

# MONITOROWANIE OBIEKTÓW budowlanych w sąsiedztwie budowy



dr inż. Rafał Sieńko / Politechnika Krakowska



dr inż. Łukasz Bednarski / Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Prowadzenie robót budowlanych bardzo często związane jest z powstawaniem oddziaływań, które mogą mieć niekorzystny wpływ na sąsiadujące z inwestycją obiekty. Oddziaływania te mogą mieć charakter mechaniczny (przemieszczenia, drgania przenoszone przez podłoże gruntowe) lub niemechaniczny (hałas, zapach). W niniejszym artykule analizie poddane zostaną wyłącznie te pierwsze

Przyczynami powstawania oddziaływań o charakterze dynamicznym, które mogą wpływać niekorzystnie na pracę sąsiednich obiektów, mogą być:

- ruch ciężkich pojazdów mechanicznych;
- praca sprzętu mechanicznego typu młoty, zagęszczarki, walce itp.;
- pogrążanie w gruncie metodami dynamicznymi (wbijanie, wwibrowywanie) elementów konstrukcyjnych typu grodzice, ścianki berlińskie, pale prefabrykowane itp.;
- wzmacnianie gruntu metodami dynamicznymi (zagęszczanie, formowanie kolumn itp.);
- głębienie ścian szczelinowych.

Oddziaływania te przekazywane są na obiekty sąsiednie poprzez grunt, w związku z tym charakter wpływu związany jest z budową ośrodka gruntowego, jego spójnością bądź zagęszczeniem oraz nawodnieniem. Im dalej położone są obiekty od źródła oddziaływania, tym niekorzystny wpływ będzie na ogół mniejszy. Jednak nie musi to być regułą, szczególnie w przypadku, gdy źródło fali w danej chwili czasowej znajduje się głęboko poniżej poziomu posadowienia obiektów sąsiednich.

Oddziaływania o charakterze statycznym mają na ogół mniejszy zasięg wpływu niż dynamiczne. Zależą one od głębokości wykopu oraz rodzaju gruntu [1]. W ekstremalnych przypadkach wpływ budowy w postaci przemieszczeń pionowych gruntu obserwowano nawet w odległości rzędu 100 m od krawędzi wykopu. Wpływy statyczne powodowane mogą być przez:

- wykonywanie wykopu (również zabezpieczonego różnego rodzaju obudowami typu palisady, ściany szczelne czy ściany szczelinowe);
- wzmacnianie fundamentów istniejących budynków (tzw. podbijaniem) przed rozpoczęciem właściwych prac budowlanych;
- odpompowywanie wody z wykopu;
- drażnienie tuneli;
- wykonywanie podziemnych odcinków rurociągów o znacznych średnicach.

Realizacja wykopu skutkuje zawsze powstaniem przemieszczeń w obrębie sąsiadującego gruntu. Na skutek deformacji obudowy wykopu dochodzi do rozluźniania się gruntu za obudową, co z kolei powoduje powstawanie przemieszczeń pionowych gruntu: osiadań w bezpo-

średnim sąsiedztwie obudowy i wypiętrzeń lub osiadań w dalszej odległości. Nie bez znaczenia będą również przemieszczenia poziome, które powodować mogą powstawanie sił rozciągających w elementach konstrukcji zlokalizowanych w niewielkiej odległości od wykopów.

## Wymagania prawne i normowe

Ustawa Prawo budowlane [2] w art. 5 narzuca na uczestników procesu budowlanego takie projektowanie i wykonywanie obiektów budowlanych w sposób określony w przepisach, w tym przepisach techniczno-budowlanych, aby zapewnić spełnienie wymagań podstawowych dotyczących m.in. bezpieczeństwa konstrukcji. Ustawa wskazuje również na poszanowanie, występujących w obszarze oddziaływania obiektu, uzasadnionych interesów osób trzecich. Przepis ten rozwinięty jest w rozporządzeniu [3], gdzie w § 204, ust. 5 znajdujemy zapis mówiący wprost: *Wzniesienie budynku w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu budowlanego nie może powodować zagrożenia dla bezpieczeństwa użytkowników tego obiektu lub obniżenia jego przydatności do użytkowania.* §206, ust. 1 tegoż rozporządzenia jest uzupeł-

nieniem powyższego przepisu: W przypadku, o którym mowa w §204 ust. 5, budowa powinna być poprzedzona ekspertyzą techniczną stanu obiektu istniejącego, stwierdzającego jego stan bezpieczeństwa i przydatności do użytkowania, uwzględniającą oddziaływania wywołane wzniesieniem nowego budynku.

