

*Aurelia Modl\**, *Jarosław Rybak\*\**

## BADANIA CIĄGŁOŚCI PALI PREFABRYKOWANYCH

---

### 1. Wprowadzenie

Rynek geotechniczny w Polsce jest o wiele bardziej rozwinięty niż normy, dzięki którym można kontrolować projektowanie, odbiór oraz wykonawstwo tychże robót. Polska Norma PN-83/B-02482 Fundamenty budowlane [1]. Nośność pali i fundamentów palowych, jako podstawowe badanie pali podaje próbne obciążenie statyczne. Zakres badań według tej normy obejmuje wykonanie 2 badań na pierwsze 100 pali oraz 1 badanie na każde następne rozpoczęte 100 pali na danej budowie. Wynika z tego, że badaniom poddaje się około 1–2% pali. Dodatkowo, badania nie przeprowadza się na losowo wybranych palach. Dzieje się tak, gdyż podczas wykonania pali, sąsiadujących z palem przeznaczonym do badania, montuje się dodatkowe zbrojenie umożliwiające posłużenie się nimi podczas badania, jako palami kotwiącymi. Badania statyczne są wrażliwe na uchybienia podczas ich przeprowadzania. Podczas badania pali o dużej nośności, np. pali wielkośrednicowych, dochodzi problem z wielkością stanowiska badawczego i konieczność zastosowania balastu (rys. 1) [4], co sprawia, że zbudowanie stanowiska jest bardzo czasochłonne oraz kosztowne [5].

Badaniami pozwalającymi na losowość w ich wykonaniu, większą kontrolę nośności oraz jakości pali są badania dynamiczne (rys. 2). Badania takie wymagają jednak odpowiedniej (prowadzonej każdorazowo na budowie) kalibracji zarówno w zakresie szacowania nośności granicznej, jak i doboru współczynnika bezpieczeństwa. Jedynym pewnym testem referencyjnym do kalibracji badań dynamicznych są badania statyczne (próbne obciążenia). Szybkość wykonania badań dynamicznych sprawia, że stanowią one coraz większy procent wśród wszystkich badań pali. Plusem w wykonaniu badań dynamicznych jest także krótki czas ich trwania, dzięki czemu okres, w którym potrzebna jest na budowie „cisza” i nie można wykonywać prac budowlanych w sąsiedztwie stanowiska badawczego znacznie się skraca. Wprowadzona w 2005 roku norma PN-EN 12699 Specjalne roboty

---

\* studentka V roku, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska, Wrocław

\*\* Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska, Wrocław

geotechniczne [2]. Pale przemieszczeniowe, pozwala na zastosowanie testów dynamicznych jako badania nośności pali.



**Rys. 1.** Stanowisko do badań statycznych pali wielkośrednicowych



**Rys. 2.** Stanowisko do badań dynamicznych pali prefabrykowanych

Procedury kontrolne nośności i jakości pali fundamentowych obejmują ponadto nisko-energetyczne (niskonapężeniowe) badania ciągłości i długości pali [3, 6]. Choć badania takie nie są objęte żadną normą to ich stosowanie upowszechnia się wraz ze wzrostem świadomości wykonawców palowania i nadzoru odnośnie do możliwych niedociągnięć wykonawstwa.

## 2. Badania pali prefabrykowanych

Najłatwiej badania przeprowadza się na palach prefabrykowanych. Dzieje się tak, gdyż czas, który musi upłynąć od wbicia pala do rozpoczęcia badań jest o wiele krótszy niż w przypadku pali betonowanych w gruncie. Pozwala to na niemal bieżącą korektę projektu posadowienia na palach, uwzględniającą rzeczywistą nośność pali. Jeśli otrzymana w przeprowadzonym szybko badaniu nośność pali jest zbyt mała, to można odczekać pewien czas i powtórzyć badania, gdyż nośność pali zwiększa się w czasie, co jest związane ze zmianą rozkładu naprężeń w gruncie. Jeśli to nie przyniesie oczekiwanego efektu można zmienić projekt zagęszczając rozmieszczenie bądź zwiększyć długość pali. Jeśli nośność pali przekracza znacznie obliczeniowe obciążenia to można zrobić czynności odwrotne, co zapewni oszczędności. Jednak to podejście może utrudnić kwestię prefabrykacji i transportu pali. Dodatkowo należy przekonać inwestora do zaakceptowania „dynamicznego kosztorysu” zmieniającego się w trakcie budowy.

