

# Wykorzystanie innowacyjnego przetwornika przemieszczeń do pomiaru deformacji konstrukcji budowlanej

ELŻBIETA WŁOSIŃSKA

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

## Streszczenie

W pracy zostały przedstawione wyniki pomiarów rozwarłości pęknięcia znajdującego się na jednej ze ścian konstrukcji budowlanej. Wyniki te zostały uzyskane za pomocą innowacyjnego przetwornika przemieszczeń. Wybrane do obserwacji pęknięcie poziome znajduje się na dole ściany. Zakotwiczenia tego przyrządu znajdują się po obu stronach pęknięcia. Przetwornik ten posiada zakres 1,4 mm, przy niepewności pomiarowej  $\pm 0,025\%$ . Celem instalacji przyrządu jest monitorowanie rozwarłości powstałego pęknięcia wskutek osiadania budynku. Dla porównania wyników uzyskanych przez przetwornik zainstalowany został czujnik zegarowy. Z technicznego punktu widzenia, oba przyrządy nie mogą być zainstalowane dokładnie w tym samym miejscu, dlatego też porównanie może być tylko zgrubne, a wyniki pomiarów różne. Dzięki dotychczasowym wynikom pomiarowym można zauważyć podobną tendencję zarówno dla przetwornika, jak i czujnika zegarowego. Na podstawie kilkumiesięcznej obserwacji zachowania się konstrukcji w miejscu powstałej szczeliny, zauważalne są wyraźne zmiany jej rozwarłości.

**Słowa kluczowe:** ekstensometr, tensometr strunowy, dylatometr

## 1. Wstęp

Odształcenia powstające na badanym obiekcie spowodowane są osadzaniem budynku. Budynek ten został wybudowany na podmokłych terenach. Aby zapobiec dalszemu osadzaniu się budynku, zaczęto odpompowywać wodę z gruntów. To z kolei doprowadziło do obniżenia się poziomu wód gruntowych. Na skutek osadzania się obiektu zaczęły pojawiać się pierwsze pęknięcia na ścianach. Żeby zapobiec dalszemu odształcaniu konstrukcji zaczęto wykonywać zastrzyki. Jednakże wstrzykiwany beton zaczął dostawać się do rur kanalizacyjnych, co z kolei spowodowało wypływanie ścieków do gruntu. Kolejnym powodem powstawania pęknięć na budynku jest fakt, że przy wykonywaniu wykopów pod fundamenty, nie dokopano się do rodzimego gruntu i stopy fundamentowe znajdują się na kurzawce. Przy zmniejszaniu się objętości kurzawki stopa fundamentowa nie ma podparcia, dlatego ciągnie w dół ścianę powodując odształcanie konstrukcji. Również wpływ na stan konstrukcji budynku mogły mieć prace wykonywane w ramach budowy kampusu Akademii Górniczo Hutniczej, która znajduje się w bliskim sąsiedztwie badanego obiektu.

## 2. Monitorowanie odształceń konstrukcji

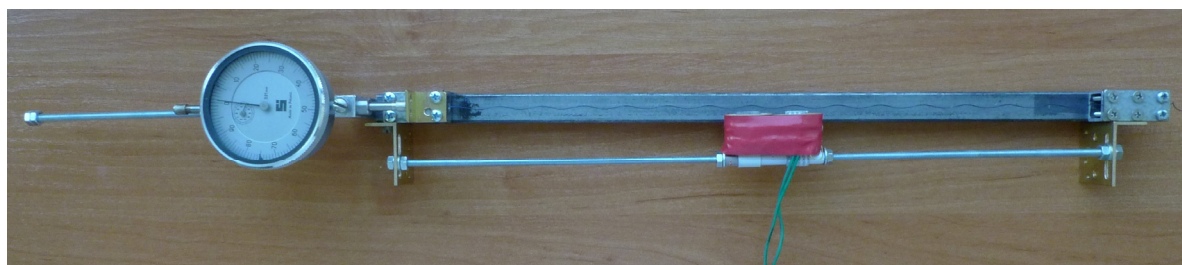
W celu wykonywania pomiarów odształceń konstrukcji budowlanej wykorzystano autorski przyrząd pomiarowy – ekstensometr. Ekstensometr ten jest innowacyjnym przyrządem służącym do pomiarów przemieszczeń względnych. Może być wykorzystany do pomiaru w obrębie szczelin dylatacyjnych lub szczelin spowodowanych utratą ciągłości konstrukcji (pęknięcia, zarysowania).

