla przetwornika nr 4

Podsumowanie

Pomiar przemieszczeń wykazywanych przez wszystkie przetworniki nowego przyrządu z osobna pozwala na określenie dowolnych przemieszczeń względnych i ich kierunków fragmentów obiektu. Dzięki temu konstruowany przyrząd jest w stanie wykonywać pomiar w trzech płaszczyznach w przeciwieństwie do istniejących już przetworników przemieszczeń.

Na podstawie eksperymentów można stwierdzić, że nic nie stoi na przeszkodzie, by móc uznać za obowiązującą liniową zależność przemieszczeń od kwadratu częstotliwości, zwłaszcza, że dopasowanie charakterystyki wszystkich przetworników jest bardzo dobre. Badania właściwości metrologicznych urządzenia dowodzą jego przydatności do przewidywanego celu. Dalsze badania będą poświęcone optymalizacji jego parametrów, tak by uzyskać odpowiednie właściwości metrologiczne (stabilność temperaturowa, czasowa).

Praca powstała w 2017 roku w ramach prac statutowych realizowanych w Instytucie Mechaniki Górniczej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Literatura

- [1] Zakład Aparatury Naukowej Uniwersytetu Jagiellońskiego: Polska aparatura strunowa PAS, Katalog, Krajowy System Automatyki i Pomiarów.
- [2] Kanciruk A., 2009: *Urządzenia do pomiarów wielkości mechanicznych i temperatury przy użyciu przetworników rezystancyjnych i przykłady ich zastosowania*. Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, Kraków.
- [3] <http://www.geokon.com/4420>.
- [4] Kanciruk A., 2012: *Metody tensometryczne w badaniach przemieszczeń, deformacji i zjawisk dynamicznych w gruncie i obiektach budowlanych*. Monografia nr 15. Archives of Mining Sciences. Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Górniczej Polskiej Akademii Nauk, Kraków, str. 79.

Implementation of the prototype 3D dilatometer. Analysis of its metrological properties

Abstract

The devices used so far to measure the displacements of the relative fragments of the investigated object, especially a building in the area prone to forming dilatation gaps and cracks, measure only the linear displacement, which does not fully reflect the state of the object. For example globally manufactured dilatometers (single axis displacement transducers*) are attached by the ends on two sides of the gap and allow only the measurement of its width, disregarding the measurement of the displacements along the axes other than those of the instrument. Therefore, the measurement carried out with the prototype 3D dilatometer will aim to determine any of the relative displacements of fragments of objects and their directions. One of the major objectives to attain during the implementation of the previously mentioned transducer is the analysis of its metrological properties.

Keywords: dilatometr, vibrating wire transducer, metrological properties