Zaletą w wykonywaniu badań na palach prefabrykowanych jest możliwość wykorzystania jako balast przy badaniu statycznym pali prefabrykowanych składowanych na placu budowy, które w późniejszym okresie będą użyte na tej budowie (rys. 3). Zmniejsza to problemy związane z dostarczeniem na budowę balastu, którym często są płyty drogowe bądź kontenery.



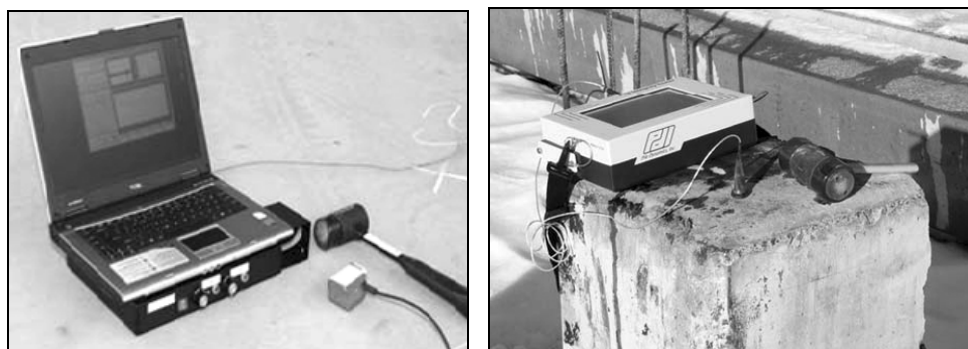
Rys. 3. Stanowisko do badań statycznych z wykorzystaniem jako balast pali prefabrykowanych

W przypadku badań dynamicznych pali prefabrykowanych zaletą jest fakt, że na budowie znajduje się katar do wbijania pali. Można go wykorzystać podczas badania, w którym potrzebne jest uderzenie w pal dużą masą (masa reakcyjna wynosi 2000÷10 000 kg).

### 3. Badania długości i ciągłości pali

Jednym z badań dynamicznych jest metoda Low-Strain (niskoenergetyczna). Służy ona do sprawdzania długości i ciągłości pali. Jest to badanie kontrolne wykonywane przeważnie na zlecenie Inwestora, sprawdzające zgodność wykonania z projektem.

Sprzęt potrzebny do badania składa się z młotka o wadze 0,5÷5 kg, czujnika, którym w zależności od metody jest geofon [6] bądź akcelerometr [3] i odbiornika (rejestratora) mierzonego sygnału. Sprzęt jest lekki, mieści się w walizce (rys. 4), dlatego jest możliwe wykonywanie badań w każdych niemalże warunkach. Badanie nie jest możliwe jedynie w momencie, gdy głowica pala jest bardzo uszkodzona i nie można znaleźć powierzchni równoległej do powierzchni terenu. W przypadku pali prefabrykowanych nie ma konieczności dodatkowego przygotowywania głowicy pala, dlatego czas potrzebny na przebadanie jednego pala wynosi zaledwie kilka minut. Krótki czas badania pozwala nawet na przebadanie wszystkich pali w fundamencie, gdy wykonywana jest budowla o dużym znaczeniu.



Rys. 4. Sprzęt do badania długości i ciągłości pali  
(zestawy z rejestracją sygnału geofonem lub akcelerometrem)

Badanie ciągłości pala opiera się na prędkości rozchodzenia fali i jej odbiciu w ośrodkach ciągłych. Fala trafiając na koniec pala, jego przewężenie bądź miejsce złamania odbija się i wraca na powierzchnię głowicy. Jest to rejestrowane przez odbiornik. Następnie za pomocą programu komputerowego opracowuje się wyniki badania. W przypadku pali prefabrykowanych nie jest możliwe przewężenie pala, a jego długość można określić przed wbiciem, dlatego badanie to służy do ustalenia, czy dany pal nie został złamany podczas wbijania oraz czy wykonawca nie pali krótszych niż projektowane.

Problem podczas interpretacji wyników może przysporzyć poprawne oszacowanie prędkości rozchodzenia się fali w palach. Zależy ona od klasy betonu oraz jego szczelności. Prędkości rozchodzenia się fali nie można także korelować z badaniami przeprowadzanymi np. na palach prefabrykowanych przed ich wbiciem, gdyż fala rozchodzi się z mniejszą prędkością w palach już wbitych niż w palach leżących na placu budowy. Jest to spowodowane powstaniem zarysowań w głowicy pala podczas jego wbijania.

