

*Anna Sobotka\*, Marta Pająk\*\**

## WYKORZYSTANIE KOMPUTEROWYCH ZAPISÓW JAKOŚCI REALIZACJI PALI CFA W PROJEKTOWANIU ROBÓT PALOWYCH\*\*\*

---

### 1. Monitoring pali CFA i jego wykorzystanie w normowaniu

System wykonywania pali fundamentowych CFA, jest jednym z nielicznych, w którym maszyny palujące (palownice) wyposażone są w komputery pokładowe, montowane w kabinie operatora i wspomagają wykonywanie pali o zadanych parametrach geometrycznych, w danych warunkach geotechnicznych (rys. 1). Podczas formowania pali następuje komputerowy zapis parametrów wykonawczych, które są przetwarzane i udostępniane w formie wydruku komputerowego tzw. metryki pala, dla każdego pojedynczego pala (rys. 1).

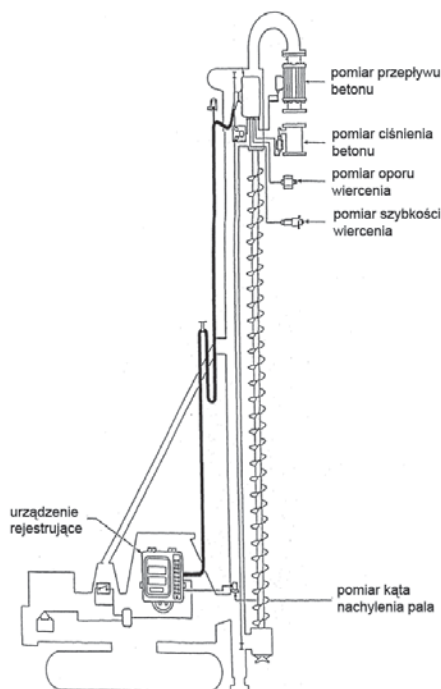
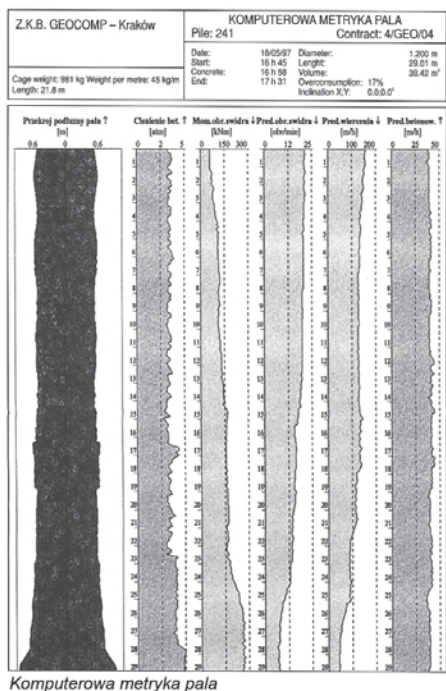
Pierwsze komputerowe urządzenia do sprawdzania postępu robót palowych i kontroli ich jakości zastosowano w latach osiemdziesiątych XX wieku we Francji [1]. Obecny komputerowy system monitoringu służy zarówno do sprawdzania postępu i jakości prowadzonych prac, a w tym ciągłości przebiegu procesu wiercenia i betonowania. Wykorzystywanie komputerowych systemów kontrolnych pozwala eliminować błędy już w czasie trwania robót. Bieżąca obserwacja charakterystyki gruntów, w których wykonywany jest pał, jest możliwa dzięki analizie zapisów oporów zagłębiania świdra (prędkość obrotów wwiercania świdra, szybkość jego pogrążania w grunt). Analiza ta umożliwia operatorowi palownicy ocenę gruntów i ustalenie poziomu zalegania warstw słabych i mocnych.

---

\* Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geoinżynierii, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

\*\* Zakład Konsultacyjno-Badawczy Geocomp Sp. z o.o., Kraków

\*\*\* Artykuł opracowano w ramach pracy statutowej AGH 11.11.100.197



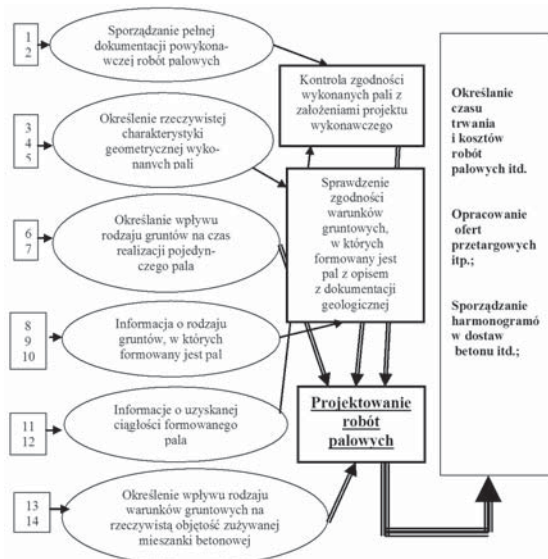
Rys. 1. Schemat rozmieszczenia urządzeń kontrolnych zamontowanych na palownicy i przykład metryki z realizacji pali w systemie CFA

