



Temat specjalny

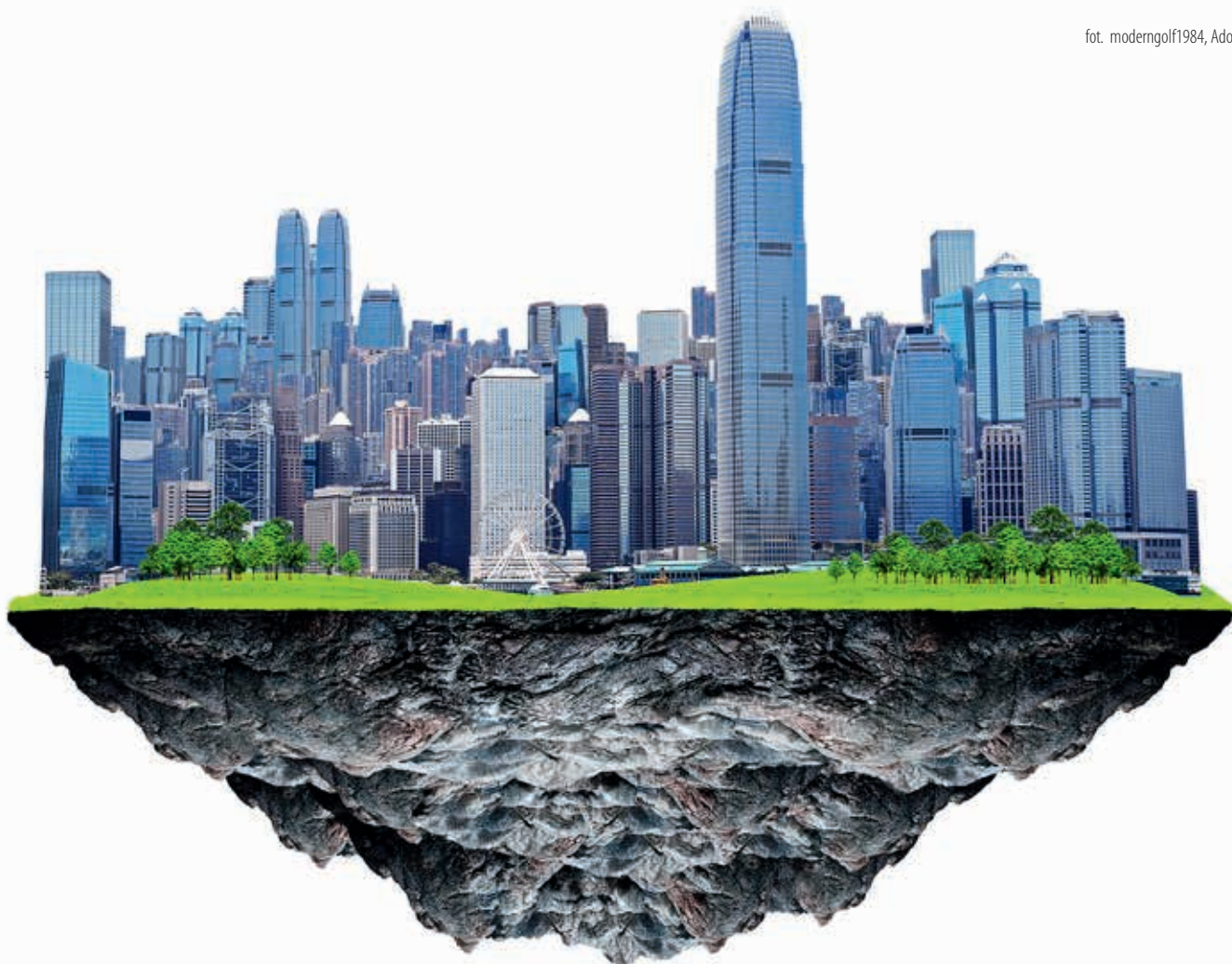
# Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego

tekst: **MARIAN KOWACKI**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne



Geotechniczna ocena warunków posadowienia, służąca do właściwego zaprojektowania bezpiecznego obiektu na podstawie przeprowadzonego rozpoznania podłoża, stanowi integralną część projektu budowlanego. Szczególna odpowiedzialność w tym zakresie spoczywa na inżynierach z branży generalnego wykonawstwa, projektantach oraz inwestorach. To w ich gestii leży zwrócenie uwagi na aspekty związane z odpowiednim przygotowywaniem dokumentacji badań podłoża gruntowego, będącej podstawą do właściwego określenia ryzyka geotechnicznego w realizowanym projekcie.

