

Badania fundamentów głębokich

Zastosowanie metody *Crosshole Sonic Logging*

Crosshole Sonic Logging (CSL) jest powszechnie stosowaną na świecie metodą nieniszczącego badania jakości głębokich fundamentów. Dotychczas sporadycznie wykorzystywana w Polsce, powinna znaleźć szerokie zastosowanie wszędzie tam, gdzie wykonuje się budowle oparte na palach fundamentowych lub ścianach szczelinowych. Szczególnie zalecana jest dla fundamentów przenoszących duże obciążenia, głębionych w piaskach luźnych i średnio zagęszczonych, a także poniżej poziomu wody gruntowej, gdzie ryzyko utraty ciągłości podczas betonowania jest największe. Badanie jest stosunkowo niedrogie. Pale lub ściany szczelinowe można badać już po kilku dniach od daty betonowania. Dziennie można zbadać nawet kilkanaście pali lub sekcji. CSL poddaje się przeważnie kilka reprezentatywnych elementów – po jednym dla każdej strefy geotechnicznej, dla każdej podpory mostu lub wiaduktu oraz dla każdej średnicy lub długości. Im większa liczba badań, tym bardziej wzrasta pewność prawidłowego wykonania fundamentu i tym mniejszy jest koszt pojedynczego badania, biorąc pod uwagę koszty mobilizacji.

Opis metody

Badanie wykorzystuje zjawisko przenikania fal ultradźwiękowych w betonie pomiędzy dwoma sondami – nadajnikiem i odbiornikiem – wprowadzonymi w kanały dostępne. Sygnał z nadajnika po przejściu przez beton jest przekazywany do drugiej równolegle wprowadzanej sondy – odbiornika. Prędkość rozchodzenia się fal i przekazywana energia są ściśle związane z jakością materiału. Najczęściej obserwowane zmiany świadczące o defektach to:

- pęknięcia pionowe i poziome;
- inkluzje gruntu;
- zanieczyszczenia spowodowane zmieszaniem urobku z mieszanką betonową;
- rozsegregowany beton;
- ubytki betonu spowodowane brakiem ciągłości formowania.

Wszystkie wymienione powyżej defekty obniżają jakość i nośność fundamentu.

W trakcie badania rejestrowane są następujące parametry:

- rozstaw osiowy rur prowadzących [cm];
- głębokość sond: nadajnika i odbiornika [m];
- FAT (*First Arrival Time*) – czas pomiędzy wzbudzeniem a zarejestrowaniem fali [μs];
- *Apparent Velocity* – prędkość pozorna fali [m/s];
- *Relative Energy* – energia względna odebranej fali [-];
- *Attenuation* – względny zanik energii fali [dB].

Obserwowane wzdłuż trzonu badanego elementu zmiany FAT lub energii świadczą o zmianie gęstości materiału, z którego jest on wykonany, a co za tym idzie – o jego defektach.

Relatywność rejestrowanych parametrów wynika z faktu, iż fale ultradźwiękowe przenikają przez co najmniej pięć różnych ośrodków: ceramiczny generator sondy, wodę, stal / PVC, beton



Fot. 1. Brytyjski trener przygotowuje polskich inżynierów do badań w terenie

i jego pory. Pomiar rzeczywistej prędkości i energii fal ultradźwiękowych jest bezcelowy, jeżeli na podstawie parametrów względnych można określić wielkość i lokalizację defektów.

Sprzęt

Najnowszej generacji instrument Cross Hole Ultrasonic Monitor (CHUM) spełnia wymagania normy ASTM D6760-02 Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing. Pozwala on na przeprowadzenie badań ciągłości na elementach o głębokości do 145 m i o dowolnym przekroju.

Na kompletny system składają się: jednostka centralna, wymienny komputer typu tablet z ekranem dotykowym o wysokiej jasności, przystosowanym do pracy w świetle dziennym, dwie sondy: nadajnik i odbiornik, kable sygnałowe sond oraz głębokościomierze. Jednostka centralna zasilana jest z własnej baterii, która wystarcza do ciągłego wykonywania badań podczas całej zmiany roboczej.

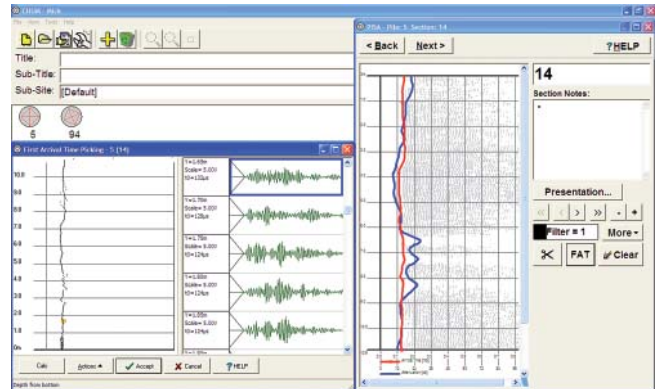
Roboty przygotowawcze

Badanie wymaga zainstalowania kanałów dostępowych dla sond na całej długości badanego elementu jeszcze przed jego betonowaniem. Najczęściej kanały wykonuje się z rur o średnicy wewnętrznej 39–50 mm, mocowanych pionowo od wewnątrz szkieletu zbrojeniowego, zaslepionych w dolnym końcu i wypełnionych wodą dla zmniejszenia wyporności. Zabieg ten pozwala również na wyrównanie temperatury w czasie wiązania, co zapobiega odpajaniu się betonu od zewnętrznej powierzchni rur, szczególnie PVC. Liczba kanałów jest uzależniona od wielkości przekroju elementu i zalecanej dokładności. W tabeli podano liczbę profili badanego pala (barety lub sekcji ściany szczelinowej), jaką można uzyskać z udostępnionych kanałów.