Koncepcja konstrukcji ekstensometru było zastąpienie czujnikowego elementu sprężystego (struny) drutem uformowanym w sposób falisty. Zastąpienie struny miało służyć zwiększeniu zakresu pomiarowego przyrządu przy jednoczesnym zachowaniu prostoty budowy przetwornika. W strunowych tensometrach struna zamocowana jest bezpośrednio do zakotwień lub za pośrednictwem dodatkowych elementów (np. przekładnia mechaniczna, sprężyna) [1-4]. W pierwszym przypadku, gdzie struna zamocowana jest bezpośrednio do

zakotwień uzyskuje się przetwornik przemieszczeń względnych o niewielkim zakresie pomiarowym. Wynika to z właściwości sprężystych struny. Naprężenie struny, a więc i jej odkształcenie musi być wyższe niż pewna minimalna wartość, aby uzyskać jej prawidłowe drgania. Maksymalne naprężenia struny nie mogą jednak przekraczać jej wytrzymałości na rozciąganie. W praktyce maksymalne naprężenia są niższe ze względu na zjawisko relaksacji. Zakres odkształceń struny przetwornika wynosi około 2 mm na metr, zatem przetwornik o bazie pomiarowej 100 mm będzie posiadał zakres pomiarowy 0.2 mm [7]. Ze względu na niewielki zakres pomiarowy stosowność tego typu przyrządów zostaje więc ograniczona do pomiaru przemieszczeń liniowych (odkształceń) w konstrukcjach litych. Dlatego by móc monitorować odkształcenia konstrukcji, w postaci powstałych szczelin i pęknięć, potrzebny jest przyrząd pomiarowy o większym zakresie. W tym celu, aby zwiększyć zakres pomiarowy wykorzystuje się w konstrukcji urządzenia dodatkowe elementy w postaci przekładni mechanicznej [4] lub sprężyny [8]. Dzięki temu tensometr może być wykorzystywany do pomiarów rozwarości szczelin, pęknięć.

Dla początkowej koncepcji wykonano kilka testów, dzięki którym wyznaczono zakres sprężystości czujnikowego elementu sprężystego. W pierwszej kolejności wyznaczono zakres sprężystości dla drutu uformowanego w sposób falisty bez jego wcześniejszego odpuszczania.

Do zbadania zakresu sprężystości drut uformowany w sposób falisty zainstalowany został na stanowisku badawczym (Rys. 1). Stanowisko to zapewnia precyzyjne zadawanie przemieszczeń w warunkach ustabilizowanej temperatury otoczenia. W skład stanowiska badawczego wchodzi: izolacja cieplna, termometr, układ testujący, który składa się m.in. z: podstawy, mocowania ruchomego i sztywnego, elektromagnesu, czujnika zegarowego, śruby kontrolującej zadawanie przemieszczenia. Do wykonania testu użyto drut, który nie został poddany procesowi odpuszczania.



