



Temat specjalny

# ROBOTY FUNDAMENTOWE – PROJEKTOWANIE I WYKONANIE FUNDAMENTÓW POŚREDNICH

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne



Fundament jest elementem konstrukcyjnym budowli, którego zadaniem jest przekazanie obciążenia na podłoże gruntowe w taki sposób, aby podłoże to nie osiadało nadmiernie, a cały układ budowla – fundament – podłoże gruntowe był stateczny. Trudne warunki gruntowe w większości sytuacji prowadzą do rezygnacji z posadowienia bezpośredniego obiektów inżynieryjnych na rzecz posadowienia pośredniego.

Fot. leporello - fotolia.com



Jeśli w poziomie posadowienia znajduje się grunt nienadający się do posadowienia bezpośredniego, wówczas stosuje się fundamentowanie pośrednie. Wiedza na temat warunków gruntowo-wodnych w podłożu projektowanej budowli umożliwia dobranie do nich najodpowiedniejszego rodzaju konstrukcji zarówno pod względem materiału, jak i układu statycznego.

### **Charakterystyka fundamentów pośrednich**

Fundamenty głębokie (pośrednie) przekazują obciążenia z budowli na niżej zalegające warstwy nośne przez dodatkowe elementy wprowadzone lub uformowane w gruncie w postaci pali lub studni, a nie całą podstawą, ponieważ warstwa gruntu o odpowiedniej wytrzymałości znajduje się tak głęboko, że wykonanie wykopów byłoby zbyt trudne bądź dojście do warstwy nośnej otwartym wykopem staje się nieopłacalne. Stosuje się wówczas różne sposoby posadowienia pośredniego. Najbardziej rozpowszechnione jest posadowienie na palach. W tym przypadku obciążenia z budowli są przenoszone przez pale na głębsze warstwy gruntu. Pale znajdują także zastosowanie m.in. w sytuacjach, gdy w podłożu występują grunty słabonośne lub nie ma możliwości odwodnienia wysokiego poziomu wody gruntowej (lub koszt odwodnienia byłby bardzo wysoki). Rozwiązanie w postaci pali stosuje się także, gdy zachodzi potrzeba zabezpieczenia budowli przed osuwiskiem czy w sytuacjach, gdy miejsce na fundamenty jest ograniczone.

W przypadku, gdy grunt nośny zalega głęboko i działają znaczne obciążenia pionowe, często wykorzystuje się studnie fundamentowe z betonu i żelbetu, o przekroju kolistym, kwadratowym, dwu- i wielokomorowym, które mogą być użyte zarówno w gruntach nienawodnionych, jak i nawodnionych. Zastosowanie posadowienia na studniach jest uzasadnione m.in. wtedy, kiedy grunty zalegające nad warstwą nośną są słabe lub bardzo słabe i tarcie na pobocznicy ma niewielkie znaczenie. W przypadku tego rozwiązania w bezpośrednim sąsiedztwie projektowanej studni nie powinny się znajdować obiekty posadowione płyciej, gdyż naruszenie struktury gruntu w wyniku wybierania z wnętrza studni może wpływać niekorzystnie na sąsiednią zabudowę.

W gruntach silnie nawodnionych lub stale pozostających pod wodą, np. przy posadawianiu ciężkich i zwartych w planie konstrukcji inżynierskich oraz przy budowie podziemnych obiektów, wykonuje się fundamenty na kesonach. Z kolei pod budowlami wysokimi, pod filarami i przyczółkami mostowymi, ścianami budynków wykonywanych obok budynków istniejących, a także przy wykonawstwie kanałów, tuneli i do wzmocnienia istniejących fundamentów stosuje się fundamenty na ścianach szczelinowych. Stanowiąc konstrukcyjną część fundamentu, pełnią różne zadania – mogą np. zabezpieczać szczelność pod podstawą fundamentu w różnego rodzaju budowlach piętujących.

Prawie we wszystkich konstrukcjach inżynierskich, a zwłaszcza w budownictwie mostowym i wodnym, jako elementy przekazujące obciążenie na grunt z filarów i przyczółków oraz nabrzeży i pomostów stosuje się fundamenty na kolumnach. Natomiast jeżeli obiekty posadawiane są w wodzie lub gdy występują bardzo duże obciążenia skupione albo też jest potrzebna duża sztywność, sięga się po pale wielkośrednicowe [1, 2].

