

Nowe rozwiązanie konstrukcyjne głowicy pomiarowej strunowego tensometru gruntowego. Kontynuacja obserwacji odkształceń posadzki hangaru i wychylenia wieży kościoła. Obserwacja wpływu wstrząsów komunikacyjnych na budynek mieszkalny

ADAM KANCIRUK

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

Streszczenie

W latach 2009-2010 w Rudzie Śląskiej, na terenie poddanym wpływom eksploatacji górniczej prowadzono pomiary odkształceń gruntu z zastosowaniem nowego tensometru strunowego. Głowica pomiarowa tego tensometru, wykonana z tanich, ogólnie dostępnych materiałów wykazała się dobrymi parametrami metrologicznymi, ale jej konstrukcja była zbyt złożona, o zbyt dużych gabarytach. Nie sprawdziły się też uszczelnienia jej obudowy. W roku 2013 zaprojektowano nową głowicę pomiarową, o prostszej i bardziej zwartej konstrukcji. Szczególny nacisk położono na hermetyzację jej obudowy. Przeprowadzono wzorcowanie głowicy.

W roku bieżącym kontynuowano prowadzenie pomiarów odkształceń posadzki hangaru lotniczego znajdującego się na terenie MPL Katowice w Pyrzowicach. Zaobserwowano zauważalny spadek odkształceń posadzki wywołanych jej obciążaniem eksploatacyjnym, co może być wywołane dalszymi pracami inwestycyjnymi na terenie lotniska.

Również w roku bieżącym kontynuowano obserwacje zachowania się wieży zabytkowego budynku kościoła znajdującego się w Bytomiu-Miechowicach. Mimo zakończenia wydobywania węgla w sąsiedztwie kościoła, zaobserwowano dalszy wzrost wychylenia wieży, bez zmian jego azymutu.

W miesiącu październiku wykonano elektroniczny podzespół wzmacniająco-formujący do górniczego akcelerometru magnetoelektrycznego, który wraz z rejestratorem został zainstalowany w Mysłowicach, w XIX-wiecznym budynku mieszkalnym. Budynek ten znajduje się wprawdzie na terenie poddanym wpływom podziemnej eksploatacji górniczej, lecz obecnie szczególnie szkodliwymi dla jego konstrukcji i uciążliwymi dla mieszkańców są wstrząsy komunikacyjne pochodzące od sąsiadującej z nim linii tramwajowej.

Słowa kluczowe: strunowe przetworniki pomiarowe, pomiar odkształceń i wychyleń konstrukcji budowlanych, wpływ drgań na budowle

1. Wstęp

Historia opracowywania i konstruowania strunowych tensometrów do pomiaru przemieszczeń w gruncie liczy już ponad 40 lat. Na przełomie 60- i 70-tych lat XX wieku zespół kierowany przez prof. Jerzego Gustkiewicza¹ opracował 2 typy tensometrów: TTCS 4000.3 do pomiarów przemieszczeń poziomych i TTCS 2000 do pomiarów przemieszczeń pionowych [1]. Tensometry pierwszego typu zostały wyprodukowane w liczbie około 50 sztuk przez jeden z wiodących wówczas zakładów przemysłowych Krakowa. Tensometry TTCS 2000, ze względu na spodziewane mniejsze zastosowanie, zostały wykonane zaledwie w kilku egzemplarzach.

Wspomniane tensometry składały się z głowicy pomiarowej, regulatora zakresu, odpowiednio zabezpieczonego ciągną, oraz dwóch kotwi. Głowica i regulator mocowane były osobno do kotwi i łączone ciągnem.

¹ Prof. dr hab. inż. J. Gustkiewicz, inż. B. Brodziński, inż. M. Długosz, inż. L. Stanisławski

Odległość między kotwami – zwykle 4 m stanowiła bazę pomiarową tensometru. Tensometry instalowano zarówno w układach rozetowych, jak i liniowych, przez ułożenie ich w wykopach (rowach) i przysypanie ziemią. Zastosowane zostały one do obserwacji odkształceń gruntu, głównie na terenach objętych wpływem podziemnej eksploatacji górniczej. Jak wykazała praktyka ich użytkowania, odznaczyły się one bardzo dobrymi właściwościami metrologicznymi oraz wysoką trwałością. Dlatego, często po ukończeniu okresu obserwacji w danym miejscu, tensometry były wydobywane z gruntu, aby po ich regeneracji mogły być zainstalowane w innym miejscu.

Mimo wspomnianych zalet, na początku XXI wieku większość egzemplarzy tensometrów nie nadawała się już do użytku, ze względu na ich znaczne zużycie i skorodowanie. Wyprodukowanie nowej ich partii, ze względu na pracochłonność wykonania elementów i montażu gotowych egzemplarzy wymagałaby zainwestowania znacznych środków finansowych. Ponadto korzystna okazała się zmiana sposobu kotwienia tensometrów w gruncie, mająca na celu minimalizację stopnia jego naruszenia.