Aby prawidłowo określić prędkość rozchodzenia się fali należy przeprowadzić badanie na pału, którego długości jesteśmy pewni. Następnie wprowadzając do programu długość pała można odpowiednio skalibrować prędkość fali. Z doświadczeń wynika, że prędkość rozchodzenia się fali w palach prefabrykowanych wynosi około  $4000 \pm 4100$  m/s. Natomiast w palach wierconych jest ona mniejsza, wynosi niecałe 4000 m/s. Wolniejsze propagowanie się fali jest związane z mniejszą szczelnością i niższą klasą betonu używanego do pali wierconych.

#### 4. Wyniki badań pali prefabrykowanych

Prowadzone aktualnie roboty palowe związane z budową filarów estakady w ciągu obwodnicy autostradowej Wrocławia oraz pod budowę Stadionu Narodowego w Warszawie pozwoliły na zgromadzenie dużej liczby danych i ich późniejszą analizę.

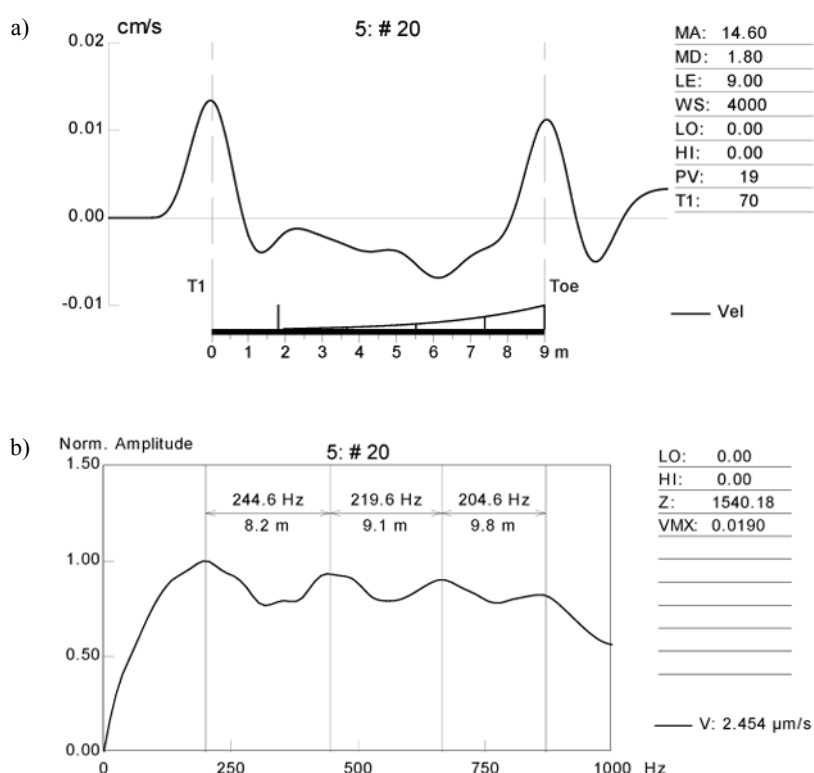


Rys. 5. Fundament palowy pod przyczółek na autostradowej obwodnicy Wrocławia

Wykonywanie dużych grup palowych (rys. 5) w jednorodnych warunkach geotechnicznych pozwala na analizę zarówno nośności pojedynczych pali jak i na ocenę zmiany ich nośności w czasie w i miarę wykonywania paliw w sąsiedztwie. Badania integralności (ciągłości) pozwalają zarazem na statystyczną ocenę możliwych defektów wynikających z technologii wbijania. W dalszej części artykułu przedstawione zostaną wyniki badań przeprowadzonych na palach prefabrykowanych.

Przedstawiono przykładowe wyniki badania pała o znanej długości 9 m. Na podstawie tego pomiaru możliwe było ustalenie prędkości rozchodzenia się fali w palach na danej budowie. Pomiar czasu pomiędzy punktami przecięcia wykresu prędkości z osią czasu, bądź