### **Projektowanie fundamentów pośrednich**

Różnorodność technik i dostępnych technologii posadowienia obiektów umożliwia dokonanie wyboru najbardziej odpowied-



Fot. Laurentiu Iordache - fotolia.com

niej. Decyzja w tym zakresie jest uzależniona od wielu czynników: poprawności i bezpieczeństwa przenoszenia obciążeń z budynku w istniejących warunkach gruntowych, konstrukcji obiektu, jego lokalizacji, warunków realizacji, kosztów itd. W jej podjęciu niezwykle pomocna może się okazać matematyczna metoda wspomagająca proces decyzyjny – wielokryterialna analiza porównawcza. Pozwala ona na jednoczesne uwzględnienie aspektów technicznych, ekonomicznych, środowiskowych i innych, które powinno spełniać rozwiązanie problemu inżynierskiego.

Wybór w procesie decyzyjnym odpowiedniego wariantu wymaga uporządkowanego toku postępowania, ponieważ

*Czym należy się kierować przy wyborze techniki fundamentowania, aby zapewnić trwałość i stabilność budowli?*



**Mgr inż. KONRAD KLIMKOWSKI,  
prezes zarządu Tergon Sp. z o.o. Sp. K.**

Wybór odpowiedniej metody posadowienia obiektu budowlanego jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na właściwą pracę całej projektowanej konstrukcji. Właściwy dobór techniki fundamentowania

zwykle nie jest sprawą prostą. Decyzje w tym zakresie powinny zostać poprzedzone dokładną analizą wszystkich elementów mogących wpłynąć na jakość zastosowanego rozwiązania. W pierwszej kolejności należy przeprowadzić dokładne rozpoznanie podłoża gruntowego w celu ustalenia istniejących warunków posadowienia. W trakcie projektowania należy wziąć pod uwagę również przeznaczenie budowli, rodzaj konstrukcji oraz technologię jej wykonania. Zastosowany sposób posadowienia musi zapewnić bezpieczeństwo i właściwe warunki użytkowania w trakcie budowy, a także w przewidywanym okresie eksploatacji obiektu budowlanego. Jakość rozwiązania pod względem technicznym zawsze powinna być głównym kryterium wyboru techniki fundamentowania. Dokonując tego wyboru, nie można jednak zapominać o kwestiach wykonawczych. Warto upewnić się m.in., czy proponowane rozwiązanie da się zrealizować w miejscu planowanej inwestycji, choćby pod względem możliwości dostarczenia i zastosowania odpowiedniego dla danej technologii sprzętu. Z punktu widzenia inwestora nie mniej istotne co względy techniczne i wykonawcze są również skutki ekonomiczne podjętych decyzji. Nie ma jednej najlepszej technologii, która sprawdza się we wszystkich sytuacjach. Zwykle w każdym przypadku możliwe jest zastosowanie kilku równie dobrych rozwiązań. Ważne jest, by aspekt ekonomiczny nie odbijał się na jakości wybranej techniki fundamentowania, bo w tak ważnej kwestii, jaką jest posadowienie budowli, może to wpłynąć na obniżenie trwałości i stabilności obiektu.

każde zadanie stojące przed projektantem można rozwiązać za pomocą różnych rozwiązań – konstrukcyjnych, materiałowych, technologicznych i organizacyjnych.

Według jednej z proponowanych metodyk, pierwszą selekcję dostępnych technologii, odpowiednich do warunków realizowanej inwestycji, poprzedza analiza warunków realizacji. W przypadku fundamentów będą to m.in. rodzaj gruntu w podłożu, warunki hydrogeologiczne, typ obiektu, jego lokalizacja. Projektant dokonuje wyboru możliwych rozwiązań na podstawie wiedzy i doświadczenia, ograniczając w toku tego postępowania liczbę dostępnych wariantów, co jest ważne z uwagi na ekonomiczność tej fazy projektowania inwestycji. W drugim etapie następuje właściwa analiza wielokryterialna

zaproporzonych projektów, która może się składać z następujących kroków:

- zestawienie kryteriów oceny wariantu projektowego, w tym technicznych, technologicznych, ekonomicznych i ekologicznych, charakterystycznych dla rozważanego przykładu;
- wybór zbioru kryteriów do oceny najlepszych rozwiązań w aspekcie ekonomicznym i ekologicznym;
- ocena ważności wybranych kryteriów, ich ranking oraz ocena wartości kryteriów niemierzalnych przez ekspertów;
- wybór metody analizy wielokryterialnej;
- wykonanie analizy wielokryterialnej;
- analiza otrzymanych wyników;
- podjęcie decyzji i wdrożenie konkretnego rozwiązania.