Pojawienie się począwszy od lat 90-tych XX wieku możliwości bezproblemowego zakupu niedrogich materiałów i elementów konstrukcyjnych powszechnego użytku skłoniły autora do opracowania taniej, uproszczonej wersji głowicy pomiarowej dźwigniowego tensometru gruntowego. Jego układ mechaniczny został wykonany z gwintowanych prętów stalowych, mosiężnych i aluminiowych płytek, płaskowników i kątowników, oraz płaskich sprężyn zegarowych [2, str. 70]. Hermetyczna obudowa została skompletowana głównie z winidurowych elementów kanalizacyjnych. W porównaniu z tensometrami TTCS 4000.3 autor całkowicie zmienił sposób kotwienia tensometru w gruncie: zamiast stalowych, płytowych kotwi kontaktujących się z naruszonym pracami instalacyjnymi gruntem, zastosował gwintowane szpilki budowlane betonowane w otworach wywierconych w dnie wykopu, a więc w gruncie praktycznie nienaruszonym. Zamiana giętkiego cięgna łączącego głowicę pomiarową tensometru z jego regulatorem zakresu na sztywne łączenie pozwoliła na znaczną – ponad 20-krotną redukcję siły oddziałującej na kotwy (do ok. 2 N). Dzięki wspomnianym zmianom, koszt wykonania egzemplarza tensometru został zmniejszony w przybliżeniu 10-krotnie, zredukowany został też koszt jego instalacji (brak konieczności użycia koparki).

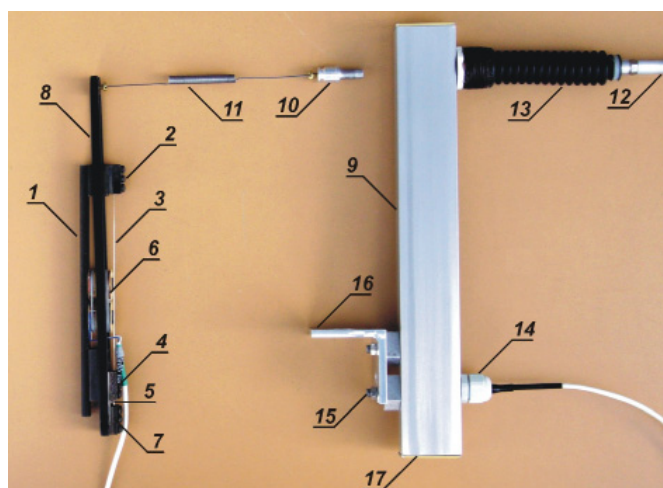
Prototypowy egzemplarz tensometru został zainstalowany na terenie poddanym wpływom podziemnej eksploatacji górniczej Kopalni Węgla Kamiennego „Pokój” w Rudzie Śląskiej [2, str. 150]. Wyposażenie go w automatyczny miernik-rejestrator strunowy pozwoliło na pomiar i zapis przemieszczeń w gruncie z częstotliwością 8 na dobę przez okres ok. 13 miesięcy. Nowy sposób kotwienia tensometru w gruncie umożliwił wykonywanie poprawnych pomiarów już po tygodniowym okresie wstępnego związania betonu. Poza tym, tensometr wykazał się parametrami metrologicznymi podobnymi do parametrów tensometru TTCS 4000.3.

Podczas użytkowania tensometru ujawniła się jego zasadnicza wada – niedostateczna hermetyzacja obudowy głowicy pomiarowej, wykonana za pomocą fabrycznych „kanalizacyjnych” uszczeltek. Dlatego jej trwałość tylko nieznacznie przekroczyła 1 rok. Ponadto, układ mechaniczny tej głowicy okazał się zbyt rozbudowany i miał znaczne – w stosunku do zakresu pomiarowego gabaryty. Nie zawierał on też elementu zabezpieczającego przed przekroczeniem zakresu pomiarowego. Dlatego autor w roku bieżącym przystąpił do prac mających na celu opracowanie nowej konstrukcji głowicy pomiarowej.

2. Nowe rozwiązanie konstrukcyjne głowicy pomiarowej strunowego tensometru gruntowego

Nowa głowica pomiarowa tensometru do pomiaru przemieszczeń w gruncie podobnie jak głowice wspomnianych wyżej tensometrów też jest typu dźwigniowego. Jej układ mechaniczny (rys. 1) składa się ze sztywnej belki 1, do której przymocowane są: górny zacisk 2 struny 3, górny zacisk 4 pary sprężyn 5, oraz 2 cewki elektromagnesu 6. Górny zacisk 4 połączony jest poprzez wspomnianą parę sprężyn 5 z ruchomym elementem 7. Wraz ze sprężynami 5 i zaciskiem 4 tworzy on elastyczny przegub. Jest on też dolnym zaciskiem struny 3. Do elementu tego przymocowane jest dłuższe ramię dźwigni 8. Krótsze ramię dźwigni to część elementu 7 – przekładka, do której z jednej strony dociśnięte są sprężyny 5 przegubu, a do drugiej – struna 3. Jej grubość została dobrana tak, aby sumaryczna przekładnia dźwigni głowicy wynosiła ok. 75:1.