fot. moderngolf1984, Adobe Stock



Dokładne określenie warunków gruntowych stanowi bardzo istotny element procesu inwestycyjnego – wpływa na bezpieczeństwo konstrukcji oraz koszty związane z realizacją projektu. W związku z tym kluczowe informacje i dane geotechniczne powinny być dostępne na każdym etapie projektowania oraz dostosowane do wymagań obiektu i przewidzianego ryzyka.

## Podstawy prawne

Prawodawstwo nakazuje, aby warunki geotechniczne na potrzeby procesu inwestycyjnego dokumentować przez opracowanie geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych, bazując na obowiązujących w tym zakresie uregulowaniach prawnych. Do aktów prawnych, które regulują niniejsze kwestie, należą Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane, Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze oraz szereg norm (w tym Eurokod 7) i rozporządzeń.

W ustawie Prawo budowlane [1] w art. 34 ust. 3 zdefiniowano zawartość projektu budowlanego, zaś w pkt 4 wprowadzono pojęcie geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych, włączając je, w zależności od potrzeb, jako jeden z elementów projektu architektoniczno-budowlanego.

Zgodnie z par. 3 ust. 1 Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych [2], zakres czynności projektowej obejmuje:

- zaliczenie obiektu budowlanego do odpowiedniej kategorii geotechnicznej,
- zaprojektowanie odwodnień budowlanych,
- przygotowanie oceny przydatności gruntów stosowanych w budowlach ziemnych,
- zaprojektowanie barier lub ekranów uszczelniających,
- określenie nośności, przemieszczeń i ogólnej stateczności podłoża gruntowego,
- ustalenie wzajemnego oddziaływania obiektu budowlanego i podłoża gruntowego w różnych fazach budowy i eksploatacji, a także wzajemnego oddziaływania obiektu budowlanego i obiektów sąsiadujących,
- ocenę stateczności zboczy, skarp wykopów i nasypów,
- wybór metody wzmacniania podłoża gruntowego i stabilizacji zboczy, skarp wykopów i nasypów,
- ocenę wzajemnego oddziaływania wód gruntowych i obiektu budowlanego,
- ocenę stopnia zanieczyszczenia podłoża gruntowego i dobór metody oczyszczania gruntów.

W [2] zakres czynności wykonywanych przy ustalaniu geotechnicznych warunków posadawiania uzależniono od zaliczenia obiektu budowlanego do odpowiedniej kategorii geotechnicznej.

## Ustalenie kategorii geotechnicznej

Kategorię geotechniczną, zgodnie z [2], ustala się w opinii geotechnicznej w zależności od stopnia skomplikowania warunków gruntowych oraz konstrukcji obiektu budowlanego, charakteryzujących możliwości przenoszenia odkształceń i drgań, stopnia złożoności oddziaływań, stopnia zagrożenia życia i mienia awarią konstrukcji, jak również od wartości zabytkowej lub technicznej obiektu budowlanego i możliwości znaczącego oddziaływania tego obiektu na środowisko.

Warunki gruntowe w [2] podzielono ze względu na stopień ich skomplikowania. Proste warunki gruntowe występują w przypadku warstw gruntów jednorodnych genetycznie i litologicznie, zalegających poziomo, nieobejmujących mineralnych gruntów słabonośnych, gruntów organicznych i nasypów niekontrolowanych, przy zwierciadle wody poniżej projektowanego poziomu posadowienia oraz braku występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych. O warunkach złożonych mówi się w przypadku występowania warstw gruntów niejednorodnych, nieciągłych, zmiennych genetycznie i litologicznie, obejmujących mineralne grunty słabonośne, grunty organiczne i nasypy niekontrolowane, przy zwierciadle wód gruntowych w poziomie projektowanego posadawiania i powyżej tego poziomu oraz przy braku występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych. Warunki skomplikowane występują w przypadku warstw gruntów, w których zachodzą niekorzystne zjawiska geologiczne, zwłaszcza zjawiska i formy krasowe, osuwiskowe, sufozyjne, kurzawkowe, glacictektoniczne. Ponadto warunki skomplikowane występują w przypadku gruntów ekspansywnych i zapadowych, na obszarach szkód górniczych, przy możliwych nieciągłych deformacjach górotworu, w obszarach dolin i delt rzek oraz na obszarach morskich.