Przedstawiona metodyka analizy wielokryterialnej ma charakter ogólny – może wykorzystywać różne metody oceny wartości kryteriów i rachunku wielokryterialnej optymalizacji [3].

### Konstruowanie fundamentów pośrednich

W miejscach, gdzie konieczne jest przeniesienie dużych, skoncentrowanych obciążeń na głębsze warstwy gruntu, często stosuje się fundamenty palowe. Ze względu na sposób przekazywania obciążenia pale dzieli się na słupowe (przekazujące obciążenia w zasadzie jedynie przez podstawę na warstwę nośną gruntu), zawieszane (przekazujące obciążenie przez siły tarcia na pobocznicę pala), normalne (obciążenia są przekazywane przez siły tarcia na pobocznicę i siły normalne w podstawie pala) oraz ukośne (gdy obciążenie poziome przekracza 10% obciążenia pionowego).

Pale wykonuje się w gruncie w różny sposób, przy czym wszystkie technologie można podzielić na takie, w których usuwa się grunt, a w jego miejsce wprowadza się materiał budowlany, głównie beton, oraz takie, gdzie nie usuwa się gruntu, co powoduje jego zagęszczenie. Pale można zagłębiać do 60 m i więcej, stąd ich umowny podział na krótkie (do 6 m), średnie (do 25 m) i długie (ponad 25 m). Ze względu na średnicę wyróżnia się pale małośrednicowe (do 15 cm), normalnośrednicowe (do 60 cm) i wielkośrednicowe (ponad 60 cm).

Fundamentowanie na studniach polega na zapuszczeniu w grunt studni betonowych lub żelbetowych. Przy zagłębianiu studni wykorzystuje się jej ciężar i jednocześnie wybiera grunt z jej wnętrza. W ten sposób cały układ jest pogrążany dzięki przewyciężeniu bocznego oporu gruntu wzdłuż całej powierzchni bocznej. Po zagłębieniu studni do projektowanej głębokości jej dno zamyka się przez zabetonowanie tzw. korka, który wykonuje się pod wodą. Po stwardnieniu betonu wypompuje się wodę ze studni, a w przypadku, gdy studnia pełni funkcję fundamentu, zabetonowuje się pozostałą przestrzeń.

Keson to otwarta od dołu skrzynia o szczelnych ścianach i stropie, do wnętrza której (komora robocza) doprowadza się sprężone powietrze. Grunt wybiera się poniżej zwierciadła wody w komorze roboczej, przy czym ciśnienie powietrza w komorze musi być na tyle duże, aby wypierać wodę gruntową z jej wnętrza i umożliwić pracę robotnikom. Dzięki usuwaniu ziemi z komory możliwe jest dokładne zbadanie gruntu pod względem jego właściwości, a w efekcie uzupełnienie wyników badań uzyskanych za pomocą wierceń, co stanowi potwierdzenie, że parametry gruntów stanowiących docelowy poziom posadowienia przyjęto poprawnie. W razie rozbieżności w stosunku

do założeń projektowych możliwe jest podjęcie środków zaradczych, np. zejście z poziomem posadowienia kesonu głębiej, zwiększenie podstawy fundamentu, wzmocnienie gruntów w podłożu czy posadowienie kesonu na palach.