Zwarta konstrukcja układu mechanicznego głowicy pozwoliła na zastosowanie dlań głównego elementu obudowy – odcinka aluminiowej prostokątnej rury 9 o wymiarach przekroju poprzecznego 40×25 mm, ściance grubości 2 mm i długości 290 mm. Wewnątrz tej rury ramię dźwigni 8 może wychylać się w granicach zakresu pomiarowego, wynoszącego 30 mm. Przekroczenie tego zakresu powoduje oparcie się końca ramienia 8 o wewnętrzne powierzchnie rury 9. W celu zabezpieczenia głowicy przed uszkodzeniem,



Rys. 1. Szczegóły konstrukcyjne nowej głowicy pomiarowej tensometru gruntowego

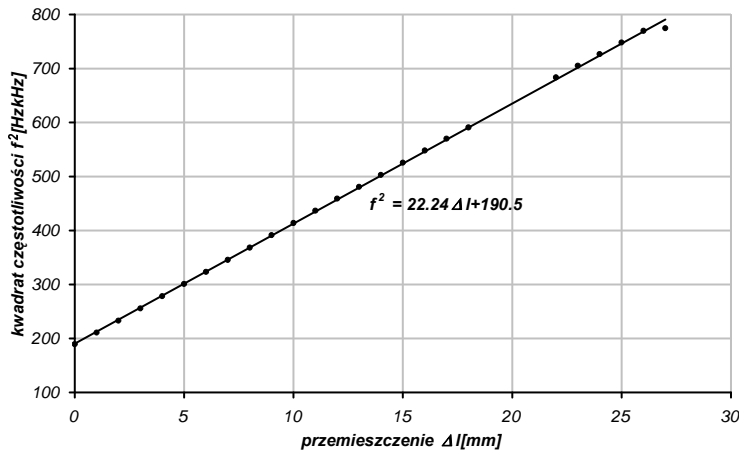
łącznik 10 z zewnętrznym popychaczem 12 nie jest sztywno połączony z końcem ramienia dźwigni 8, lecz poprzez sprężynę spiralną 11. Została ona nawinięta w ten sposób, że jej zwoje silnie na siebie napierają przy dowolnym, nieprzekraczającym zakresu wychylenia ramienia 8. Zatem w granicach zakresu pomiarowego głowicy (i całego tensometru), sprężyna 11 stanowi sztywne połączenie łącznika 10 z końcem ramienia 8 i nie wpływa na jej parametry. Dopiero przy przekroczeniu zakresu pomiarowego ulega rozciągnięciu lub wyboczeniu, zabezpieczając głowicę pomiarową przed uszkodzeniem.

Sprężyna 11 jest umieszczona wewnątrz gumowego mieszka 13, którego jeden koniec jest zaciśnięty na łączniku 10, a drugi – hermetycznie połączony z rurą 9. Innymi elementami głowicy, uszczelnionymi względem rury 9 uszczelnkami pierścieniowymi (tzw. o-ringami) są dławik kabla 14 i 2 gwintowane wałki 15 łączące belkę 1 poprzez obudowę 9 z zakotwieniem 16. Sama rura 9 zamknięta jest płytkami 17 z grubymi uszczelnkami „poduszkowymi”. Wykonane są one jako odlewy z miękkiej silikonowej gumy i dodatkowo ściśnięte śrubami w kierunku pionowym. Powoduje to ich poziomą ekspansję i uszczelniający docisk do wewnętrznych płaszczyzn rury 9.

Głowica pomiarowa została przetestowana wstępnie przy użyciu urządzenia do badań wytrzymałościowych Instron 8500, wyposażonego w precyzyjny zadajnik przemieszczenia – siłownik połączony z układem pomiarowym opartym na transformatorowym przetworniku indukcyjnym (LVDT), oraz miernika strunowego KA-6 (rys. 2) [2, str. 79]. Wynik testu przedstawia rysunek 3. Charakterystyka głowicy jest z dobrym przybliżeniem liniowa. Zastanawiający jest jednak fakt, że wzbudzenie drgań struny i pomiar



Rys. 2. Test głowicy pomiarowej tensometru



Rys. 3. Wynik testu – charakterystyka głowicy pomiarowej

okresu jej drgań zachodzi bezproblemowo, za wyjątkiem zakresu przemieszczenia 18-22 mm. W zakresie tym drgania struny są silnie tłumione, a jej naprężenie σ wyliczone według wzoru:

$$\sigma = 4l^2\gamma f^2 \quad (1)$$

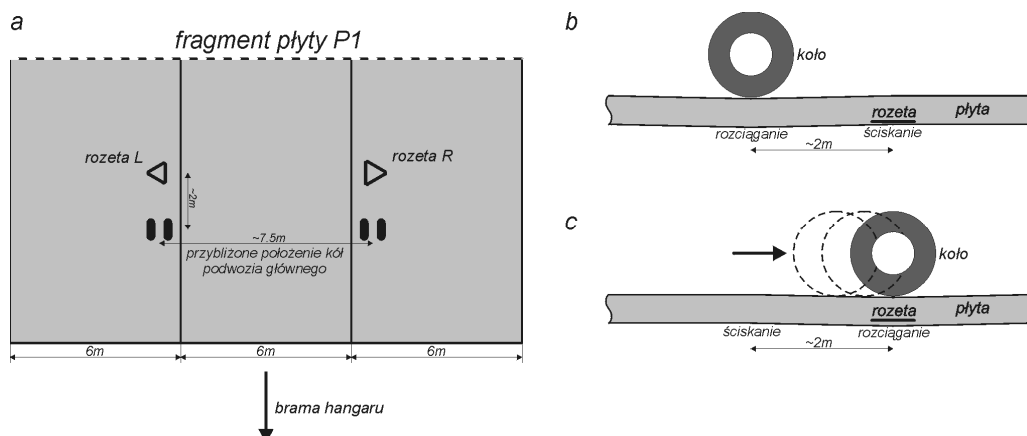
gdzie:

- l – długość czynna struny (150 mm),
- γ – gęstość materiału struny (stali, 7870 kg/m³),
- f – częstotliwość drgań struny [Hz]

zmienia się w granicach 420-480 MPa. Konieczne zatem jest wyjaśnienie przyczyn tego tłumienia. Jeśli okaże się ono nieuniknionym, nieodzownym będzie zwiększenie wstępnego naciągu struny tak, aby dla całego zakresu pomiarowego głowicy naprężenie struny przekraczało 480 MPa. Przewiduje się też przeprowadzenie podobnego testu – wzorcowania za pomocą urządzenia, w którym głowica byłaby zamontowana we właściwy dla pomiarów w gruncie sposób, a więc pionowo.

3. Kontynuacja obserwacji odkształceń posadzki hangaru lotniczego

W roku bieżącym kontynuowana była zapoczątkowana w czerwcu roku 2011 obserwacja odkształceń posadzki hangaru lotniczego, oparta na automatycznej rejestracji wskazań zatopionych w tej posadzce tensometrów tworzących 3 trójkątne rozety [2, str. 168]. Rozety te według założeń miały znajdować się w miejscach nacisku kół goleni serwisowanych w hangarze samolotów, ale po zmianie regulaminowego położenia samolotu, znajdują się one w odległości 2-3 m od tych kół (rys. 4). Stąd wykazują one głównie

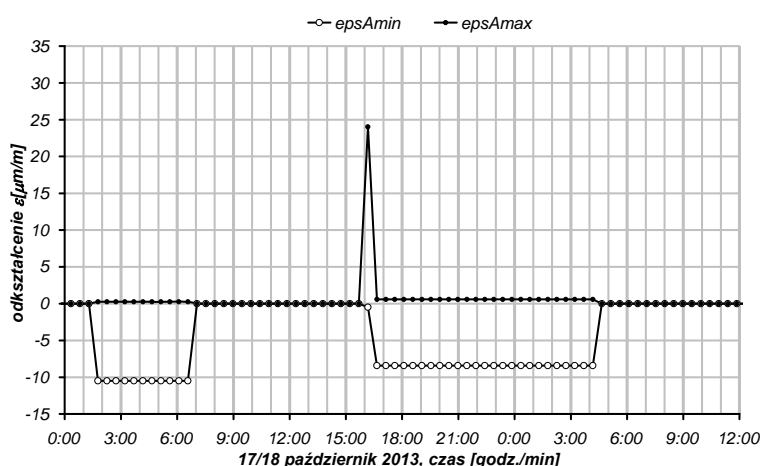


Rys. 4. Położenie rozet tensometrycznych względem kół goleni głównych. a. położenie regulaminowe, widok z góry, b. położenie regulaminowe, przekrój przez płytę, c. położenie nieregularne, przekrój przez płytę

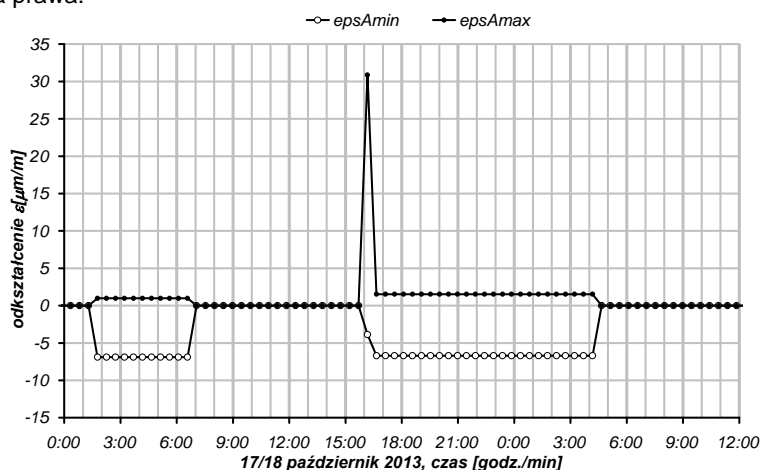
odkształcenia ściskające, w przybliżeniu wzdłuż osi płyt posadzki (równoległej do osi samolotu), w granicach $20 \mu\text{m/m}$ dla rozety lewej i $15 \mu\text{m/m}$ dla rozety prawej (rys. 5).