Rozstaw osiowy kanałów dostępowych powinien mieścić się w granicach 25–45 cm. Jeżeli jakość betonu jest dobra, odległości można zwiększyć nawet do 2 m, lecz wpłynie to na dokładność lokalizacji ewentualnych defektów. Rury powinny wystawać na wysokość 60–150 cm ponad poziom terenu lub głowicy pala, a ich górne końce winny mieć również dokręcone zaślepki, aby zachować czystość kanału. Prawidłowe połączenie odcinków rur, mocowanie do kosza zbrojeniowego i ostrożne zabetonowanie elementu są najważniejszymi czynnikami umożliwiającymi późniejsze wykonanie badania. Należy zwrócić uwagę, aby połączenia odcinków były wodoszczelne. Nie można dopuścić do zalania rur w środku betonem lub mleczkiem cementowym. Nie zaleca się spawania odcinków rur. Najlepszą metodą jest zastosowanie nagwintowanych muf. Ich lokalizacja powinna być odnotowana w metryce. Najczęściej stosowane są rury stalowe. W przypadku Single Hole Logging (pojedynczy kanał dostępowy w palach małych średnic) sondy poruszają się jedna nad drugą, a odbiornik rejestruje sygnał odbity od poboczniczy pala. Jest on wówczas stosunkowo słaby. Stosując rury PVC eliminuje się zakłócenia powodowane przejściem fali przez stal. Dotychczasowe doświadczenia z użyciem PVC, wskazują na częste odpajanie się betonu od rur w miarę upływu czasu, dlatego badania należy przeprowadzać już po 3 dniach od betonowania. Powierzchnia zewnętrzna rur PVC powinna być przed wbudowaniem zmatowiona w celu poprawienia przyczepności do betonu. W przypadku, gdy nie zainstalowano rur prowadzących, badania można wykonywać również w kanałach dostępowych wykonanych po zabetonowaniu elementu, np. poprzez wiercenie rdzeniowe.

Wykonanie badań i interpretacja wyników

Badania i analizy wyników powinny być przeprowadzane przez jednostkę niezależną od wykonawcy fundamentu, posiadającą odpowiednie kompetencje i doświadczenie. Osoba nadzorująca powinna się ponadto legitymować właściwymi uprawnieniami budowlanymi. Crosshole Sonic Logging zaleca się wykonywać w terminie 3–7 dni od daty betonowania, jeszcze przed rozkuciem głowicy, pod warunkiem, że głowice będą rozkuwane młotkami ręcznymi. W przypadku innych, zwykle niedozwolonych metod, badanie powinno się powtórzyć po rozkuciu głowicy. Przed wykonaniem badań kanały dostępne uzupełnia się świeżą wodą. Sondy są prowadzone od podstawy badanego elementu ku głowicy, równolegle, z prędkością ok. 0,5 m/s. Głębokościomierze rejestrują aktualne pozycje sond. Częstotliwość próbkowania na długości trzonu wynosi 1–15 cm. W przypadku pojawienia się jakichkolwiek anomalii fragment elementu jest dodatkowo prześwietlany. Nadajnik zostaje wtedy zatrzymany na wysokości defektu, a odbiornik zmienia pozycję w celu jego dokładniejszego zlokalizowania. Następnie sondy przekłada się do sąsiadujących kanałów, wykonując kolejne profile. Dane zebrane z poszczególnych przebiegów sond są na siebie nakładane w programie



Fot. 2. Pojedynczy profil przedstawiający niejednorodności betonu



Fot. 3. CHUM – Cross Hole Ultrasonic Monitor

Liczba kanałów dostępowych	Liczba uzyskanych profili
1	1
2	1
3	3
4	6
5	10
6	15
8	28
10	45

Tab. 1. Liczba możliwych profili (prześwietleń) pala w zależności od liczby kanałów dostępowych.

komputerowym CHUM. Natychmiast po zakończeniu badania można sporządzić raport, podjąć analizę wyników i określić wielkość oraz lokalizację defektów. Najnowsze oprogramowanie – 3D Tomography – pozwala na stworzenie trójwymiarowego obrazu trzonu pala. Jeżeli wielkość kanałów dostępowych w przekroju może mieć wpływ na nośność elementu, powykonawczo zaleca się ich wypełnienie mleczkiem cementowym.

Badania dodatkowe

Crosshole Sonic Logging jest badaniem o wysokiej rozdzielczości i najbardziej dokładną metodą sprawdzania jakości fundamentów. CSL w połączeniu z metodą Sonic Echo (SE) pozwala na szybkie i tanie wykrycie wad w konstrukcji wszystkich pali lub ścian szczelinowych na danej budowie. Korelacja wyników tych dwóch metod umożliwia dokładniejszą interpretację. Należy pamiętać, iż wymienione w artykule badania ciągłości nie zastępują próbnych obciążeń weryfikujących nośność fundamentu, jak również badań laboratoryjnych betonu i gruntu. ■

autor

mgr inż. Ryszard Rippel
PMC Polska Sp. z o.o.