W [2] wyróżniono także trzy kategorie geotechniczne obiektów budowlanych. Do pierwszej zaliczono posadawianie niewielkich obiektów budowlanych o statycznie wyznaczalnym schemacie obliczeniowym i w prostych warunkach gruntowych, w przypadku których możliwe jest zapewnienie minimalnych wymagań na podstawie doświadczeń i jakościowych badań geotechnicznych. Druga kategoria geotechniczna obejmuje objekty budowlane posadawiane w prostych i złożonych warunkach gruntowych, wymagające ilościowej i jakościowej oceny danych geotechnicznych i ich analizy. Natomiast w trzeciej kategorii geotechnicznej znalazły się objekty budowlane posadawiane w skomplikowanych warunkach gruntowych, nietypowe objekty budowlane, objekty budowlane zaliczane do inwestycji mogących zawsze znacząco oddziaływać na środowisko, budynki wysokościowe projektowane w istniejącej zabudowie miejskiej, objekty wysokie, których głębokość posadawiania bezpośredniego przekracza 5,0 m lub które zawierają więcej niż jedną kondygnację zagłębioną w gruncie, tunele w twardych i niespękanych skałach, w warunkach niewymagających specjalnej szczelności, objekty infrastruktury krytycznej oraz objekty zabytkowe i monumentalne. Od warunków gruntowych i kategorii geotechnicznej zależy rodzaj sporządzanej dokumentacji (tab. 1).

## Dokumentacja formalnoprawna

Zgodnie z par. 7 [2], wyniki badań geotechnicznych sporządza się w formie:

- opinii geotechnicznej (zdefiniowanej w par. 8 rozporządzenia) dla wszystkich kategorii geotechnicznych, która powinna ustalać przydatność gruntów na potrzeby budownictwa oraz wskazywać kategorię geotechniczną obiektu budowlanego;
- dokumentacji badań podłoża gruntowego dla drugiej i trzeciej kategorii geotechnicznej (zdefiniowanej w par. 9, zgodnej z PN-EN 1997-1 i 1997-2), zawierającej opis metodyki polowych i laboratoryjnych badań gruntów, ich wyniki i interpretację,

Tab. 1. Rodzaje potrzebnych dokumentów w zależności od warunków gruntowych i kategorii geotechnicznej według [2]

Warunki gruntowe	Pierwsza kategoria geotechniczna	Druga kategoria geotechniczna	Trzecia kategoria geotechniczna
Proste	opinia geotechniczna	opinia geotechniczna, dokumentacja badań podłoża gruntowego, projekt geotechniczny	opinia geotechniczna, dokumentacja badań podłoża gruntowego, projekt geotechniczny, dokumentacja geologiczno-inżynierska
Złożone	opinia geotechniczna, dokumentacja badań podłoża gruntowego	opinia geotechniczna, dokumentacja badań podłoża gruntowego, projekt geotechniczny, dokumentacja geologiczno-inżynierska	
Skomplikowane	opinia geotechniczna, dokumentacja badań podłoża gruntowego, projekt geotechniczny, dokumentacja geologiczno-inżynierska		

model geologiczny oraz zestawienie wyprowadzonych wartości danych geotechnicznych dla każdej warstwy;

- projektu geotechnicznego dla drugiej i trzeciej kategorii geotechnicznej, którego zawartość zdefiniowanego w par. 10 [2]. Zgodnie z Prawem geologicznym i górniczym [3], w przypadku występowania skomplikowanych warunków gruntowych wykrytych podczas badania gruntu (trzecia kategoria geotechniczna i druga w złożonych warunkach gruntowych) konieczne jest sporządzenie oddzielnej dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. Dokumentacja ta powinna także zawierać prognozę wpływu projektowanych obiektów na środowisko oraz opis procesów geodynamicznych, jeśli takie występują. W odróżnieniu od pozostałych dwóch dokumentów wymaga ona zatwierdzenia urzędowego. Wykonuje się ją na podstawie przygotowanego i przedstawionego do zatwierdzenia projektu robót geologicznych, zawierającego dane projektowanej budowli – jej wielkość, rodzaj oraz sposób i głębokość posadowienia.