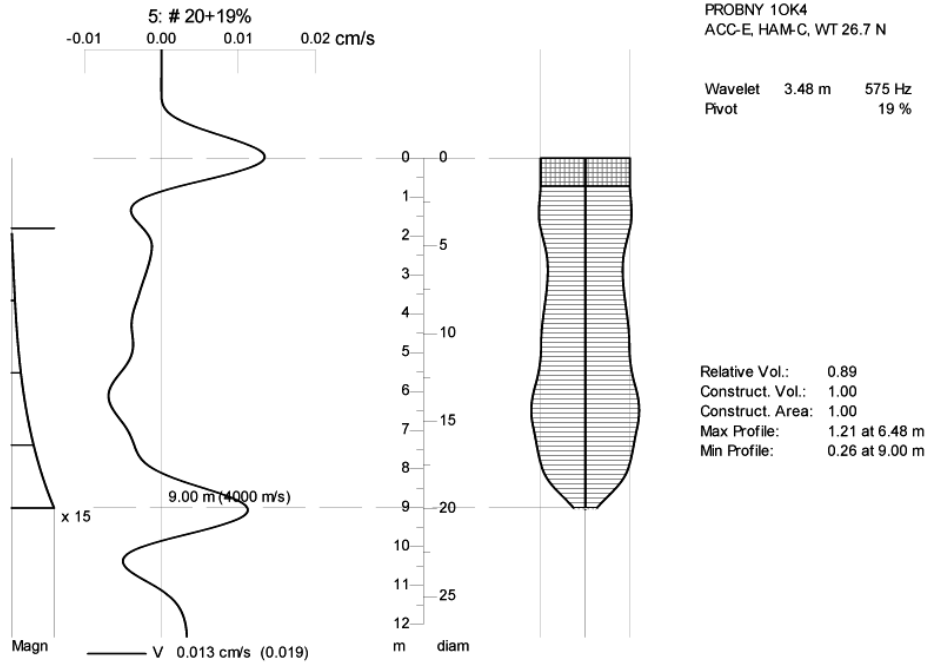
między punktami ekstremum, przy znanej długości pała pozwoliło na oszacowanie prędkości rozchodzenia się fali w betonie pali prefabrykowanych po wbiciu na ok. 4000 m/s. Pomiaru takiego najlepiej dokonywać przy pierwszym odbiciu fali (rys. 6a), gdyż wtedy fala jest najwyraźniejsza, gdyż nie dochodzi do jej zaniku bądź nakładania się na siebie odbić. Innym sposobem na skalibrowanie prędkości (lub przy znanej prędkości wyznaczenie długości pała) jest analiza częstotliwości (rys. 6b). Dla pali wbitych w podłoże dokładność takiego oszacowania jest nieco mniejsza i analiza częstotliwości lepiej sprawdza się w wykrywaniu głębokości defektów.



**Rys. 6.** a) przetworzony sygnał na skali czasu; b) analiza częstotliwości

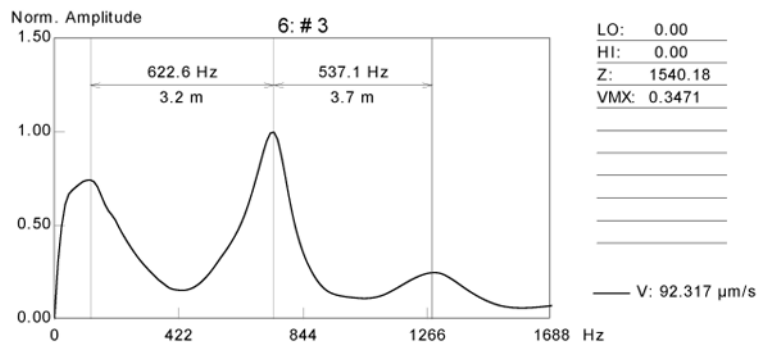
Zaawansowane modele przetwarzania danych pozwalają również na wizualizację wyników (rys. 7). Obserwowane „zgrubienie” pała na dolnym odcinku (niemożliwe dla pała prefabrykowanego) jest efektem dużej nośności pobocznic pała na tym odcinku.

Podczas wbijania pała prefabrykowanego może nastąpić jego złamanie. Dzieje się tak, gdy pał natrafi na swojej drodze na przeszkodę, której podczas wbijania nie jest w stanie rozkruszyć, przesunąć bądź ominąć.