Oczywiście, dla obserwacji odkształceń posadzki bardzo korzystnym byłoby zarejestrowanie ich w przypadku wprowadzenia samolotu do hangaru tak, aby koła goleni, zwłaszcza głównych, znalazły się bliżej rozet niż zwykle, tak jak obrazuje to rysunek 4c. Taki przypadek prawdopodobnie zaistniał w dniu 17 października 2013 roku. Ilustruje to rysunek 5. Obydwie rozety znajdujące się w sąsiedztwie kół goleni lewej i prawej wykazały w przypadku jednej serii pomiarów znaczne odkształcenia rozciągające betonu posadzki, przekraczające co do modułu 2.8 (dla rozety lewej) i 4.6 (dla rozety prawej) razy występujące następnie odkształcenia ściskające. Sugeruje to, że na krótki okres czasu (nie dłuższy niż 30 minut – okres repetycji pomiarów) samolot został wprowadzony do hangaru głębiej niż zwykle, a następnie cofnięty do pozycji przepisowej.

rozeta lewa:

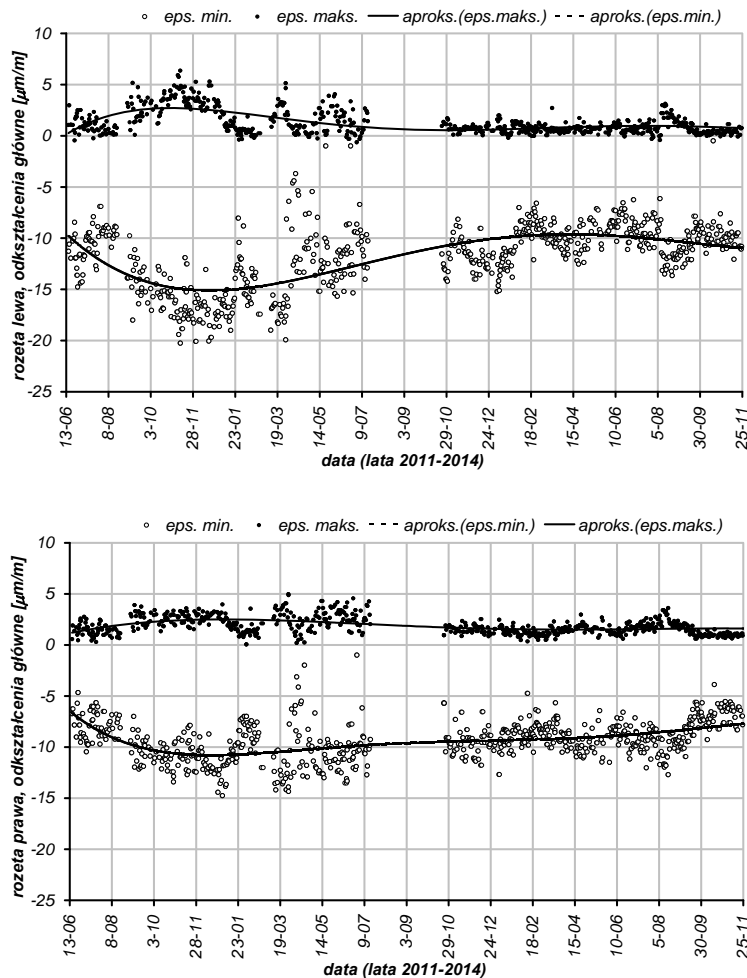


rozeta prawa:



Rys. 5. Wartości odkształceń posadzki hangaru wskutek obciążenia jej masą serwisowanego samolotu. *epsAmin* – odkształcenia minimalne (ściskające), *epsAmax* – odkształcenia maksymalne (rozciągające)

W początkowym okresie użytkowania przebudowanego hangaru – do końca 2011 roku, reakcja posadzki na obciążanie jej serwisowanymi samolotami sukcesywnie wzrastała, szczególnie po suchych i gorących miesiącach letnich, po czym w pierwszych trzech miesiącach roku 2012 ustabilizowała się (rys. 6). Następnie reakcja ta miała tendencję spadkową, szczególnie po przerwie w użytkowaniu hangaru, jaka miała miejsce od lipca do października 2012 roku. Wówczas to w jego bezpośrednim sąsiedztwie wybudowano betonową płytę postojową o grubości ok. 0.3 m i łącznej powierzchni ok. 11 ha. Spadek reakcji posadzki hangaru sugeruje wzrost podporności znajdującego się pod nią gruntu i podbudowy. Może on być spowodowany