W metryce każdego pala zarejestrowane są następujące podstawowe informacje dotyczące wykonawstwa:

- 1) data jego realizacji [dd-mm-rr],
- 2) numer pala [nr],
- 3) rzeczywista średnica [m],
- 4) uzyskane pochylenie pala [stopnie],
- 5) zapis głębokości wwiercania świda (informuje o długości pala) [m p.p.t.],
- 6) zapis czasu rozpoczęcia i zakończenia pogrążania świda [godz],
- 7) zapis początku i końca betonowania [godz],
- 8) pomiar prędkości obrotowej podczas wiercenia [obroty na minutę],
- 9) pomiar prędkości pogrążania świda podczas wiercenia [m/h],
- 10) pomiar momentu obrotowego podczas wiercenia [bar],
- 11) pomiar prędkości podnoszenia świda w czasie betonowania [m/h],
- 12) pomiar ciśnienia betonowania [bar],
- 13) zapis całkowitej objętości włożonego betonu [m<sup>3</sup>],
- 14) pomiar dodatkowego zużycia mieszanki betonowej, nie wynikającego z parametrów geometrycznych pala [%].

Analiza rejestrowanych danych pozwala zauważyć, że są to informacje które mogą i są wykorzystywane w projektowaniu oraz wykonywaniu robót palowych w systemie CFA. Dane: 3, 4,

5, 8, 9, 10, 11, 12 są wykorzystywane do bieżącego sterowania wykonywaniem pali na budowie w istniejących warunkach realizacyjnych danego zadania. Pozostałe informacje z metryk: 6, 7, 13, 14 mogą być wykorzystane do określania pracochłonności i materiałochłonności pali. Są to dane niezbędne w planowaniu czasu i kosztów przedsięwzięcia budowlanego, które są podstawowym elementem umowy pomiędzy zleceniodawcą (inwestorem) i wykonawcą (rys. 2). A zatem dane z metryk pozwalają na sterowanie procesem palowania, zapewniając odpowiednią jakość pali, oraz zarządzanie operacyjne (kierowanie) realizacją innych procesów składających się na roboty palowe np. korygowanie wielkości dostaw mieszanki betonowej, terminu jej dostawy, itd.



**Rys. 2.** Schemat możliwości wykorzystywania danych z metryk komputerowych w projektowaniu i wykonawstwie robót palowych w systemie CFA.

Liczby w bloczkach z lewej strony rysunku wskazują numer czynnika opisanego w tekście rozdziału 1 (powyżej)

Badania związane z wykorzystaniem komputerowych zapisów jakości wykonania pali CFA do analizy pracochłonności i materiałochłonności robót palowych CFA były treścią pracy doktorskiej M. Pająk [2], a bardzo interesujące wyniki z badań materiałochłonności zostały opublikowane w [3].

W niniejszym artykule przedstawiono analizę pracochłonności realizacji pali CFA i zasady określania normy czasu pracy na podstawie danych z monitoringu.

## 2. Analiza czynników wpływających na pracochłonność wykonania pali CFA

Pracochłonność jest iloczynem objętości zadania (wyrażonego w jednostkach naturalnych produkcji) przez normę czasu pracy (zw. też normą pracochłonności). Podstawę do

ustalenia norm czasu pracy ludzi i maszyn (nakładów jednostkowych) stanowią przede wszystkim:

- przyjęta technologia robót,
- projekt organizacji robót, określający m.in. skład brygady roboczej, rodzaj i ilość współpracujących maszyn oraz technologiczną kolejność wykonania robót,
- projekt zagospodarowania placu budowy, wyznaczający m.in. odległości transportu, itd.