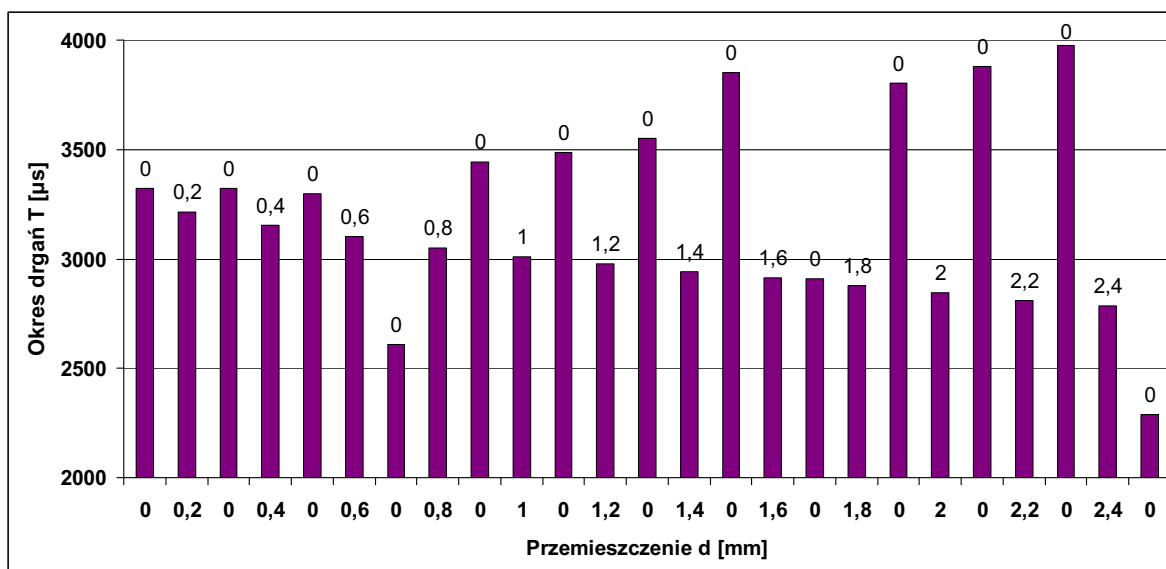
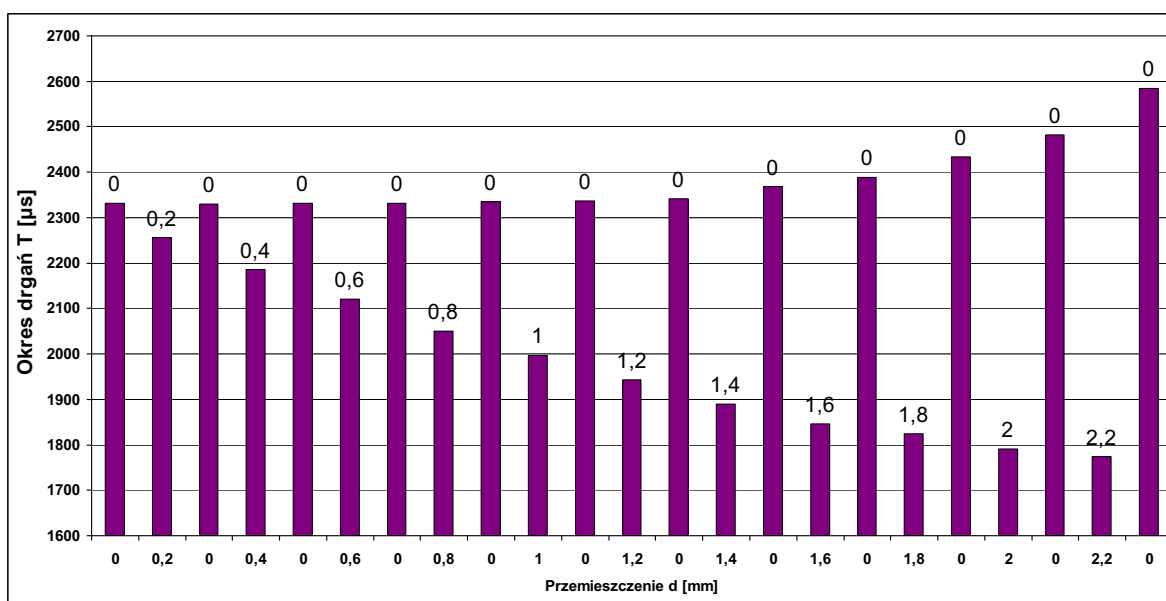
Rys. 1. Układ testujący czujnikowy element sprężysty

W celu wykonania badania, drut został wstępnie napięty i zainstalowany w układzie testującym, gdzie jeden koniec drutu zamontowany został na sztywno do jednego mocowania, natomiast drugi koniec drutu do mocowania ruchomego. Przemieszczenie zadawane było co 0,2 mm za pomocą śruby. Przemieszczenie to było kontrolowane poprzez czujnik zegarowy.

Rysunek 2 przedstawia zależność okresu drgań drutu od przemieszczenia dla drutu uformowanego w sposób falisty bez odpuszczenia. Na ich podstawie można zaobserwować, że wartości okresu drgań drutu ulegają stopniowemu zmniejszeniu się wraz ze wzrostem przemieszczenia. Natomiast dla przemieszczenia wyjściowego (zerowego) wartość nie utrzymuje się na tym samym poziomie, a nawet na poziomie przybliżonym. Dlatego też na tej podstawie można wywnioskować, że drut, który nie został poddany odpuszczaniu nie nadaje się do wykorzystania jako czujnikowy element sprężysty dla przetwornika przemieszczeń o zwiększonym zakresie pomiarowym.