Ekspertyza ta powinna być częścią projektu budowlanego. Wymaganie takie zostało zamieszczone w rozporządzeniu [5], gdzie w §11, ust. 2, p. 10), lit. e) znajdujemy zapis:

Opis techniczny, o którym mowa w ust. 1, sporządzony z uwzględnieniem §7, powinien określać:  
 (...)

10) dane techniczne obiektu budowlanego charakteryzujące wpływ obiektu budowlanego na środowisko i jego wykorzystywanie oraz na zdrowie ludzi i obiekty sąsiednie pod względem:

(...)

e) wpływu obiektu budowlanego na istniejący drzewostan, powierzchnię ziemi, w tym glebę, wody powierzchniowe i podziemne, oraz wykazać, że przyjęte w projekcie architektoniczno-budowlanym rozwiązanie przestrzenne, funkcjonalne i techniczne ograniczają lub eliminują wpływ obiektu budowlanego na środowisko przyrodnicze, zdrowie ludzi i inne obiekty budowlane, zgodnie z odrębnymi przepisami.

Kolejne wymagania narzuca rozporządzenie [4], gdzie w §3, ust. 1 znajdujemy zapis:

Ustalanie geotechnicznych warunków posadawiania polega na:

(...)

6) ustaleniu wzajemnego oddziaływania obiektu budowlanego i podłoża gruntowego w różnych fazach budowy i eksploatacji, a także wzajemnego oddziaływania obiektu budowlanego z obiektami sąsiadującymi

(...).

Na podstawie przywołanego rozporządzenia [4] konieczne jest opracowanie (§7) projektu geotechnicznego.

Jak podano w §10: Projekt geotechniczny zgodnie z Polskimi Normami PN-EN 1997-1: Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne [5] i PN-EN 1997-2: Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego [7] powinien zawierać:

(...)

10) określenie zakresu niezbędnego monitorowania wybudowanego obiektu budowlanego, obiektów sąsiadujących i otaczającego gruntu, niezbędnego do rozpoznania zagrożeń mogących wystąpić w trakcie robót budowlanych lub w ich

wyniku oraz w czasie użytkowania obiektu budowlanego.

Analogiczne zapisy formalne, narzucające na projektanta, wykonawcę i użytkownika obowiązek kontroli na każdym etapie budowy, znajdziemy we współczesnych przepisach normowych. Norma Eurokod o [8] zaleca, aby w celu zrealizowania konstrukcji odpowiadającej wymaganiom i założeniom przyjętym w projekcie, prowadzić kontrole w stadium projektowania, wykonywania i utrzymania. Norma Eurokod 7 [7] zaleca, by projektowanie, w pewnych przypadkach, wspomagać i korygować pomiarami prowadzonymi w czasie budowy. Takie podejście do projektowania nazwane zostało metodą obserwacyjną: Jeżeli prognozowanie zachowania podłoża gruntowego jest trudne, właściwe może być zastosowanie [...] podejścia, w którym rozwiązanie projektowe korygowane jest podczas budowy.

## Modelowanie numeryczne

Współczesne programy komputerowe pozwalają na bardzo precyzyjną analizę pracy praktycznie każdego obiektu, niezależnie od stopnia jego skomplikowania. Trzeba sobie jednak zdawać sprawę, że nie są one w stanie w sposób kompletny odzwierciedlić rzeczywistości. Każdy model, niezależnie od jego złożoności, jest tylko lepszą lub gorszą próbą idealizacji pracy konstrukcji, a na wyniki uzyskane na jego podstawie ma wpływ bardzo wiele czynników, począwszy od założeń (modeli) materiałowych i geometrycznych, przez warunki brzegowe, po sposób rozwiązania. Ponadto należy pamiętać, że programy numeryczne (i stosowane w nich modele) są zawsze jedynie narzędziem w rękach inżyniera, do którego należą wszystkie decyzje na każdym etapie projektowania i, co bardzo ważne, odpowiedzialność za ostateczny wynik jego dzieła.