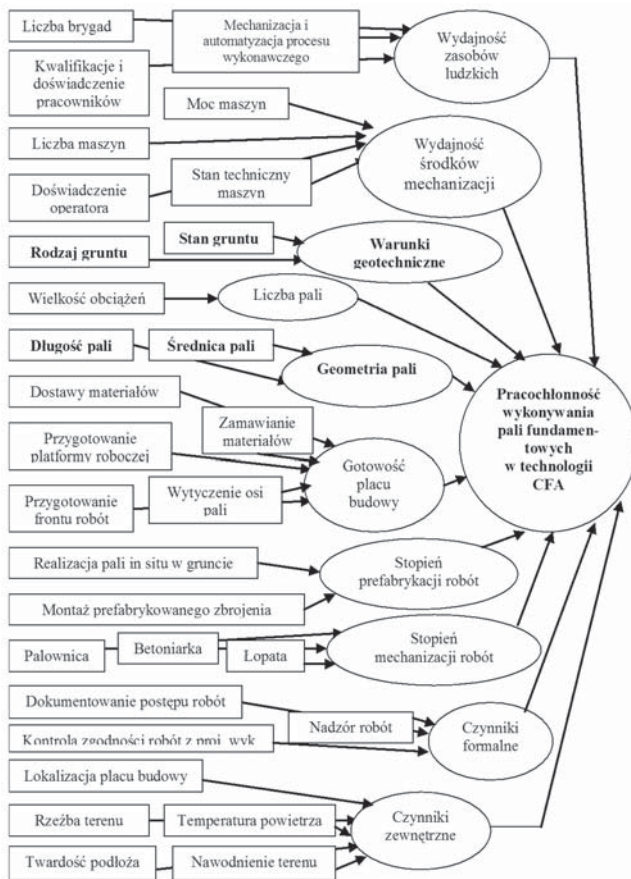
Normowanie czasu pracy bazuje na założeniu, że analizowany proces, jego organizacja oraz warunki realizacji są optymalne. Aby to założenie było spełnione, procedurę opracowania norm rozpoczyna się od badania pracy, tj. analizy procesu produkcyjnego pod kątem jego prawidłowości oraz analizy czasu pracy i niezbędności wszystkich jego składowych [4]. W systemie palowania CFA, informacje o procesie budowlanym tj. palowaniu, uzyskuje się z metryki pala.

Całkowity czas normowany przy realizacji pali CFA składa się z następujących elementów:

- 1)  $T_w$  — czas właściwego wykonanie pala CFA:
  - wiercenie pala = zagłębianie świda spiralnego (wwiercanie ruchem złożonym, tj. ruchem posuwistym i obrotowym) na głębokość posadowienia podstawy pala,
  - zatrzymanie wwiercania świda po osiągnięciu zamierzonej głębokości,
  - otwarcie rury rdzeniowej, przez którą wtlaczany jest beton,
  - rozpoczęcie wyciągania świda ruchem posuwistym – bez obracania, z równoczesnym wtlaczaniem mieszanki betonowej przez rurę rdzeniową świda,
  - wciskanie zbrojenia w ciekłą mieszankę betonową, po zakończeniu formowania pala,
- 2)  $T_{pz}$  — czynności przygotowawczo–zakończeniowe:
  - rozpoznanie zaleceń projektowych i rozpoznanie warunków na budowie,
  - wyznaczenie geodezyjne osi pala wg projektu wykonawczego,
  - przygotowanie platformy roboczej dla palownicy,
  - przygotowanie zbrojenia pala,
  - ustalenia kierownika zadania z zespołem roboczym dot. kolejności wykonywania pali,
  - dokumentowanie wykonania kolejnych pali w dzienniku budowy,
  - kompletowanie dokumentacji powykonawczej (w tym komputerowych metryk z realizacji kolejnych pali),
- 3)  $T_{osr}$  — czas na obsługę stanowiska roboczego:
  - ustawienie maszyny palującej na stanowisku roboczym,
  - przyjazd betoniarki = gotowość mieszanki betonowej,
  - podłączenie rury contractorowej podającej beton z betoniarki do palownicy,
  - wypożyczonowanie świda palownicy (nad wyznaczoną osią pala),
  - kontrola urządzeń mierzących i rejestrujących parametry wykonawcze,
- 4)  $T_{on}$  — czas na odpoczynek i potrzeby naturalne:
  - czas na odpoczynek,
  - czas na potrzeby naturalne,
  - czas na czynności związane z rozpoczęciem i zakończeniem pracy (zmiana stroju, itp.).