Fundamenty ze ścian szczelinowych wykonuje się jak przepony wodoszczelne, a odcinki ścian szczelinowych mogą być użyte jako „pale”, na których posadawiana jest ława fundamentowa lub inny rodzaj konstrukcji oczepowej. Głębienie szczeliny za pomocą specjalistycznej koparki chwytakowej odbywa się sekcjami, przy czym długość, odstęp między nimi oraz kolejność realizacji zależą od warunków gruntowych, używanego urządzenia głębiącego oraz warunków realizacji robót na budowie. Ściany szczelinowe wykonywane są w wąskich (0,6–1,8 m), głębokich wykopach (20–30 m). Ściany utrzymują się w równowadze dzięki wypełnianiu szczeliny w miarę głębienia zawieszoną tiksotropową (bentonitową, iłową). Zbrojenie ścian jest zazwyczaj związane w kosze z wkładkami splecionych cienkim drutem, których szerokość odpowiada długości odcinków ściany. Długość koszy jest równa głębokości ścianki. Główne pręty zbrojenia pionowego są owijane strzemionami w celu przeniesienia naprężeń ścinających. Ponieważ grubość ścian szczelinowych jest mała, a co za tym idzie – sztywność ściany nie jest duża, wymagają one zwykle stworzenia podpór nieruchomych lub odkształcalnych. Zakotwienie jest najczęściej liniowe i składa się ze ściągów oraz z właściwej konstrukcji kotwiącej, na którą siły poziome wywierane na ściankę są przenoszone przez ściągi.

Kolejny rodzaj, fundamenty na kolumnach, mogą mieć postać wwiercanych pali pustakowych, z których wnętrza trzeba wybrać grunt. Innym przykładem są studnie rurowe, czyli cienkościennie rury wprowadzane w grunt przez wwbrowywanie. Fundamenty na kolumnach to także słupy, elementy prawie niewpuszczane w grunt, zajmujące przestrzeń między dnem basenu wodnego a podstawą nadbudowy.

Wykorzystywane w fundamentowaniu pale wielkośrednicowe charakteryzują się dużym udźwigniem – nawet do 10 MN. Do ich wykonywania stosuje się różne metody wykonawstwa i różne urządzenia, co szerzej przedstawiono w dalszej części artykułu [2].

### Wybrane technologie posadowienia pośredniego

Współczesnemu dążeniu do szybkiej realizacji robót, wynikającemu zarówno z przesłanek technicznych, jak i ekonomicznych, towarzyszy dynamiczny rozwój zastosowań pali – palowanie należy bowiem do najbardziej zmechanizowanych robót fundamentowych. Obecnie w różnych dziedzinach budownictwa stosuje się najczęściej pale gotowe lub wykonywane w gruncie. Pale gotowe przygotowywane są wcześniej, a następnie wprowadza się je w podłoże za pomocą różnych technik. Pale wbijane można podzielić ze względu na materiał, z którego są wykonane, oraz sposób wprowadzenia w podłoże na:

- prefabrykowane żelbetowe pale wbijane, umożliwiające dogęszczenie podłoża gruntowego;



## Na fundamencie **technologii**



### Oferujemy

- ➔ Gwoździe i kotwy gruntowe, mikropale i palościanki do średnic  $\varnothing$  300 mm.
- ➔ Stabilizacja skarp i likwidacja osuwisk.
- ➔ Wzmocnienia fundamentów istniejących obiektów budowlanych.
- ➔ Naprawa konstrukcji żelbetowych przy użyciu betonu natryskowego (torkret) lub zapraw PCC.
- ➔ Doradztwo w zakresie optymalizacji rozwiązań projektowych i doboru technologii.

[www.tergon.pl](http://www.tergon.pl)

**Tergon Sp. z o.o. sp. k.**  
os. Na Stoku 81/13  
25-437 Kielce

tel.: 22 / 720 06 67

e-mail: [biuro@tergon.pl](mailto:biuro@tergon.pl)

## Jak ważne jest przeprowadzenie próbnych obciążeń pali fundamentowych na etapie projektowania fundamentu palowego?



for. Gala Kreator Budownictwa Roku Wydawnictwa PIB



**ANDRZEJ KRUCZEK, dyrektor zarządzający, Lloyd Acoustics Polska Sp z o.o.**

Rozpoczęcie etapu tworzenia fundamentu palowego ma swój początek w momencie powstania pomysłu oraz koncepcji, na jaki rodzaj posadowienia się decydujemy. Czas poświęcony na powstanie koncepcji jest pierwszym i najlepszym momentem,