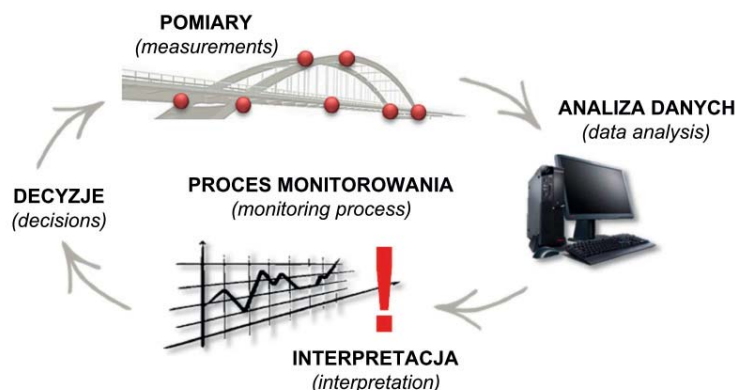
Projektowanie konstrukcji polega więc zawsze na konieczności przyjęcia bardzo dużej liczby, trudnych do jednoznacznego określenia, parametrów opisujących jej pracę podczas całego procesu wznoszenia obiektu oraz jego użytkowania. Nie do pominięcia będzie również w tym procesie niedoskonałość człowieka (projektanta, wykonawcy, użytkownika) i wynikająca stąd możliwość popełnienia błędu lub niedopełnienia obowiązku.

## Monitorowanie konstrukcji

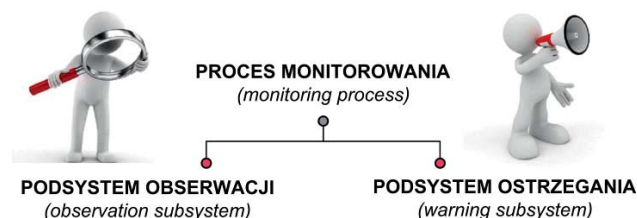
Spełnienie wymienionych wyżej wymagań prawnych i normowych powinno być (w wielu przypadkach) wspomaganie prowadzeniem pomiarów wybranych wielkości fizycznych w zdefiniowanych lokalizacjach [4]. Konieczne jest zatem sporządzenie opracowania projektowego, w którym zostaną zdefiniowane:

- mierzone wielkości fizyczne;
- lokalizacja punktów pomiarowych;
- częstotliwość prowadzenia pomiarów;
- wartości graniczne dla poszczególnych wielkości fizycznych, po osiągnięciu których konieczne jest podejmowanie konkretnych decyzji;
- techniki pomiarowe (rodzaje czujników, ich dokładność, rozdzielczość, stabilność pomiarowa, sposób instalacji itp.);
- sposób pozyskiwania pomiarów (ręcznie, automatycznie);
- sposób interpretacji danych pomiarowych.

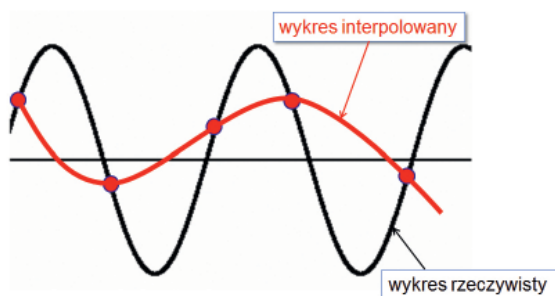
Przez monitorowanie konstrukcji rozumiemy będziemy zawsze prowadzenie pomiarów, czyli obserwację połączoną z procedurami postępowania na wypadek przekroczenia wartości granicznych zdefiniowanych wielkości fizycznych, czy też parametrów obser-



**RYC. 1.** Przebieg procesu monitorowania konstrukcji budowlanych



RYS. 2. Podsystemy procesu monitorowania według [9]



RYS. 3. Pomiar automatyczny a pomiar manualny (opis w tekście)

wowanych procesów. Podstawową strukturę procesu monitorowania przedstawiono schematycznie na rys. 1.

Na odpowiednie nazewnictwo zwrócono uwagę w Instrukcji [9] Instytutu Techniki Budowlanej, zgodnie z którą *monitoring często mylony jest z obserwacją. Trzeba więc podkreślić, że monitoring nie jest obserwacją, aczkolwiek w skład monitoringu wchodzi obserwacja. Monitoring (od łacińskiego słowa „monitor” – ostrzegający, przypominający) jest to działalność mająca na celu wykrywanie zagrożeń. Co za tym idzie, niezbędne przy monitoringu jest wcześniejsze ustalenie rodzaju zagrożenia – określenie warunku monitoringu – i dostosowanie systemu monitorowania do tego zagrożenia oraz ustalenie sposobu informowania o zagrożeniu. System monitorowania musi się więc składać zawsze z dwóch podsystemów: obserwacyjnego i ostrzegawczego (rys. 2).*

W większości przypadków korzystnie jest, jeśli monitorowanie konstrukcji jest procesem przebiegającym w sposób ciągły, przynajmniej z inżynierskiego punktu widzenia [10, 11]. Oznacza to, że pomiary wybranych wielkości fizycznych powinny być wykonywane w sposób cykliczny w odstępach czasu mierzonych (w zależności od potrzeby) w setnych częściach sekundy, sekundach, minutach lub godzinach. Na bieżąco powinna być również wykonywana analiza dostarczanych do systemu danych. Takie podejście do oceny pracy konstrukcji stanowi ogromną przewagę systemów moni-

torowania nad tradycyjnymi, wykonywanymi okresowo pomiarami.