Wymienione elementy, które obejmuje norma są uzależnione od wielu czynników. Na rysunku 3 przedstawiono czynniki wpływające na pracochłonność wykonania pali CFA (wie-

le informacji o nich pochodzi z zapisów komputerowej kontroli realizacji pali). Wszystkie czynniki ujęto w dziesięć grup, z których dwie stanowią podstawę w opracowanym modelu normy czasu. Są to parametry geometryczne pali oraz warunki geotechniczne, w tym stopień plastyczności charakteryzujący stan gruntów spoistych (dla pali wykonywanych w podłożu spoistym). Pozostałe grupy czynników nie są uwzględniane w normie czasu, gdyż w wyniku przeprowadzonych obserwacji i analiz, ich wpływ na pracochłonność robót palowych jest znacznie mniejszy niż wpływ czynników geotechnicznych i geometrycznych. Niektóre z czynników zależą od decyzji, które rozstrzygane są jeszcze przed rozpoczęciem robót palowych (np. przyjęcie na etapie projektowania konstrukcyjnego liczby pali do wykonania w ramach danej budowy jest zależne od zakresu obciążeń konstrukcyjnych; wydajność zasobów ludzkich i mechanicznych jest dobierana na etapie ofertowania w zależności od tego, jaki czas na realizację robót fundamentowych przewiduje generalny wykonawca, itd.).



**Rys. 3.** Grupy czynników wpływających na pracochłonność wykonywania pali fundamentowych w technologii CFA

### 3. Określenie składników normy czasu z wykorzystaniem danych z monitoringu

Norma czasu  $N_t$  wyznaczana jest jako suma czasu przeznaczzonego na wykonanie procesów zasadniczych w czasie właściwym  $T_w$  i procesów pomocniczych w czasie uzupełniającym  $T_u$ , w odniesieniu do 1 m pala ma postać:

$$N_t = \underbrace{T_{wrc} + T_{bet} + T_{zbr}}_{T_w} + \underbrace{T_{pz} + T_{osr} + T_{on}}_{T_u} \quad (1)$$

Jest to funkcja wielomianowa, wieloargumentowa z dwoma wyrazami  $T_{wrc}$  oraz  $T_{bet}$ , których postać wyznaczono metodą analizy regresji przy wykorzystaniu danych z metryk komputerowego monitoringu wykonywania pali CFA, jako funkcje stopnia plastyczności gruntów  $I_L$  oraz średnicy  $\phi$  i długości  $L$  formowanego pala.

Wartości czasów wiercenia  $T_{wrc}$  i betonowania  $T_{bet}$  są rejestrowane w metrykach pali, a czas zbrojenia  $T_{zbr}$  i pozostałe składowe normy czasu  $N_t$  określono na podstawie archiwizowanych dokumentów powykonawczych pali (np.: dzienników budów, protokołów kontrolnych) oraz obserwacji bezpośrednich.

Do badań wykorzystano dane z realizacji 930 pali w zakresie średnic  $\phi = \{0,40, \dots, 1,00\}$  m i długości  $L = \{6,7, \dots, 19\}$  m w gruntach spoistych. Kolejne etapy badań objęły:

- 1) sprawdzenie minimalnej liczebności próby badawczej,
- 2) badanie charakteru rozkładu czasu wykonania pala,
- 3) wstępne szacowanie i wnioskowanie dotyczące pracochłonności palowania,
- 4) określenie funkcji regresji czasu wiercenia i betonowania pala względem stanu gruntów i parametrów geometrycznych,
- 5) obliczenia i tabelaryzację normy pracochłonności,
- 6) weryfikację modelu pracochłonności,
- 7) analizę wyników i wnioski.

W celu opracowania funkcji regresji wykorzystano metodę analizy regresji cząstkowej i wielorakiej, względem jednej zmiennej, dwóch i trzech zmiennych. Analiza otrzymanych wyników wskazała funkcje regresji czasu betonowania i wiercenia w zależności od trzech zmiennych jako najbardziej „dopasowaną” (np. wartość współczynnika korelacji wielorakiej  $R = 0,96; 0,98$ ) [2]. W tabeli 1. przedstawiono postacie funkcji regresji i przykładowe obliczone wartości czasów wiercenia  $T_{wrc}$  i betonowania  $T_{bet}$ , w zależności od stanu gruntów otaczających pal oraz jego średnicy, w przeliczeniu na jeden metr długości pala.

Do weryfikacji otrzymanych na podstawie przeprowadzonych badań i analiz modeli przyjęto dane z badań, które nie były wykorzystane do ich budowy [2].