### Planowanie i etapy badań podłoża

Na etapie projektu budowlanego i wykonawczego odpowiednio przygotowane informacje i dane geotechniczne pozwalają uniknąć ryzyka wypadków, opóźnień i szkód. Badania geotechniczne przeprowadza się w celu ustalenia warunków geotechnicznych, określenia właściwości gruntów i skał oraz zebrania dodatkowej istotnej wiedzy o danym terenie. Aby informacja geotechniczna była użyteczna, należy ją dokładnie zebrać, zapisać i zinterpretować. Jej zawartość, zależnie od potrzeb, obejmuje warunki występujące w podłożu, charakterystykę geologiczną, geomorfologiczną, aktywność sejsmiczną oraz warunki wodne. Należy także uwzględnić zmienność warunków podłoża, które mogą mieć wpływ na wybór kategorii geotechnicznej. Dlatego powinny zostać określone w pierwszym etapie badań podłoża.

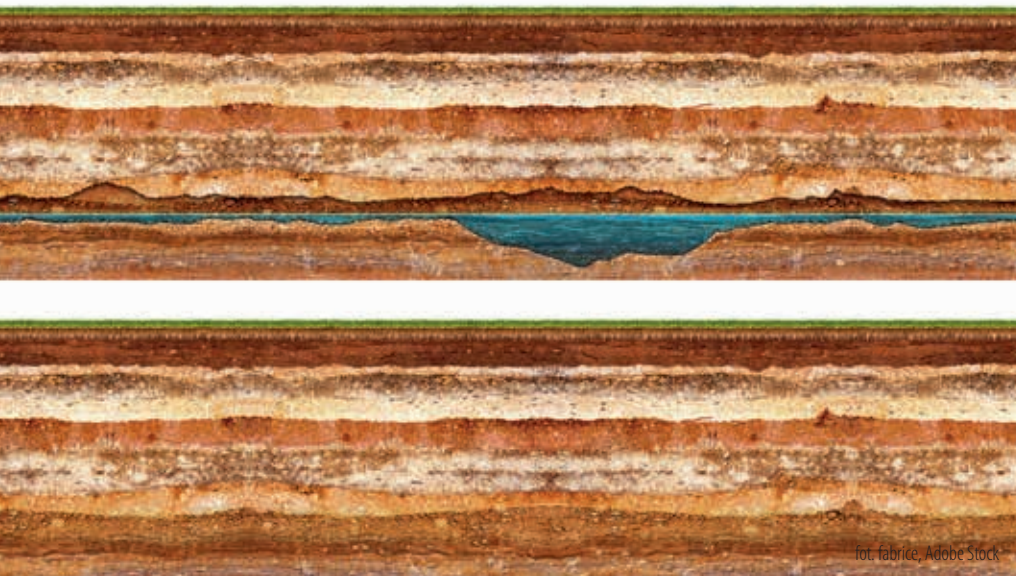
W rezultacie rozpoznania podłoża powinno się uzyskać informacje potrzebne do sporządzenia opisu warunków występujących w podłożu, które mają znaczenie dla proponowanych prac, oraz stworzyć podstawę do oszacowania parametrów geotechnicznych istotnych na wszystkich etapach budowy. Informacje te powinny także umożliwić ocenę szeregu zagadnień, takich jak:

- przydatność danej lokalizacji dla proponowanej budowli i ocena poziomu ryzyka,
- deformacja podłoża spowodowana przez budowlę lub będąca wynikiem prac budowlanych, rozkładu przestrzennego i zachowania w czasie,
- bezpieczeństwo w odniesieniu do stanów granicznych,
- obciążenia przekazywane na budowlę ze strony podłoża (np. boczne parcie na pale) i zakresu, w jakim zależą one od projektu budowli i jej konstrukcji,
- metoda posadowienia,
- kolejność prac fundamentowych,
- oddziaływanie budowli i jej użytkowania na otoczenie,
- wszelkie dodatkowe wymagane zabezpieczenia konstrukcyjne,
- oddziaływanie prac budowlanych na otoczenie,
- rodzaj zasięgu i zanieczyszczenia podłoża w miejscu lokalizacji i w jego sąsiedztwie,
- skuteczność przyjętych środków w celu powstrzymania lub zapobiegania zanieczyszczeniu.