Porównanie interpretacji przebiegu zjawiska obserwowanego przy zastosowaniu pomiaru automatycznego oraz manualnego pokazano na rys. 3. Konkluzja nasuwa się sama: znaczne odstępy czasowe w procesie pozyskiwania danych skutkować mogą niewłaściwym, a nawet błędnym wnioskowaniem. Co więcej, może się zdarzyć, że w okresie pomiędzy sesjami pomiarowymi dojdzie do wystąpienia ekstremum wartości obserwowanej wielkości fizycznej, skutkującego np. awarią obudowy wykopu czy sąsiedniego obiektu.

Pomiary wielkości fizycznych mogą być prowadzone przy wykorzystaniu różnych technik pomiarowych [11]. Do budowy systemów monitorowania konstrukcji wykorzystuje się obecnie wszystkie dostępne na rynku czujniki pomiarowe:

- mechaniczne,
- elektryczne,
- hydrauliczne,
- pneumatyczne,
- optyczne.

Z wyżej wymienionych grup warto wymienić kilka najczęściej stosowanych przykładów czujników, które wykorzystywane są w systemach monitorowania konstrukcji:

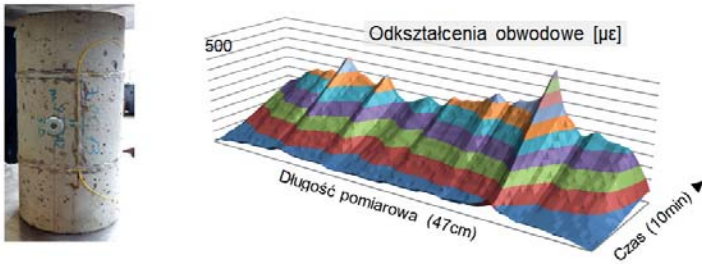
- tensometria strunowa [12]; czujniki charakteryzują się bardzo dobrą stabilnością pomiarów w czasie, odpornością na warunki

środowiskowe oraz sygnałem pomiarowym, który można przesyłać kablami na odległości rzędu kilku kilometrów (fot. 1). Czujniki te chętnie wykorzystywane są m.in. w geotechnice, budownictwie mostowym [13], przemysłowym [14] i kubaturowym [15];

- tensometria elektrooporowa; czujniki są chyba najpowszechniej stosowanymi w różnych gałęziach przemysłu. Dyskusyjna jest natomiast ich stabilność w czasie, która jest wymagana w systemach monitorowania konstrukcji. Łatwo też zakłócić sygnał pomiarowy pozyskiwany z czujników, konieczne jest zatem jego wzmacnianie oraz stosowanie kosztownych ekranowanych przewodów elektrycznych;
- czujniki indukcyjne (transformatorowe) wykorzystywane są przede wszystkim jako przetworniki przemieszczeń. Ze względu na problem ze stabilnością wskazań tych czujników w czasie, stosuje się je głównie w badaniach krótkotrwałych;
- czujniki piezoelektryczne znane są przede wszystkim z zastosowań w pomiarach przyspieszeń drgań konstrukcji, ale stosowane są również do pomiaru odkształceń szybkochylnych;
- czujniki MEMS (mikro-elektro-mechaniczne) wykorzystują w swej budowie mikroskopijnej wielkości układy elektro-mechaniczne. Stosowane są powszechnie do pomiarów większości wielkości fizycznych. Ich podstawową zaletą jest niska cena, natomiast wadą – często niska dokładność i brak gwarancji stabilności pomiarów w czasie;
- czujniki światłowodowe są wykorzystywane w stosunkowo nowej technice pomiaru odkształceń i temperatury o bardzo dużych możliwościach pomiarowych. Jednym czujnikiem (światłowodem) można wykonywać pomiary lokalne w bardzo wielu punktach pomiarowych umieszczonych na trasie czujnika [11] (rys. 4);
- inne.