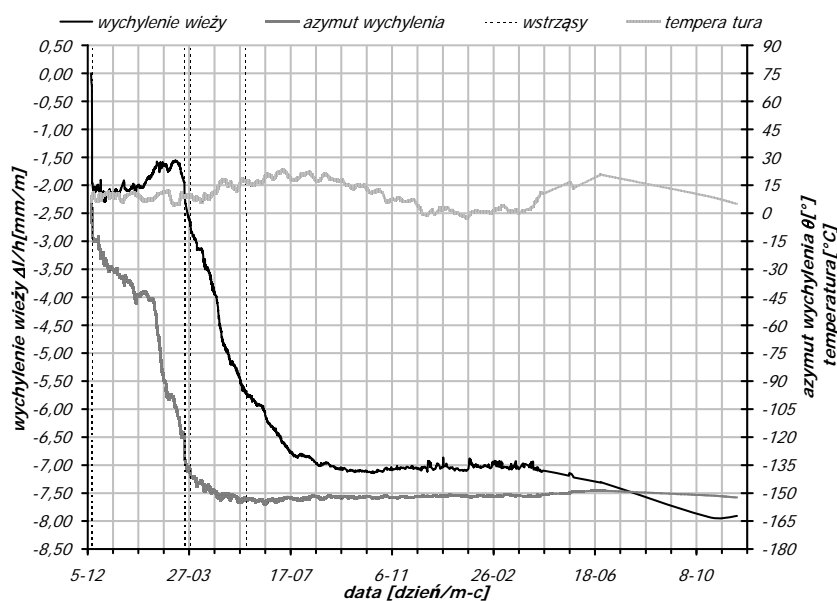


Rys. 6. Zmiany reakcji płyty posadzki na nacisk kół serwisowanego samolotu od czerwca 2011 roku do października 2013. „*eps.maks*” – wartości odkształceń maksymalnych, „*eps.min*” – wartości odkształceń minimalnych, „*aproks...*” – aproksymacje rozwoju odkształceń wielomianem 4-go stopnia

naturalnym wzrostem wilgotności gruntu w okresie jesienno-zimowym, jak też i wyciskaniem wody spod płyty postojowej, która migrując do gruntu w miejscach sąsiednich, w tym pod posadzkę hangaru, spowodowała jego pęcznienie. Faktycznie, pracownicy hangaru zaobserwowali w tym okresie wyraźny wzrost zawilgocenia, a nawet zamoczenia wykonanych w posadzce studzienek serwisowych.

4. Kontynuacja obserwacji wychylenia wieży zabytkowego kościoła

W grudniu 2011 roku zapoczątkowano obserwację wychylenia wieży zabytkowego kościoła, znajdującego się w Bytomiu-Miechowicach, na obszarze poddanym wpływom podziemnej eksploatacji węgla kamiennego [2, str. 158]. Obserwacja ta oparta była na automatycznie przeprowadzanych pomiarach, których wyniki transmitowane były do miejsca przeznaczenia drogą radiową. Eksploatacja ścianą 18a została zakończona w czerwcu 2012 roku, wychylenie wieży o wartości ok. 7 mm/m ustabilizowało się we wrześniu 2012 roku, jego azymut – ok. -150° ustabilizował się 4 miesiące wcześniej. Dlatego od czerwca 2013 roku zaniechano pomiarów przeprowadzanych automatycznie, pozostając przy sporadycznie wykonywanych pomiarach ręcznych. Tymczasem pomiary te, przeprowadzone 21 października i miesiąc później wykazują dalszy wzrost wychylenia wieży, do wartości bliskiej 8 mm/m, przy niemal niezmiennym jego azymucie (rys. 7). Stąd wniosek, że teren na którym posadowiony jest budynek kościoła jest jeszcze daleki od pełnej stabilizacji, co sugeruje potrzebę wznowienia pomiarów przeprowadzanych automatycznie z częstotliwością co najmniej 1/tydzień.



Rys. 7. Zmiana wychyleń wieży kościoła

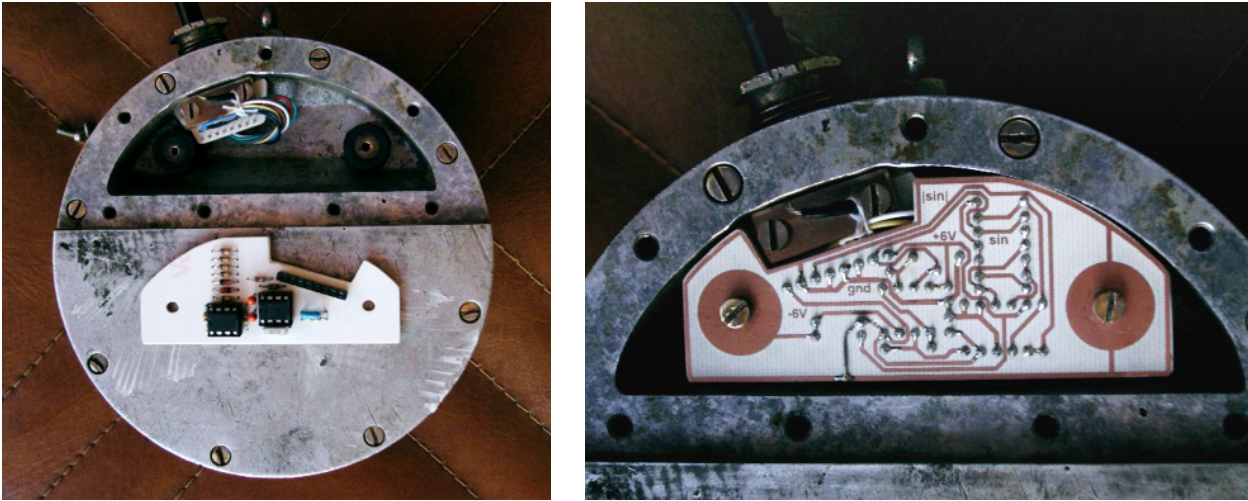
5. Obserwacja wpływu wstrząsów komunikacyjnych na budynek mieszkalny