W badaniach geotechnicznych powinno się także uwzględnić ocenę istniejącej zabudowy oraz przeanalizować jej historię zarówno na danym terenie, jak i wokół niego. Sporządzenie programu badań powinno poprzedzić zebranie i ocena dostępnych informacji i dokumentów archiwalnych, a samo rozpoznanie podłoża należy wykonywać etapowo. Dzięki podziałowi badań na wstępne, projektowe, a później kontrolę i monitoring można reagować na bieżąco, zależnie od ewentualnych problemów pojawiających się na każdym z etapów [4].

### Przegląd metod wykorzystywanych w rozpoznaniu i ocenie właściwości podłoża gruntowego

Zakres badań geotechnicznych gruntu, określonych w [2], ustala się w zależności od kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego. Dla obiektów budowlanych pierwszej kategorii geotechnicznej zakres tych badań może być ograniczony do wierceń i sondowań oraz określenia rodzaju gruntu na podstawie analizy makroskopowej. Wartości parametrów geotechnicznych można określać przy wykorzystaniu lokalnych zależności korelacyjnych. W przypadku obiektów budowlanych drugiej



i trzeciej kategorii oprócz wymienionych badań powinno się także przeprowadzić szereg dodatkowych działań, określonych szczegółowo w [2] par. 6 ust. 3.

Dla sporządzenia dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, która pozwoliłaby zoptymalizować sposób posadowienia fundamentów oraz zapewniła bezpieczeństwo funkcjonowania obiektu, w zależności od budowy geologicznej i rodzaju inwestycji budowlanej wykonuje się następujące prace:

- badanie gruntu przez wiercenia badawcze,
- sondowanie statyczne CPT,
- sondowanie statyczne CPTU,
- sondowanie dynamiczne SLVT, DPL lub DPSH,
- pomiary głębokości poziomu wód gruntowych.

Na podstawie prób pobranych do badań laboratoryjnych za pomocą badań makroskopowych, laboratoryjnych oraz sondowania określa się parametry geotechniczne gruntów. W przypadku występowania wody gruntowej w poziomie posadowienia określa się również agresywność wody w stosunku do betonu.

Stale wzrasta znaczenie badań *in situ*, w szczególności w przypadku badań podłoża, z którego trudno pobrać próbki gruntów do badań laboratoryjnych o wymaganej klasie jakości I lub II. Wpływają na to niezaprzeczalnie zalety tego rodzaju badań, do których zalicza się większą wydajność i efektywność ekonomiczną w porównaniu z pobieraniem próbek i badaniami laboratoryjnymi, dużą liczbę danych oraz ocenę zmienności zarówno pionowej, jak i poziomej. Dzięki ciągłemu zapisowi wyników badań *in situ* możliwe jest określenie zmienności gruntów i ich właściwości na poziomie trudnym do uzyskania innymi metodami, także za pomocą badań laboratoryjnych. Niemniej jednak zarówno badania *in situ*, jak i badania laboratoryjne zawierają podobne ryzyko niewykrycia w podłożu ekstremalnych warunków geotechnicznych, jak niewielka miąższość warstw słabych gruntów, decydujących często o stateczności projektowanej budowli.

Do typowych badań podłoża w terenie zalicza się:

- wiercenie z pobraniem z wytypowanych głębokości próbek gruntów o nienaruszonej strukturze za pomocą cienkościennych próbników (np. Shelby, NeSGI),
- badania (często w regularnych przedziałach głębokości, np. co 1,5 m) sondą SPT z pobraniem próbek gruntów do badań makroskopowych i sondowania CPTU i DMT,

- wieloparametryczne sondowania SCPTU (np. sondą Icone Seismic Module) i SDMT (dylatometr seismiczny), wykonywane zwłaszcza w przypadku obiektów budowlanych trzeciej kategorii geotechnicznej.