## Monitorowane wielkości fizyczne

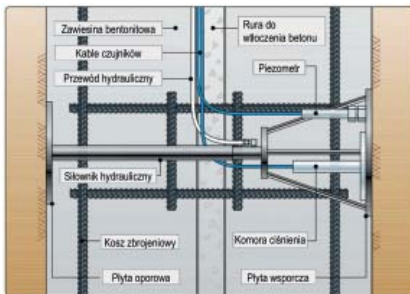
Wybór wielkości fizycznych, które będą mierzone, zawsze wymaga głębokiej analizy. Każdy pomiar powinien zostać tak zdefiniowany, by interpretacja uzyskiwanych wielkości mogła być jednoznaczna i przez to pomocna w podejmowaniu decyzji o sposobie prowadzenia prac budowlanych.



**RYS. 4.** Widok próbki betonowej z naklejonym światłowodem oraz przykładowy wykres odkształceń obwodowych w dziedzinie czasu i długości czujnika (opracowanie własne)



**FOT. 1.** Strunowe czujniki odkształceń wewnątrz betonu (fot. Geokon)



**RYS. 6.** Czujnik do pomiaru zmian ciśnienia gruntu za ścianą szczelinową wraz z czujnikiem ciśnienia wody lub ciśnienia porowego (źródło: Geokon)

### Pomiary statyczne

Wśród wielkości fizycznych, których pomiar może odbywać się w odstępach czasowych liczonych w minutach, a w pewnych przypadkach nawet w godzinach, należy wymienić:

- przemieszczenia pionowe i poziome; pomiar przemieszczeń obejmować może m.in. obudowę wykopu, grunt wokół wykopu, grunt w dnie wykopu (wypiętrzanie na skutek odprężenia) oraz obiekty zlokalizowane w sąsiedztwie budowy. Zakres niekorzystnego wpływu wykopu można określić na podstawie [17], przy czym zazwyczaj będzie się on zawierał w granicach 2 do 4 głębokości wykopu;
- przemieszczenia kątowe; pomiar ten może być realizowany w obrębie obudowy wykopu oraz sąsiednich obiektów. Umożliwia

określenie w sposób bezpośredni przechyłów ze znacznie większą dokładnością niż klasyczna geodezja;

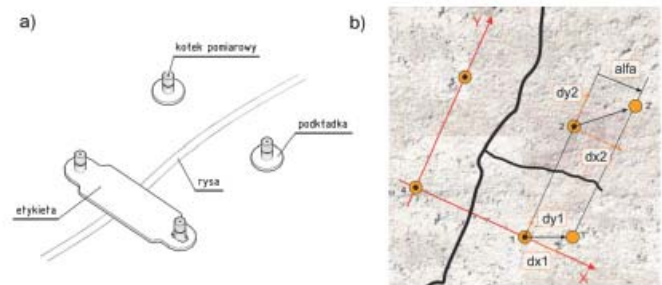
- rozwarcie rys w istniejących obiektach; wybór uszkodzeń w postaci zarysowań oraz pęknięć ścian i stropów sąsiednich budynków może być bardzo dobrym wskaźnikiem odpowiedzi monitorowanych obiektów na prowadzone prace budowlane. Instalację czujników wykonuje się na rysach, których przebieg sugeruje możliwość rozwoju uszkodzeń na skutek przemieszczenia obudowy wykopu. Są to z reguły uszkodzenia zlokalizowane na ścianach prostopadłych do wykopu (rys. 6);
- zmiana poziomu wody w otworach piezometrycznych; zainstalowanie czujników ciśnienia wody umożliwia obserwację powstawania zjawiska leja depresyjnego, w tym jego zasięgu. Z jednej strony informacja ta jest bardzo istotna dla prognozowania wpływu zmiany warunków hydrologicznych na osiadania sąsiednich obiektów budowlanych. Z drugiej strony instalacja czujników pod płytą fundamentową daje możliwość rejestrowania odbudowy ciśnienia hydrostatycznego wody, np. pomiędzy ścianami szczelinowymi. Pomiar ten wówczas odpowiada wprost na pytanie, jaka jest

wartość negatywnego parcia wody (wyporu) na płytę fundamentową;

- ciśnienie parcia gruntu na obudowę wykopu; na skutek deformacji obudowy wykopu dochodzi w pewnych obszarach do rozluźniania gruntu i wynikających stąd zmian ciśnienia parcia gruntu (rys. 5). Zmiany w warunkach obciążenia generują modyfikację deformacji ściany. Na tę interakcję nakłada się jeszcze zmiana warunków hydrologicznych podczas realizacji inwestycji. Możliwość weryfikacji w czasie budowy rzeczywistej wartości ciśnienia parcia gruntu na obudowę wykopu umożliwia weryfikację modelu obliczeniowego oraz realizację prac metodą obserwacyjną;
- ciśnienie oporu gruntu pod płytą fundamentową (fot. 2); pomiar ten ma szczególne znaczenie dla kalibracji modelu obliczeniowego. Wraz z pomiarem przemieszczenia pionowego realizowanego obiektu umożli-