Wcześniejsze badania zakresu sprężystości dla drutu uformowanego w sposób falisty, który nie został poddany procesowi odpuszczania wykazały, iż nie nadaje się do wykorzystania jako czujnikowy element sprężysty. Dlatego też w kolejnej próbie do zbadania zakresu sprężystości został wykorzystany drut uformowany w sposób falisty, który następnie został poddany procesowi odpuszczania w temperaturze 200°C.

Wyniki kolejnej próby wyznaczenia zakresu sprężystości dla drutu falistego odpuszczonego w temperaturze 200°C przedstawia rysunek 3. Na podstawie uzyskanych wyników można zaobserwować, że podobnie jak w przypadku pierwszej próby wraz ze wzrostem przemieszczenia, wartości okresu drgań drutu falistego ulega stopniowemu zmniejszeniu. Jednak dla poziomu wyjściowego (zerowego) wartości okresu drgań drutu utrzymują się na przybliżonym poziomie dla przemieszczenia w przedziale od 0 do 1,4 mm. Zatem dla drutu uformowanego w sposób falisty, odpuszczonego w temperaturze 200°C, zakres sprężystości będzie wynosił 1,4 mm.

Rys. 2. Zależność okresu drgań  $T$  [s] drutu falistego od przemieszczenia  $d$  [mm]Rys. 3. Zależność okresu drgań  $T$  [s] drutu falistego od przemieszczenia  $d$  [mm]

Badania zakresu sprężystości dla drutu uformowanego w sposób falisty, który nie został poddany wcześniejszemu procesowi odpuszczania, wykazały, że nie nadaje się on do wykorzystania, jako czujnikowy element sprężysty. Natomiast drut odpuszczony w temperaturze 200°C nadaje się do wykorzystania jako czujnikowy element sprężysty, a jego zakres wynosi około 1,4 mm.

Dzięki otrzymanym wynikom zauważa się, że drut uformowany w sposób falisty będzie bardzo dobrym rozwiązaniem do wykorzystania, jako czujnikowy element sprężysty dla przetwornika przemieszczeń o zwiększonym zakresie pomiarowym, bez użycia dodatkowych elementów. Zakres pomiarowy dla badanego drutu jest kilkukrotnie większy w porównaniu ze strunowym przetwornikiem przemieszczenia, charakteryzującym się bazą pomiarową o tej samej długości. Zwiększony zakres pomiarowy umożliwi zastosowanie przyrządu do pomiarów przemieszczeń względnych fragmentów budowli w zakresie 1,4 mm.

Koncepcja konstrukcji przyrządu pomiarowego, gdzie jako czujnikowy element sprężysty (w postaci struny) wykorzystano drut falisty umożliwiła skonstruowanie przyrządu pomiarowego. Przyrząd ten posiada bazę pomiarową 250 mm, przy niepewności pomiarowej, 0,025%. Został on wykorzystany do monitorowania rozwartości jednej ze szczelin powstałej na konstrukcji badanego obiektu.

Badana konstrukcja posiada wiele pęknięć i małych szczelin poziomych, jak i skośnych. Poniższe zdjęcia (Rys. 4, 5) przedstawiają przykładowe odkształcenia na ścianach budynku.