W coraz szerszym zakresie zarówno do opracowania programu badań *in situ*, jak i interpretacji wyników sondowań i badań innymi metodami wykorzystuje się również badania teledetekcyjne. Dzięki badaniom teledetekcyjnym wraz z wykonywaniem i interpretacją zdjęć lotniczych i satelitarnych oraz lotniczym i naziemnym skanowaniem laserowym zebrane dane pozwalają na utworzenie cyfrowego modelu terenu (DMT) [5].

## Podsumowanie

Konstrukcje budynków często są posadawiane w złożonych i skomplikowanych warunkach geologiczno-inżynierskich, na gruntach słabooszczędnych, terenach osuwiskowych czy w zasięgu wpływu eksploatacji górniczej. Prawidłowe rozpoznanie podłoża gruntowego jest jednym z kluczowych elementów gwarantujących późniejsze bezpieczeństwo budowli. Obecny stan myśli inżynierskiej jak nigdy wcześniej umożliwia stosowanie rozwiązań i technik posadowień obiektów na terenach o niekorzystnych warunkach geotechnicznych, wytyczając kierunki rozwoju eksperymentalnej geotechniki.

## Literatura

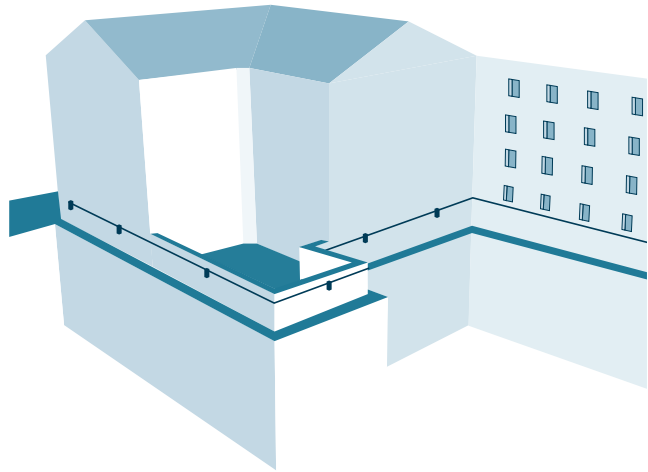
- [1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane. Dz.U. 1994, nr 89, poz. 414.
- [2] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych. Dz.U. 2012, poz. 463.
- [3] Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. 2011, nr 163, poz. 981.
- [4] Jermołowicz P.: *Badania geotechniczne – kategorie geotechniczne* (online). Dostępny w Internecie: [http://www.inzynieriasrodowiska.com.pl/images/pdf\\_encyklopedia/badania\\_geotechniczne\\_-\\_kategorie\\_geotechniczne.pdf](http://www.inzynieriasrodowiska.com.pl/images/pdf_encyklopedia/badania_geotechniczne_-_kategorie_geotechniczne.pdf) (dostęp 20 czerwca 2017).
- [5] Garbulewski K., Lech M.: *Znaczenie badań in situ w projektowaniu geotechnicznym*. „Acta Scientiarum Polonorum. Architectura” 2013, nr 4, s. 61–73.



*Czym jest monitoring strukturalny? Jak skuteczne jest to narzędzie w przebudowie i renowacji zabudowy miejskiej?*



**mgr. inż. JERZY  
PIERONKIEWICZ,  
mgr. inż. MARTA  
SZCZEPAŃSKA,  
GEO-Instruments Polska**



Przebudowa lub renowacja istniejącej konstrukcji wiąże się z wywołaniem na nią oddziaływań powodujących ryzyko uszkodzenia. Aby zminimalizować to zagrożenie, zaleca się zastosować monitoring strukturalny, pozwalający podjąć świadome decyzje odnośnie do prowadzonych prac. Ciągłe pomiary parametrów w wielu punktach konstrukcji oraz trendy mierzonych wartości ułatwiają przewidywanie skutków prowadzonych prac, a natychmiastowa informacja o nagłym skoku wartości lub przekroczeniu wartości alarmowych umożliwia przerwanie prac przed wystąpieniem awarii. Takie podejście daje możliwość wariantowego projektowania wzmocnień i zastosowania ich tylko w przypadku stwierdzenia wczesnych oznak niekorzystnych zmian stanu konstrukcji.