**FOT. 2.** Czujnik do pomiaru ciśnienia gruntu pod płytą fundamentową



**RYS. 5.** Manualny przyrząd do określania zmiany rozwarcia rys i pęknięć w czasie: a) schemat punktu pomiarowego; b) uzyskiwane w wyniku pomiaru informacje o przemieszczeniach liniowych i kątowych ([www.shmsystem.pl](http://www.shmsystem.pl))

wia zbudowanie prawa fizycznego dla gruntu znajdującego się na poziomie posadowienia obiektu.

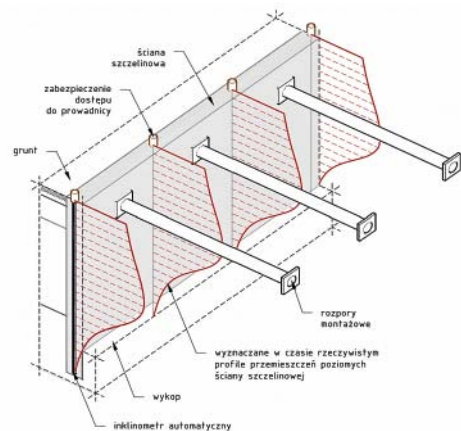
Oczywiście można zdefiniować jeszcze wiele innych wielkości fizycznych, których pomiar może być istotny dla weryfikacji pracy konstrukcji wznoszonej oraz sąsiadujących obiektów. Zadanie wyboru tych wielkości jest obowiązkiem projektanta systemu monitorowania, który będzie musiał jeszcze dobrać optymalne w danych warunkach techniki pomiarowe oraz przyjąć liczbę punktów, w których wykonywany będzie pomiar. Mając na uwadze koszty czujników, na pierwszym planie powinno stawać się przede wszystkim bezpieczeństwo konstrukcji.

### Pomiary inklinometryczne

Spośród wyżej wymienionych pomiarów statycznych w artykule szerzej zostanie opisany pomiar przemieszczeń kątowych realizowany w rurach inklinometrycznych (rys. 7) lub w stalowych zimnogiętych rurach kwadratowych. Zastosowanie tych drugich przewodnic dopuszczalne jest, z uwagi na ich znaczną sztywność na zginanie, wyłącznie w elementach betonowych lub żelbetowych.



**RYŚ. 7.** Typowe rury inklinometryczne z tworzywa sztucznego



**RYŚ. 8.** Automatyczny pomiar deformacji rozpiętej ściany szczelinowej (z lewej) oraz zasada wyznaczania przemieszczeń poziomych na podstawie pomiaru kątów (z prawej)

Standardowo czujnik kąta (zwany inklinometrem) wprowadzany jest do przewodnicy i podczas jego podciągania ku górze, we wcześniej zdefiniowanych punktach pomiarowych (zazwyczaj co 0,5 m) odczytywana jest wartość kąta. Kąty te opisują nachylenie stycznych do krzywej deformacji rury w jednej lub dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach pionowych [16]. Pomiary manualne prowadzone są w ustalonych w projekcie monitoringu odstępach czasowych uzależnionych od postępu robót na budowie, rodzaju konstrukcji obudowy wykopu, rodzaju gruntów zalegających na zewnątrz obudowy oraz wrażliwości obiektów zlokalizowanych w sąsiedztwie na przemieszczenia gruntu. Zazwyczaj odstępy te wynoszą od 7 do 14 dni, a po wykonaniu wykopu do poziomu dna płyty fundamentowej – nawet 30 dni.

Pomiary ręczne niestety nie umożliwiają bieżącej obserwacji przemieszczeń poziomych obudów wykopu i łatwo wykazać, że istnieje stosunkowo duże prawdopodobieństwo, że pomiędzy poszczególnymi sesjami pomiarowymi może dojść do deformacji skutkującej np. uszkodzeniem sąsiednich obiektów (por. rys. 3). Wadę tę niwelują całkowicie pomiary automatyczne wykonywane przy wykorzystaniu inklinometrycznych łańcuchów pomiarowych (rys. 8). Zestawy czujników kąta (inklinometrów) umieszczane są przed rozpoczęciem głębienia wykopu w takich samych przewodnicach, jakie wykorzystywane są do pomiarów manualnych. Czujniki komunikują się automatycznie co kilkanaście minut ze stacją bazową umieszczoną na budowie, wykorzystując drogę radiową. Stacja przekazuje pomiary do serwera pomiarowego, gdzie dane są przetwarzane i prezentowane w przystępnej formie (wykresy,