Na Górnym Śląsku, w Mysłowicach, na terenie poddanym wpływom eksploatacji górniczej znajduje się ok. 150-letni budynek mieszkalny (rys. 8). Jednak obecnie, głównym czynnikiem szkodliwym dla niego i uciążliwym dla jego mieszkańców nie są zjawiska związane z wydobywaniem węgla, lecz z ruchem tramwajów na sąsiadującym z nim torowisku. Obecnie ruch tramwajów linii 14 przedsiębiorstwa komunikacyjnego „Tramwaje Śląskie” odbywa się torem zewnętrznym łuku widocznego na rysunku 8. Ruch tramwajów linii 26, torem wewnętrznym łuku jest czasowo wstrzymany. Obydwa tory łączą się na zwrotnicy tuż obok budynku. Przejazd przez tę zwrotnicę tramwaju 14 odbywa się na wprost, a tramwaju 26 ze skretem, stąd wstrząsy spowodowane jego przejazdem są odczuwane przez mieszkańców budynku jako silniejsze.

Dla wstępnej oceny amplitudy wstrząsów konstrukcji budynku zastosowano wycofany już z eksploatacji magnetoelektryczny akcelerometr górniczy połączony z rejestratorem wykorzystującym jako nośnik informacji taśmę papierową. Akcelerometr po wyczyszczeniu i starannym uszczelnieniu napełniono cieczą tłumiącą – olejem silnikowym do dwusuwów, przez co uzyskano niemal krytyczne tłumienie masy sejsmicznej akcelerometru. Tak przygotowany akcelerometr wyposażono w układ elektroniczny (rys. 9), składający się



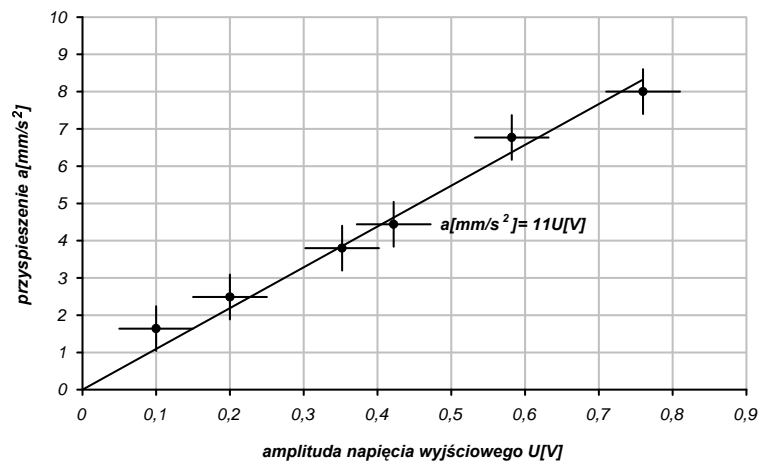
Rys. 8. Budynek mieszkalny w Mysłowicach, w sąsiedztwie torowiska tramwajowego



Rys. 9. Układ elektroniczny, w który został wyposażony akcelerometr

ze wzmacniacza i dwupołkowego prostownika liniowego, którego sygnał wyjściowy jest dostosowany do parametrów rejestratora. Tym sposobem, z wykresu kreślonego na taśmie rejestratora możliwy jest odczyt amplitudy przyspieszenia występującego w czasie wstrząsu, nie jest natomiast możliwy odczyt częstotliwości drgań, do czego rejestrator ma zbyt dużą bezwładność.

Akcelerometr wraz z układem elektronicznym został wstępnie przetestowany przy użyciu wspomnianego urządzenia do badań wytrzymałościowych Instron 8500 i oscyloskopu z pamięcią. „Instron” został zaprogramowany tak, aby jego siłownik wykonywał ruch sinusoidalnie zmienny o częstotliwościach w granicach 2÷9 Hz. Za pomocą oscyloskopu mierzono amplitudę sygnału wyjściowego z układu elektronicznego akcelerometru. Rysunek 10 przedstawia orientacyjną charakterystykę badanego urządzenia. Wynika z niej, że akcelerometr wraz z układem ma czułość ok. 90 mV/1mm/s².



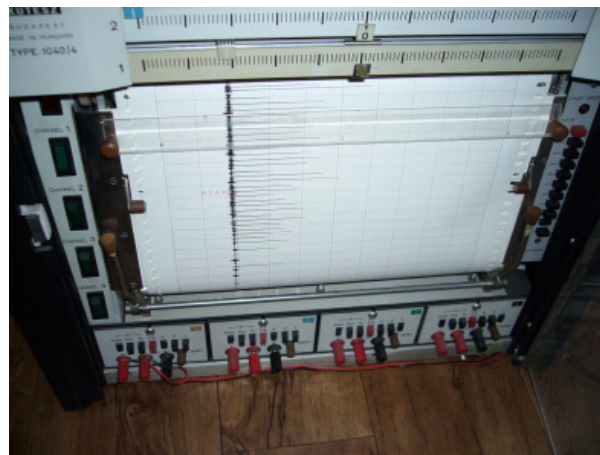
Rys. 10. Charakterystyka akcelerometru wraz z podłączonym do niego układem elektronicznym

Zmodernizowany i przetestowany akcelerometr wraz z rejestratorem został umieszczony na podłodze nieużytkowanego pomieszczenia budynku, na parterze, przy ścianie przylegającej do torowiska tramwajowego (rys. 11 i 12). Zarejestrowane na taśmie papierowej przez okres jednego miesiąca wstrząsy (rys. 12) odpowiadają czasowo dokładnie rozkładowi jazdy tramwaju nr 14. Amplituda tych wstrząsów często przekracza 20 mm/s². Przywrócenie kursowania tramwaju numer 26 spodziewane jest na początku przyszłego roku, wówczas to rejestracja wstrząsów w budynku zostanie wznowiona.