Monitoring jest szczególnie ważny w przypadku robót powodujących stałe i duże zagrożenie dla przebudowywanych lub sąsiednich obiektów, jak wykonywanie głębokich wykopów w centrach miast, budowa tuneli pod istniejącą zabudową oraz zmiany w konstrukcji istniejących, a zwłaszcza starych konstrukcji. Zastosowanie monitoringu ogranicza ryzyko wystąpienia niekontrolowanych zmian struktury, przez co zwiększa bezpieczeństwo ludzi pracujących przy projekcie oraz zapewnia pozytywne zakończenie całego procesu budowlanego.

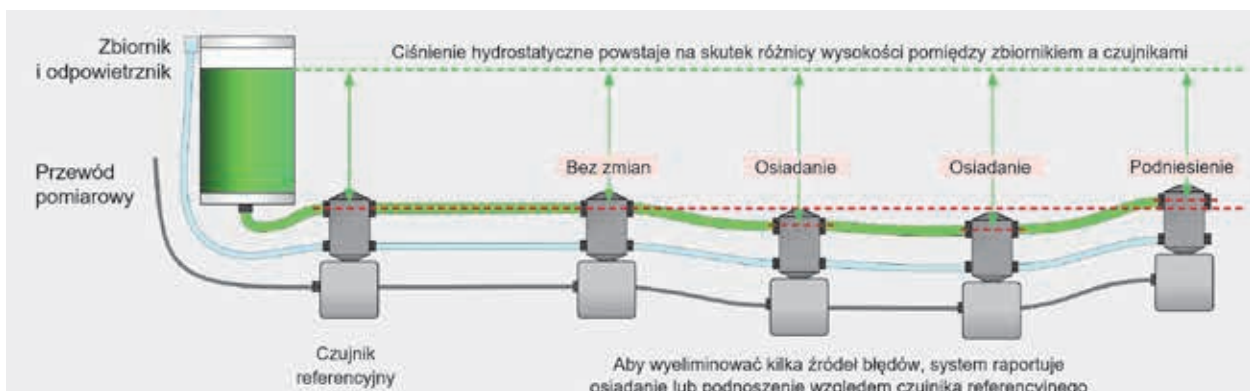
Monitoring istniejących obiektów powinien rozpocząć się od inwentaryzacji i sprawdzenia stanu technicznego oraz w miarę precyzyjnego określenia możliwych oddziaływań i zagrożeń dla konstrukcji mierzonego obiektu. Na tej podstawie można określić zakres monitoringu, aby odpowiednio zaprojektować system, który może obejmować następujące pomiary:

- drgania i hałas,
- przemieszczenia i osiadania,

- pochylenia,
- rozwarcie rys,
- naprężenia.

Aby zapewnić ciągły i nieprzerwany dostęp do rejestrowanych wyników osobom odpowiedzialnym za prowadzenie prac, stosuje się oprogramowanie zintegrowane z serwerem danych, umożliwiające:

- odczyt bieżących i archiwalnych pomiarów,
  - tworzenie wykresów parametrów, aby umożliwić określenie trendów i prognozowanie zachowania mierzonej konstrukcji,
  - wizualizację rozmieszczenia czujników na mierzonej konstrukcji wraz z ich odczytami, co pozwala na łatwą i intuicyjną kontrolę ogromnej liczby danych uzyskiwanych dzięki ciągłym pomiarom,
  - programowanie progów ostrzegawczych oraz automatyczne wysyłanie wiadomości alarmowych do wskazanych osób.
- Podsumowując, warto podkreślić, że odpowiednio zaprojektowany i stabilnie działający monitoring konstrukcji to narzędzie pozwalające na bezpieczne i odpowiedzialne prowadzenie prac związanych z naprawą i przebudową zabudowy miejskiej.





## **Nasz monitoring w Twoich rękach**