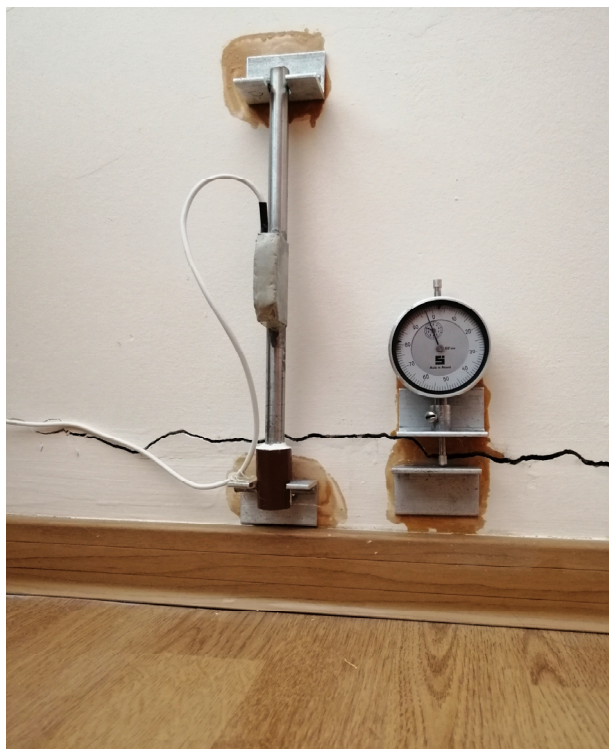
Do pomiarów odkształceń konstrukcji została wybrana szczelina pozioma, znajdująca się nad podłogą, w jednej z pracowni budynku. Charakteryzuje się ona niejednorodną rozwarością, mianowicie zwiększa się jej rozwarość od okna w kierunku drzwi. Poniżej przedstawione zostało zdjęcie (Rys. 6) szczeliny z zamontowanym ekstensometrem, oraz zegarowym czujnikiem przemieszczeń. Który służy do kontrolnego pomiaru rozwarości szczeliny.



Rys. 4. Pęknięcie na ścianie w badanym obiekcie



Rys. 5. Pęknięcie na ścianie w badanym obiekcie

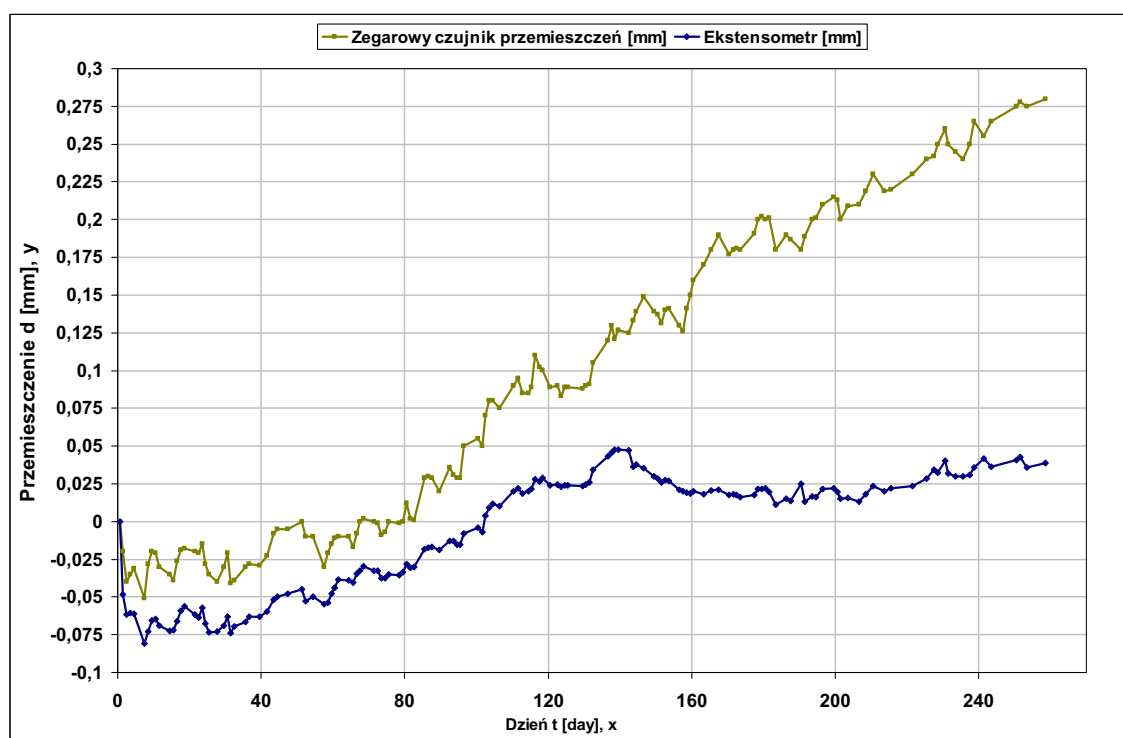


Rys. 6. Ekstensometr i zegarowy czujnik przemieszczeń zamontowany na badanej szczelinie