Według [3, str. 216] drgania o przyspieszeniach wynoszących kilkadziesiąt mm/s² zaliczane są do drgań słabych, nieszkodliwych dla konstrukcji budynków w zadowalającym stanie technicznym. Tymcza-



Rys. 11. Zainstalowany akcelerometr



Rys. 12. Rejestrator

sem, w miesięcznym okresie prowadzenia pomiarów, w pomieszczeniu gdzie zainstalowano akcelerometr i rejestrator, na świeżo wyremontowanych ścianach pojawiły się zarysowania. Jak wspomniano wyżej, akcelerometr został przetestowany, ale tylko wstępnie, przy użyciu urządzenia „Instron”. Nie jest ono przewidziane do badań dynamicznych, w zakresie częstotliwości zaprogramowanych drgań ($2\div 9$ Hz) uzyskano amplitudę od 0.01 do 0.0025 mm. Dla zweryfikowania charakterystyki akcelerometru (rys. 10) przewiduje się jego przetestowanie za pomocą innego urządzenia, zapewniającego większą amplitudę drgań.

6. Podsumowanie i wnioski

Opracowana nowa głowica pomiarowa gruntowego tensometru strunowego wydaje się mieć poprawną, nieskomplikowaną konstrukcję. Wykonana jest z niedrogich, nawet odpadowych materiałów (łącznie koszt nie przekracza 30.- PLN), wykonanie poszczególnych jej elementów nie jest zbyt pracochłonne, nie wymaga też specjalistycznych narzędzi. Hermetyzacja jej obudowy z pewnością jest lepiej dopracowana, niż głowicy tensometru używanego w Rudzie Śląskiej. Konieczne jest jej dopracowanie, w celu wyeliminowania wspomnianego przy końcu punktu 2 tłumienia drgań struny.

Aparatura zainstalowana w hangarze na terenie MPL Katowice w Pyrzowicach mimo wykonania już ponad 360 000 pomiarów nie wykazuje żadnych oznak zużycia, dlatego pomiary odkształceń posadzki i rejestracja ich wyników będzie nadal kontynuowana. Ze względu na ponowny wzrost wychylenia wieży budynku kościoła w Bytomiu-Miechowicach planuje się modernizację telemetrycznego miernika strunowego i jego ponowne zamontowanie w wieży. Narażony na drgania komunikacyjny budynek mieszkalny w Mysłowicach może też okazać się interesującym obiektem badań. Pomiar przyspieszeń konstrukcji pod wpływem tych drgań nie nastręcza trudności. Możliwe będzie też rozszerzenie zakresu obserwacji – prowadzenie pomiarów rozwarłościzarysowań i ew. szczelin w ścianach.

Praca została wykonana w roku 2013 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

1. Gustkiewicz J., Kanciruk A., Stanisławski L., 1985. *Some advancements in soil strain measurement methods with special reference to mining subsidence*. Mining Science and Technology, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, Vol. 2, p. 237-252.
2. Kanciruk A., 2012. *Metody tensometryczne w badaniach przemieszczeń, deformacji i zjawisk dynamicznych w gruncie i obiektach budowlanych*. Archiwum Górnictwa, Seria: Monografia, Nr 15, Kraków.
3. Ciesielski R., Maciąg E., 1990. *Drgania drogowe i ich wpływ na budynki*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.

New designs of levered wire strain gauges

Abstract

Ground deformation measurements were taken in the mine subsidence areas in Ruda Śląska from 2009 to 2010, with the use of a new-design wire strain gauge. The measuring head, made of cheap and easily available materials, exhibited good metrological features through its structure proved to be too complex, the head itself was too bulky and the tight-proofing of the housing proved inadequate, too. In 2013 a new design of the sensor head was developed, more compact and simpler in design. The tight-proofing of its housing was the primary consideration. The newly fabricated head was then calibrated.

That year measurements were taken of strain of the hangar floor on the premises of the Pyrzowice airport (MPL Katowice). It appears that strain due to operational loads tends to decrease, which may be associated with further construction works at the airport.

In 2013 measurements were also taken of the tower of an old historic church in Bytom-Miechowice. Even though the mining operations in the neighbourhood of the church were finished, the tower's tilt still tends to increase and its azimuth does not change.

In October 2013 an electronic sub-assembly was engineered, for reinforcing and supporting a magnetoelectric accelerometer to be used in mines. Alongside a recorder, this unit was installed in a residential building in Mysłowice, dating back to the 19th century. This building is located in the area affected by deep mining operations, though the greatest damage to its structure is caused by vibrations from a nearby tram line, perceived by local inhabitants as a nuisance.

Keywords: wire gauges, measurements of deformation and deflection of engineering structures, the effect of vibration on engineering structures