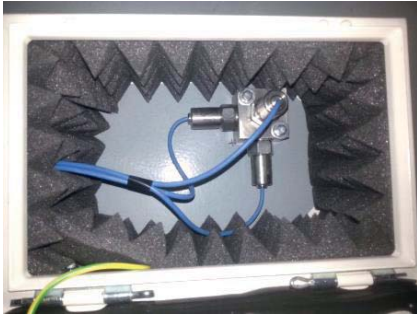
tabele). Dostęp do wyników pomiarów na ogół odbywa się przez serwis www, zatem możliwy jest z każdego urządzenia podłączonego do internetu. Dostawy tego typu rozwiązań umożliwiają również zdefiniowanie wartości alarmowych, po przekroczeniu których do osób odpowiedzialnych za bezpieczeństwo na budowie wysyłane są informacje sms.

Łańcuchy inklinometryczne są urządzeniami wielokrotnego użytku. Część firm proponuje ich wynajem, co powoduje, że koszt ich zastosowania jest już obecnie przystępny i w przypadku dużych budow może być niższy niż pomiar wykonywany manualnie. Biorąc pod uwagę bardzo istotne zalety pomiaru automatycznego wynikające z częstotliwości pozyskiwania danych, wydaje się, że metoda ta będzie coraz częściej stosowana na budowach w Polsce.

### Pomiary dynamiczne

Generowane przez roboty budowlane drgania przenoszone są na sąsiednie obiekty budowlane poprzez fale mechaniczne rozchodzące się w gruncie [18, 19]. Drgania te mogą być niebezpieczne dla konstrukcji obiektów [20] oraz mogą wpływać negatywnie na ludzi w nich przebywających [21]. Automatyczny pomiar przyspieszeń drgań wybranych elementów obiektów sąsiednich w czasie prowadzenia prac budowlanych powinien umożliwiać informowanie kierownictwa budowy w każdym przypadku, gdy odpowiedź obiektów jest bardziej niekorzystna niż zdefiniowano to w projekcie monitoringu. Wpływ drgań na ludzi w przypadku prac budowlanych jest mniej istotny, dlatego że oddziaływanie dynamiczne w tej sytuacji ma charakter krótkotrwały i jest generowane na ogół poza godzinami nocnymi.

Pomiary drgań w czasie realizacji inwestycji powinny być poprzedzone identyfikacją tzw. tła. Bardzo często w sąsiedztwie analizowanej budowy odbywa się codzienny ruch komunikacyjny (samochody, tramwaje, pociągi), generujący drgania istniejącej zabudowy. Rejestracja odpowiedzi budynków na te wymuszenia umożliwi porównanie przebiegów czasowych zapisanych przed rozpoczęciem właściwych prac budowlanych z przebiegami, w których zarejestrowano wpływ budowy. Bardzo często zdarza się, że drgania powodowane przez prace budowlane są mniejsze (z punktu widzenia ekstremum amplitudy lub wartości RMS) niż wymusze-



FOT. 3. Trójosiowy punkt pomiaru drgań

nia generowane ruchem komunikacyjnym. Dodatkowo należy wskazać, że z reguły drgania o częstotliwości przekraczającej 100 Hz nie są szkodliwe dla budynków, ale są odczuwalne przez ludzi, gdyż powodują powstawanie zjawisk akustycznych (drgające szyby, filiżanki itp.). Automatyczny zapis ekstremalnych przebiegów czasowych drgań umożliwia wstępną bieżącą ich analizę online konieczną do zarządzania pracami budowlanymi. Daje również podstawy do wykonania szczegółowych obliczeń eksperckich w przypadku wystąpienia roszczeń ze strony sąsiadów.

Zainstalowane czujniki mogą zostać pozostawione w obiekcie w celu późniejszej obserwacji wpływu eksploatowanej nowej konstrukcji na obiekty istniejące. Również w tym przypadku pomiary automatyczne mają służyć właściwemu zarządzaniu np. taborem kolejowym, którego wpływ na wartości przyspieszeń drgań jest bardzo istotny.

Na fot. 3 pokazano przykładowy widok trójosiowego punktu pomiarowego przyspieszeń drgań. Do obserwacji obiektów budowlanych korzystnie jest stosować akcelerometrię piezoelektryczną, które umożliwiają pomiar praktycznie od 0 Hz. Ten niski zakres pomiarowy czujników jest niezbędny w przypadku budownictwa w celu poprawnego analizowania odpowiedzi konstrukcji na przykładane doń oddziaływania.