w którym posiadamy możliwość skorzystania z narzędzia, jakim są próbne obciążenia, jako nadal najdokładniejszym sposobie weryfikacji przyjętych założeń projektowych. Nieustanny rozwój technologii posadowień oraz ich ciągła optymalizacja wymuszają na projektantach korzystanie z tego narzędzia w celu optymalnego projektowania (również pod względem ekonomicznym), a także, co może najistotniejsze, uniknięcia kosztownych błędów wynikających ze zbyt odważnych założeń projektowych, braku doświadczenia lub po prostu błędów obliczeniowych. Warto zwrócić również uwagę na to, że koszt przygotowania i przeprowadzenia wstępnych próbnych obciążeń fundamentów wynosi nierzadko poniżej 5% wartości całego fundamentu i jest wartością pomijalną w stosunku do całej wartości inwestycji. Przy tej okazji należy także zaznaczyć, że w przypadku rezygnacji z programu badawczego zachodzi realne ryzyko powstania poważnych błędów, a nawet awarii posadowienia, których koszt naprawy może w ekstremalnych sytuacjach wynieść nawet do 100% wartości już wykonanego fundamentu. Rezygnacja z próbnych obciążeń jest więc nie tylko nierozsądna z punktu widzenia bezpieczeństwa konstrukcji i całej inwestycji, ale jest także nieuzasadniona ekonomicznie.

- pale stalowe, gdzie rury stalowe wbija się młotami wolno-spadowymi, spalinowymi, hydraulicznymi lub wprowadza przez wwibrowywanie;
- pale Vibro-Fundex, w pełni przemieszczeniowe, wykonywane w gruncie, bez wydobywania gruntu na powierzchnię. Stalowa rura z uszczelnioną podstawą jest wbijana za pomocą młota spalinowego lub hydraulicznego. Po wprowadzeniu zbrojenia wypełnia się ją betonem;
- pale typu Franki, najdłużej wykorzystywane do fundamentowania głębokiego. W ujęciu klasycznym rura stalowa jest wbijana bijakiem wolno-spadowym. Osobną grupę stanowią pale wykonywane bez rur osłonowych, wśród których wyróżnia się:
  - pale formowane świdrem ciągłym CFA, wykazujące się najwyższą efektywnością w gruntach spoiстых twardestycznych i niespoistych o wysokim stopniu zagęszczenia;
  - pale Starsol, wykonywane metodą świdra ciągłego, które dzięki zastosowaniu podwójnej rury rdzeniowej, umożliwia-

jając zanurzenie dolnej części rury na ok. 1 m w betonie, eliminują niebezpieczeństwo obwałowań, zmniejszają naruszenie struktury gruntów oraz ograniczają odprężenie gruntu pod podstawą pala;

- pale PCS Lambda, o większej średnicy rury rdzeniowej świdra niż pale CFA, wykorzystywane gdy wymagana jest gruba i stabilna otulina zbrojenia oraz pewność doprowadzenia zbrojenia do końca pali, szczególnie w przypadku pali ukośnych ze zbrojeniem;
- pale CFP, SPGO, CSP – pale CFP to połączenie technologii CFA i tradycyjnych pali wierconych. Technologia wykonania pali SPGO i CSP polega na połączeniu technologii CFA i klasycznych pali wierconych z rurą osłonową na części długości pala. Pracują wówczas dwie niezależnie obracające się głowice – jedna obraca świder ślimakowy, a druga rurę osłonową;
- pale Soilex, powstałe z połączenia klasycznej technologii pali CFA z metodą wykonania pali z rozszerzoną komorą nad podstawą pala (*expander body*);
- mikropale CFA, połączenie tradycyjnej technologii CFA z zabiegami iniekcijnymi specyficznymi dla mikropali i kotew gruntowych;
- pale Omega i CG Omega, w przypadku których specjalna konstrukcja świdra powoduje pełne przemieszczenie gruntu na boki z dogęszczeniem podłoża w czasie wkręcania i podnoszenia świdra;
- pale Atlas, wkręcane w grunt z wciskaniem, betonowane na sucho, z pełnym przemieszczaniem gruntu w podstawie i na pobocznicy;
- pale przemieszczeniowe SDP Bauer BG, FDP, SDP, gdzie na rurze rdzeniowej osadzony jest świder o nieco zróżnicowanych proporcjach geometrycznych, napędzany przez różne rodzaje maszyn;
- pale de Wall, których podstawowe etapy wykonania, betonowania i wprowadzenia zbrojenia są takie same, jak dla całej grupy pali przemieszczeniowych;
- pale Tubex, wkręcane z iniekcją na pobocznicy pod postawą, które można wykonywać w terenie otwartym oraz w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących obiektów i fundamentów. Pale wiercone wielkośrednicowe – w zależności od warunków gruntowych oraz możliwości technicznych – stosuje się jako pale wiercone bez rur osłonowych, wiercone w zawieszinie bentonitowej lub polimerowej, wiercone w rurze osłonowej wwibrowywanej czy wiercone w rurze osłonowej. Wykonywaniu pali wierconych z wydobywaniem gruntu towarzyszy zawsze pewne odprężenie podłoża, zmiana stanu naprężeń pionowych i poziomych, a w konsekwencji rozluźnienie gruntu. By zmniejszyć osiadania i zwiększyć nośność pod i wokół pala, wykonuje się iniekcję – metodą sztywnej komory iniekcyjnej (np. pod silnie obciążone obiekty przemysłowe i mostowe), iniekcji bezpośredniej bezkomorowej (głównie do posadowień obiektów typu mostowego) lub elastycznej komory z geotkaniny (do posadowień obiektów mostowych, dla pali posadowionych w gruntach niespoistych i spoiстых) [4].