### 4. Podsumowanie i wnioski

Artykuł przedstawia możliwości wykorzystania danych z komputerowych zapisów jakości realizacji pali CFA do projektowania realizacji robót palowych, planowania

TABELA 1

## Norma czasu [min /1 metr pala]

|  |             |           |           |       |       |
|--|-------------|-----------|-----------|-------|-------|
| $N_t = T_w + T_u = (T_{wrc} + T_{bet} + T_{zbr}) + T_u \left[ \frac{\text{min}}{m} \right]$  |             |           |           |       |       |
| $T_{wrc} = -6,2412 \cdot I_L + 0,0245 \cdot \phi - 0,0131 \cdot L + 5,1263 \left[ \frac{\text{min}}{m} \right]$  |             |           |           |       |       |
| $T_{bet} = 4,7994 \cdot I_L - 0,0175 \cdot \phi + 0,1348 \cdot L + 0,6566 \left[ \frac{\text{min}}{m} \right]$ $T_{zbr} = 1 \left[ \frac{\text{min}}{m} \right]$   |             |           |           |       |       |
| $T_u = T_{pz} + T_{osr} + T_{on} \left[ \frac{\text{min}}{m} \right]$ $T_{pz} + T_{osr} = 5 \left[ \frac{\text{min}}{m} \right]$ $T_{on} = 0,09 \cdot (T_{wrc} + T_{bet} + T_{zbr}) \left[ \frac{\text{min}}{m} \right]$ |             |           |           |       |       |
| $\phi$ [m]   | $I_L$       | $T_{wrc}$ | $T_{bet}$ | $T_w$ | $N_t$ |
| 0,40   | (0,75÷1,00] | 0,73      | 4,93      | 6,66  | 12,24 |
| 0,60   | (0,50÷0,75] | 1,90      | 4,14      | 7,04  | 12,68 |
| 0,80   | (0,25÷0,50] | 3,16      | 3,20      | 7,36  | 13,04 |
| 1,00   | [0,00÷0,25] | 4,33      | 2,33      | 7,66  | 13,36 |

czasu wykonania zadań i innych elementów organizacji pracy na budowie jak również kosztów. Na podstawie wyników kontroli jakości realizacji pali wskazano analityczną zależność prędkości wykonywania pali od stanu gruntów, w których wykonywane są pale oraz od parametrów geometrycznych pali. Opracowanie norm czasu (prędkości), obejmujących zarówno czas właściwego wykonania (dane z zapisów komputerowych) jak i czasy uzupełniające (czynności pomocniczych): przygotowawczo-zakończeniowe, obsługę stanowiska roboczego, potrzeby naturalne (dane z innych źródeł: dziennik budowy, wywiad itd.) (jak również w podobny sposób, określenie norm zużycia mieszanki betonowej — poz. [2 i 3]), uzupełnia zbiór norm w istniejących Katalogach Nakładów Rzeczowych i umożliwia racjonalne planowanie robót fundamentowych palowych (planowanie robót, ofertowanie, kierowanie) dla różnych warunków geotechnicznych. Tym bardziej, że dane zawarte w obligatoryjnych Szczegółowych Specyfikacjach Technicznych dotyczą głównie technicznej strony wykonywania pali i warunków odbioru robót (dopuszczalne odchylenia, tolerancje wymiarów, rodzaje stosowanych materiałów, itp.).

Wyniki analizy czasu wiercenia i betonowania wskazały, że najistotniejszy wpływ na czas właściwej realizacji pali ma wartość stopnia plastyczności gruntów, w których formowany jest pal. W gruntach twaroplastycznych wykonanie jednego metra pala trwa średnio około minutę dłużej niż w gruntach miękkoplastycznych. Różnica ta, w pierwszej chwili, może się wydawać niewielka, ale jeśli mamy na uwadze, że pale wykonywane są wielokrotnie o długości kilkunastu lub więcej metrów, oraz że zadanie palowe może obejmować kilkaset pali (lub więcej), to otrzymujemy bardzo istotne różnice w czasie jego wykonania.

Czas realizacji zadania palowego jest z reguły jednym z głównych czynników decydujących o wyborze danego wykonawcy w postępowaniu ofertowym (przetargowym) albo przy zleceniu inwestycji do realizacji. Ważnym zagadnieniem jest zatem dokładność w przewidywanej ocenie czasu wykonania.

#### LITERATURA

- [1] *Bustamente M.*: Auger and Bored Pile Pile Construction Monitoring and Testing, 4<sup>th</sup> International Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles, Ghent, Belgium, 2–4.06.2003, Printed by Millpress Rotterdam, 2003
- [2] *Pająk M.*: Analiza pracochłonności i materiałochłonności pali wierconych świdrem ciągłym, Praca Doktorska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2009
- [3] *Sobotka A., Pająk M.*: Badanie materiałochłonności pali CFA na podstawie komputerowych zapisów jakości realizacji pali. Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej, Budownictwo, Kraków, 2010, s. 23–34
- [4] *Zajączkowska T.*: Kalkulacja kosztorysowa w budownictwie i jej komputerowe wspomaganie, Wyd. Zampex, Kraków, 1999