## Podsumowanie

Monitoring wybranych wielkości fizycznych w czasie budowy ma bardzo istotne znaczenie kontrolne. Nie chodzi tutaj tylko o negatywny wpływ wznoszonego obiektu na obiekty sąsiednie lub/i otaczający grunt. Ważne jest także zdefiniowanie mierzonych wielkości fizycznych oraz sposobu ich pozyskiwania, aby możliwa była odpowiedź na pytanie, czy wykonywane prace prowadzone są prawidłowo. Autorzy nie

mają tutaj na myśli tylko wyrywkowej kontroli spełnienia pewnych parametrów, np. przez zastosowane materiały czy wykorzystywane technologie. Istotny jest ostateczny efekt w postaci gotowego obiektu, który powinien odpowiadać wymaganiom postawionym przed projektantem i wykonawcą przez inwestora.

Pomiary mogą być wykonywane podczas realizacji inwestycji i służyć tylko kontroli poziomu oddziaływań budowy na obiekty sąsiednie. Mogą również umożliwiać modyfikację sposobu wykonania obiektu (w aspekcie technologicznym) lub rozwiązań konstrukcyjnych (metoda obserwacyjna).

Podjmowanie szybkich decyzji wymaga automatyzacji pomiarów. Dzięki temu osoby odpowiedzialne za bezpieczeństwo konstrukcji mogą analizować wyniki monitoringu w okresie kilku minut po zaistnieniu danego zdarzenia. Umożliwia to optymalne zarządzanie budową w kontekście jej wpływu na obiekty sąsiednie. <

## Literatura

- [1] Godlewski T.: Oddziaływanie w przestrzeni podziemnej obiektów w warunkach infrastruktury miejskiej, GDMT geoinżynieria, drogi, mosty, tunele, 03/2016.
- [2] Ustawa Prawo Budowlane, Dz. U. nr 89, poz. 414 z 1994 r. z późniejszymi zmianami.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. nr 75, poz. 690 z 2002 r. z późniejszymi zmianami.
- [4] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych, Dz. U. z 2012 r., poz. 463.
- [5] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz. U. z 2012, poz. 462).
- [6] PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – część 1: Zasady ogólne,
- [7] PN-EN 1997-2:2009. Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- [8] PN-EN 1990:2004. Eurokod 0: Podstawy projektowania konstrukcji.
- [9] Instytut Techniki Budowlanej, Instrukcja 443/2009; System kompleksowego zarządzania jakością w budownictwie, Bezdotykowe metody obserwacji i pomiarów obiektów budowlanych, Warszawa, 2009.
- [10] Kadela M., Bednarski Ł.: Wytyczne obserwacji ciągłej obiektów zlokalizowanych na terenach górniczych, Przegląd Górniczy, ISSN 0033-216X. – 2014 t. 70 nr 8.
- [11] Bednarski Ł., Sieńko R., Howiacki T.: Wybrane aspekty monitorowania konstrukcji, XXX Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 25–28 marca 2015 r.
- [12] Bednarski Ł., Sieńko R.: Pomiary odkształceń konstrukcji czujnikami strunowymi, Inżynieria i Budownictwo nr 11/2013.
- [13] Bętkowski P., Bednarski Ł., Sieńko R.: Structural Health Monitoring of a rail bridge structure impacted by mining operation, Czasopismo Techniczne nr 6-B/2014, s. 15–27.
- [14] Zych M.: Thermal Cracking of the Cylindrical Tank under Construction. II: Early Age Cracking, Journal of Performance of Constructed Facilities 29(4): 04014101, July 2014.
- [15] Szydłowski R., Maślak M., Pazdanowski M.: Monitoring of the prestressed concrete slabs with unbonded tendons during erection and in use, International RILEM Conference on Materials, 22–24 August 2016, Lyngby, Denmark.
- [16] Bednarski Ł., Milewski S., Sieńko R.: Determination of vertical and horizontal soil displacements in automated measuring systems on the basis of angular measurements, Czasopismo Techniczne nr 6-B/2014, str. 4–13.
- [17] Instytut Techniki Budowlanej, Instrukcja 376/2002: Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów, Warszawa, 2002.
- [18] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E.: Ocena wpływu wibracji na budowle i ludzi w budynkach (diagnostyka dynamiczna), Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 1993.
- [19] Kawecki J., Stypuła K., Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2013.
- [20] PN-85/B-02170 – Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoża na budynki.
- [21] PN-88/B-02171 – Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.