### 3. Wyniki pomiarowe

Dzięki ekstensometrowi oraz zegarowemu czujnikowi przemieszczeń uzyskano wyniki świadczące o zmianie rozwarości szczeliny. Jednakże z technicznego punktu widzenia nie można zainstalować obydwóch przyrządów w tym samym miejscu, dlatego też uzyskane wyniki będą się od siebie różniły i będą w bardzo

dużym przybliżeniu do siebie podobne. Dodatkowo został zainstalowany termometr, dzięki którym można obserwować zmianę temperatury otoczenia w rejonie szczeliny. Na poniższym wykresie przedstawiono wyniki pomiarów prowadzone od marca bieżącego roku (Rys. 7). Na ich podstawie można zauważyć, że dla całości badanego okresu zmiana rozwartości szczeliny jest dla ekstensometru równa 0,13 mm, a dla zegarowego czujnika przemieszczeń 0,32 mm. Zaobserwować można na podstawie wykresu, że kierunek zmian rozwartości szczeliny do około 140 doby jest taki sam dla zegarowca i ekstensometru, natomiast w pewnym momencie kierunki zmian rozwartości zaczęły być różne. Wynikać to może z większą eksploatacją pomieszczenia, w którym zainstalowane zostały przyrządy pomiarowe.



Rys.7. Wykres zmiany rozwartości szczeliny w czasie oraz temperatury

#### 4. Wnioski

Zmiana koncepcji czujnikowego elementu sprężystego w ekstensometrze przyczyniła się do zwiększenia zakresu pomiarowego do 1,4 mm. Jest to aż 3 krotnie większy zakres od tensometru strunowego o takiej samej bazie pomiarowej.

Zmiana rozwartości badanej szczeliny wynosi według zegarowego czujnika przemieszczeń około 0,32 mm, natomiast dla ekstensometru – 0,13 mm. Różnica ta może wynikać z faktu, że zegarowy czujnik przemieszczeń znajduje się na szczelinie po stronie jej zwiększającej się rozwartości dostrzeganej gołym okiem.

Praca została wykonana w roku 2019 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

#### Literatura

- [1] Geokon: <http://www.geokon.com/4420>
- [2] Gustkiewicz J., Kanciruk A., Stanisławski L.: *Some advancements in soil strain measurement methods with special reference to mining subsidence*. Mining Science and Technology 2 (4), 237-252 (1985).
- [3] Gustkiewicz J., Kanciruk A., Stanisławski L.: *Przetworniki strunowe*. Elektronizacja 1 (1995).
- [4] Gustkiewicz J., Kanciruk A., Stanisławski L.: *Aparatura do pomiarów odkształceń gruntu i jej zastosowanie*. Konferencja Ochrona Środowiska terenów górniczych, (1996).

- [5] Kanciruk A.: *Nowe przetworniki strunowe i ich zastosowanie*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN **11** (1-4), 63-77 (2009).
- [6] Kanciruk A.: *Urządzenia do pomiarów wielkości mechanicznych i temperatury przy użyciu przetworników rezystancyjnych i przykłady ich zastosowania*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu **17** (1-2) (2009)
- [7] Kanciruk A.: *Metody tensometryczne w badaniach przemieszczeń, deformacji i zjawisk dynamicznych w gruncie i obiektach budowlanych*. Monografia nr 15. Archives of Mining Sciences. Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, Kraków 2012.
- [8] Zakład Aparatury Naukowej Uniwersytetu Jagiellońskiego: Polska aparatura strunowa PAS, Katalog, Krajowy System Automatyki i Pomiarów.

## **The use of an innovative displacement transducer to measure deformations of a building structure**

### **Summary**

The paper presents results of measurements of crack width located on one of the walls of a building structure. These results were obtained using an innovative displacement transducer. The anchors of this instrument are located on both sides of the crack. This transducer has a range of 2.5 mm with a measurement uncertainty of  $\pm 0.025\%$ . The purpose of the instrument installation is to monitor the gap of the resulting crack as a result of building subsidence. Additionally, a clock displacement sensor was installed for comparison of measurements. Note that from a technical standpoint the two instruments could not be installed at exactly the same place, hence the comparison can only be a rough one, as the measurement results must be different. However, the results obtained with the extensometer and with the clock displacement sensor exhibit a similar trend. On the basis of several months of observation of the structure behavior in the place of the resulting crack, noticeable changes in its gap are noticeable.

**Keywords:** extensometer, vibrating wire transducer, dilatometer