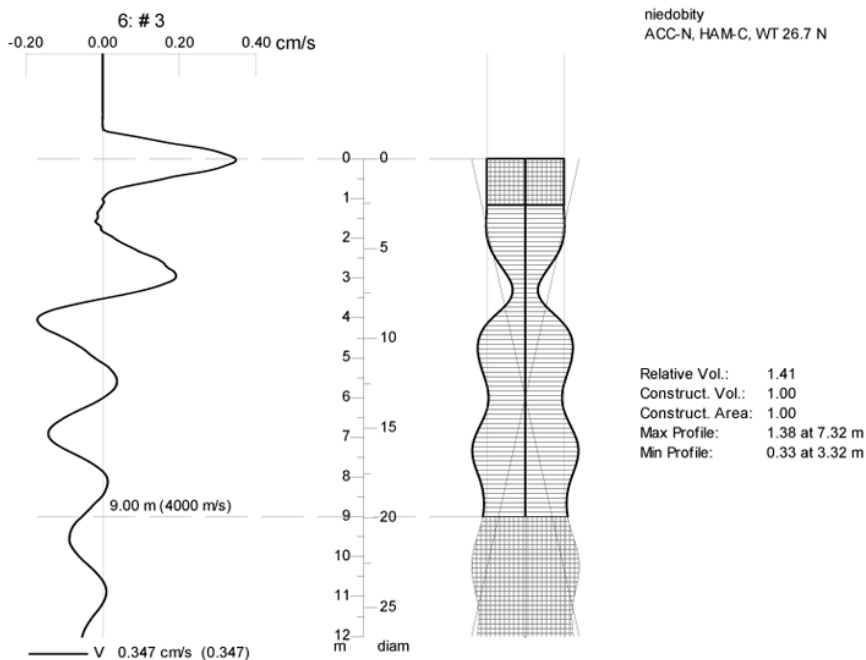


Rys. 7. Profil badanego pala na podstawie pomierzonego sygnalu

Wykresy (rys. 8 i 9) przedstawiają wyniki otrzymane podczas badania metodą Low-Strain pala pękniętego poprzecznie na głębokości ok. 3,20 m. Pęknięcie można było obserwować, bowiem wbijanie pala przerwano, gdy głowica znajdowała się ok. 3,5 m ponad terenem.

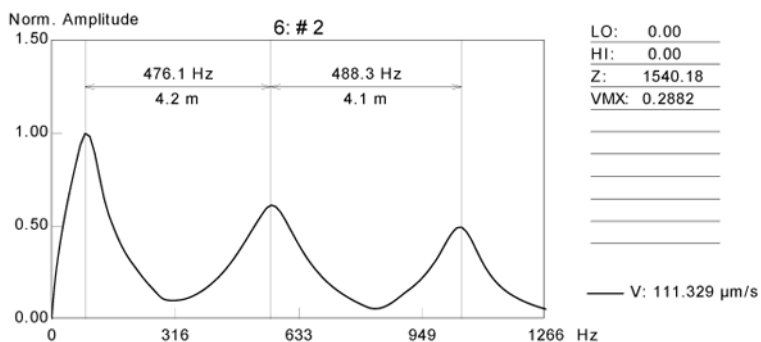


Rys. 8. Przetworzony sygnal — analiza częstości. Pal pęknięty 3,20 m od głowicy



**Rys. 9.** Profil badanego pala z nieciągłością (przewężeniem) na głębokości ok. 3,20 m

Inny prezentowany sygnał (rys. 10) pochodzi z pala złamanego najprawdopodobniej w okolicach połowy jego długości. Z analizy częstości można określić przypuszczalną głębokość defektu na około 4,20 m. Weryfikacja tego pomiaru byłaby jednak możliwa jedynie podczas odkopania pala.



**Rys. 10.** Przetworzony sygnał — analiza częstości. Pal pęknięty ok. 4,20 m od głowicy



## 5. Podsumowanie

Współcześnie istnieje wiele technik umożliwiających badanie pali zarówno pod względem nośności, jak również jakości ich wykonania. Sprawdzenie ciągłości i długości pali jest badaniem prostym, tanim oraz szybkim do wykonania. Trudności może przysporzyć jedynie analiza wyników, zwłaszcza dobranie prędkości rozchodzenia się fal oraz niejednoznaczność otrzymanych sygnałów. Jednak korzyść, jaką jest niewątpliwie możliwość kontroli zgodności wykonanego palowania z projektem oraz jakości pali przemawiają za coraz powszechniejszym wdrażaniem i stosowaniem opisanej metody.

### LITERATURA

- [1] PN-83/B-02482 Fundamenty budowli. Nośność pali i fundamentów palowych
- [2] PN-EN 12699 Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Pale przemieszczeniowe
- [3] *Gwizdala K.*: Kontrola nośności i jakości pali fundamentowych. *Geoinżynieria i Tunelowanie*, nr1, 2004
- [4] *Gwizdala K.*: Projektowanie pali fundamentowych. XX Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Wisła — Ustroń, 01–04 marca 2005
- [5] *Rippel R.*: Próbne obciążenia i badania głębokich fundamentów. *Geoinżynieria i Tunelowanie*, nr 2, 2004
- [6] *Rybak J., Sadowski L., Schabowicz K.*: Non-destructive impulse Response S'Mash Method for concrete pile testing. W: *Defektoskopie 2008*. 38 międzynarodni konferencje a vystava. Sbornik prispevku, Brno, Czech Republic, Ed. by Pavel Mazal i Lubos Pazdera. Brno, s. 195–202