### Bezpieczne fundamenty, czyli jakie?

Bezpiecznie zaprojektowany fundament musi spełniać warunki w zakresie wymaganej nośności, dopuszczalnych odkształceń (osiadania), właściwej stateczności i wytrzymałości.



# Lloyd Acoustics

## POLSKA

gdy chcesz być pewny...

### NIEZALEŻNE BADANIA FUNDAMENTÓW GŁĘBOKICH

#### Próbné obciążenia statyczne

- pomiar przemieszczeń i siły oraz określenie nośności
- wyznaczenie odkształceń na długości trzonu badanego elementu przy użyciu ekstensometrów
- na wciskanie, wyciąganie lub obciążenia poziome
- przy użyciu pali kotwiących, metodą balastową lub mieszaną
- realizowane w oparciu o normy, specyfikacje techniczne oraz szczegółowe wytyczne Klienta

#### Próbné obciążenia dynamiczne

- pomiar odkształceń i przyspieszeń
- wykonywane przy użyciu rejestratora PDA (Pile Driving Analyzer)
- analiza nośności oraz przemieszczeń za pomocą programów PDA-W oraz CAPWAP

#### Badania ciągłości

- ocena jakości wykonania oraz określenie długości
- lokalizowanie potencjalnych uszkodzeń lub zmian przekroju trzonu
- dwie metody badania – niskoodkształceniowa (Pile Integrity Tester - PIT) oraz ultradźwiękowe (Cross-Hole Analyzer - CHA)

#### Lloyd Acoustics Polska Sp. z o.o.

Łysaków Drugi 47  
woj. świętokrzyskie  
28-300 Jędrzejów  
tel. +48 41 380 50 38  
[www.lapolska.net](http://www.lapolska.net)

Zapraszamy do współpracy  
z nowym biurem technicznym:

#### Biuro techniczne

ul. Okrzei 2/214  
43-300 Bielsko-Biała  
[biuro.techniczne@lloydacoustics.pl](mailto:biuro.techniczne@lloydacoustics.pl)

Czym należy się kierować przy wyborze techniki fundamentowania, aby zapewnić trwałość i stabilność budowli?



**HUBERT TOMCZAK, dyrektor operacyjny, Soletanche Polska Sp. z o.o.**

Wybór technologii fundamentowania jest zadaniem złożonym, uzależnionym od wielu czynników. Do najważniejszych należą warunki gruntowo-wodne występujące poniżej poziomu

posadowienia, obciążenia przekazywane z obiektu, graniczne osiadania, występowanie obudowy głębokiego wykopu z określonym systemem rozparcia (kotwienia), dostępność sprzętu i materiałów, a także czas na wykonanie prac. Bazując na swoim doświadczeniu, specjalistyczny wykonawca jest w stanie wybrać technologię optymalną i ze względów technicznych, i ekonomicznych. Dużym ułatwieniem są bazy danych pomiarów osiadań i próbnych obciążeń dla różnych warunków gruntowych, które pozwalają na skalibrowanie obliczeń, tak aby uzyskać wyniki jak najbliższe rzeczywistości. Ciągła współpraca pomiędzy projektantem geotechnicznym posadowienia a konstruktorem całego obiektu głównie w przypadku płyty fundamentowej pozwala na maksymalne wykorzystanie i współdziałanie poszczególnych elementów. Należy brać pod uwagę nie tylko docelową fazę pracy konstrukcji, ale także poszczególne fazy tymczasowe, ponieważ niektóre z nich mogą być właśnie najbardziej niekorzystne. Coraz częściej jako posadowienie obiektów zamiast sztywnych elementów typu baret i pale o dużych średnicach stosuje się elementy bardziej podatne, gwarantujące lepszą współpracę z konstrukcją, jak pale przemieszczeniowe (np. Screwsoł), kolumny lub panele trenchmix.

Powinien być także zaprojektowany ekonomicznie, z uwzględnieniem realnych możliwości jego wykonania.

Nośność fundamentu jest zależna od warunków gruntowo-wodnych oraz wymiarów fundamentu. Naprężenie w podłożu fundamentowym wywołane obciążeniem nie może przekroczyć nośności podłoża. Osiadanie budowli zależy od wymiarów

fundamentu i naprężeń w podłożu fundamentowym, a także od rodzaju podłoża. Odkształcalność podłoża wpływa na pracę budowli, nie może przekroczyć odkształceń dopuszczalnych dla danego typu konstrukcji.

Rodzaj konstrukcji jest ważny zarówno ze względu na materiał, z którego jest wykonana budowla, jak i układ statyczny tej konstrukcji. W przypadku materiału mało wrażliwego na odkształcenia (np. drewno czy stal) konstrukcja może zostać oparta na gruncie o większej ściśliwości niż w przypadku materiału wrażliwego pod tym względem (konstrukcje betonowe czy żelbetowe monolityczne). Konstrukcje statycznie wyznaczalne przy zmianie wzajemnej podpór nie doznają zmian wielkości statycznych, więc naprężenia wewnętrzne pozostają bez zmiany. Inaczej jest w przypadku konstrukcji statycznie niewyznaczalnych, gdzie przesunięcia pionowe względem siebie wywołują zmianę naprężeń. Z kolei konstrukcja przestrzenna o dużej sztywności, osiadając nierównomiernie, nie zmienia kształtu, a jej elementy składowe nie doznają odkształceń ani istotnej zmiany naprężeń wewnętrznych [1].

### Podsumowanie

W porównaniu z innymi dziedzinami inżynierii lądowej jedną z cech szczególnych fundamentowania jest to, że w obszarze fundamentu spotykają się materiały znacznie różniące się pod względem wytrzymałościowym – materiał, z którego wykonany jest fundament, oraz podłoże gruntowe. Ponadto miejsce budowy danej inwestycji jest zwykle z góry przewidziane i to do jego warunków, także gruntowych, należy dostosować pozostałe elementy powstającej konstrukcji. Dlatego projektowanie i wykonanie fundamentów nie jest działaniem szablonowym – każdy pojedynczy przypadek wymaga przemyślenia i wyboru najodpowiedniejszego rozwiązania tak pod względem technicznym, jak i ekonomicznym [1].

### Literatura

- [1] Grabowski Z., Pisarczyk S., Obrycki M.: *Fundamentowanie*. Warszawa 1997.
- [2] Drozd W.: *Posadowienie pośrednie obiektów budowlanych*. „Przegląd Budowlany” 2013, nr 7–8, s. 47–51.
- [3] Szwabowski J., Deszcz J.: *Metody wielokryterialnej analizy porównawczej*. Gliwice 2001.
- [4] Gwizdała K.: *Fundamenty palowe. Technologie i obliczenia*. PWN. Warszawa 2010.



**ZAMÓW JUŻ DZIŚ**

## GEOZAGROŻENIA

prof. dr hab. MAREK GRANICZNY,  
dr hab. prof. nadzw. WŁODZIMIERZ MIZERSKI

Wydanie: drugie

Miejsce i data wydania:  
Warszawa 2017

Wydawca: Wydawnictwo  
Naukowe PWN  
Oprawa miękka, 260 s.  
ISBN 978-83-01-19234-1

Sprzedaż: tel.: 42 680 44 88

[www.ksiegarnia.pwn.pl](http://www.ksiegarnia.pwn.pl)

**NBI**  
poleca