

## **8. Metoda określania pracochłonności i materiałochłonności pali wierconych**

### **8.1. Streszczenie:**

Praktyka w realizacji przedsięwzięć budowlanych wskazuje na złe doświadczenia z przygotowania procesu inwestycyjnego. Przyczyny są oczywiście bardzo różne, ale jedną z nich jest źle opracowany kontrakt. Jednym z jego elementów jest określenie czasu i zasobów generujących koszt przedsięwzięcia. Do ich określenia potrzebne są odpowiednie dane - normy nakładów jednostkowych, które ułatwiają szacowanie danych decydujących o ofercie i kontrakcie. Brakuje dostępnych baz z takimi danymi dla wielu wprowadzanych wciąż nowych technologii budowania. Dlatego też autorki podjęły się zadania opracowania metody do określenia norm pracochłonności i materiałochłonności nowej generacji pali fundamentowych pale wierconych świdrem ciągłym w systemie CFA (Continuous Flight Auger), wykorzystując przede wszystkim informacje z monitoringu realizacji pali, rejestrowanych za pomocą komputera, w który wyposażona jest palownica.

*-Słowa kluczowe: pale CFA, normowanie, pracochłonność, materiałochłonność*

### **8.2. Cel i zakres opracowania**

Celem opracowania jest przedstawienie możliwości wykorzystania informacji uzyskanych z wysokiej klasy urządzeń budowlanych, wyposażonych w elektronikę, sterowanych komputerowo, w programy rejestrujące dane z przebiegu ich pracy podczas realizacji robót budowlanych, do planowania realizacji robót i przedsięwzięć budowlanych. Przedmiotem niniejszych badań jest wykonywanie pali fundamentowych wierconych świdrem ciągłym (CFA – Continuous Flight Auger Piles) i analiza pracochłonności oraz materiałochłonności ich realizacji do określenia norm pracy i zużycia materiałów niezbędnych do planowania przebiegu robót (czasu, zasobów i kosztów) na etapie przygotowania budowlanego procesu inwestycyjnego. Tym bardziej jest to celowe, gdyż brak jest baz normatywnych do projektowania organizacji robót i kosztorysowania powszechnie już stosowanych nowoczesnych rozwiązań pali fundamentowych w tym pali wierconych w systemie CFA. Praca przedstawia metodę określania ww. norm pracy, powstała w oparciu o liczne badania in-situ zakończone pracą doktorską M. Pająk (2009).

### **8.3. Ogólny opis problemu**

Realizacja fundamentów palowych związana jest z intensywnym rozwojem budownictwa. Coraz częściej wznoszenie obiektów budowlanych odbywa się na trudnych terenach z punktu widzenia warunków gruntowych i lokalizacyjnych (np.

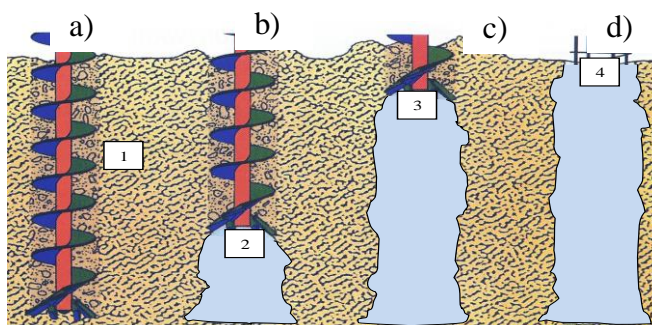
---

<sup>11</sup>Marta Pająk, dr inż., Instytut Konsultacyjno – Badawczy GEOCONTROL Sp. z o.o.

<sup>12</sup> Anna Sobotka, prof. dr hab. inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

tereny gęsto zabudowane, itd.). Niejednokrotnie tereny, które do tej pory były uznawane za nieprzydatne do celów budowlanych teraz są wykorzystywane do wznoszenia nowych konstrukcji inżynierskich, które wymagają przeniesienia dużych obciążeń na podłoże. W trudnych warunkach gruntowych realizacja posadowienia bezpośredniego nie jest możliwa i w takich przypadkach są wykonywane pośrednie fundamenty palowe.

Jednym z rodzajów pali o dużym praktycznym zastosowaniu, są pale wiercone świdrem ciągłym w systemie CFA (rys. 8.1). Jest to znana technologia wykonywania pali. Szeroko opisywane są w literaturze doświadczenia z ich realizacji i dość powszechnie stosowane np. w Małopolsce (Berzi i in., 1998; Kłosiński i Rychlewski, 2003).



Rys. 8.1. Etapy realizacji pali CFA; a) wiercenie świdrem ciągłym; b) betonowanie pala przez rurę rdzeniową świdra z równoczesnym podciąganiem świdra; c) zakończenie betonowania; d) wprowadzenie zbrojenia; 1-podłoże gruntowe, 2-świder wiertniczy, 3-beton, 4-zbrojenie

Projekt posadowienia dla każdej realizowanej konstrukcji obejmuje wykonanie projektu konstrukcyjnego pali oraz projektu robót palowych. Opracowanie obu tych projektów następuje w oparciu o analizę tych samych informacji zawartych w dokumentacji geologicznej z uwzględnieniem charakterystyki projektowanego obiektu (tzn. głównie wielkości i rodzaju obciążeń przekazywanych z obiektu przez fundament na podłoże; przeznaczenia i sposobu eksploatacji obiektu) oraz po rozpoznaniu możliwości realizacji posadowienia dla planowanego obiektu.

Jednakże opracowanie projektu robót budowlanych zawierającego także informacje o czasie i niezbędnych zasobach do wykonania pali, realizowanych w nowoczesnych technologiach, wymaga danych o ich pracochłonności, materiałochłonności i innych. Takich danych nie zawierają dostępne katalogi nakładów rzeczowych, w oparciu, o które zwykle opracowuje się kosztorysy i harmonogramy (planowanie robót, ofertowanie, kierowanie). Natomiast dane zawarte w obowiązkowych Szczegółowych Specyfikacjach Technicznych dotyczą głównie technicznej strony wykonywania pali i warunków odbioru robót (dopuszczalne odchylenia, tolerancje wymiarów, rodzaje stosowanych materiałów, itp.).

Wykonywanie pali w systemie CFA posiada możliwość uzyskania metryk pali w sposób automatyczny dzięki wyposażeniu maszyny palującej w komputer „zbierający” dane z urządzeń rejestrujących. Informacje z komputerowych metryk

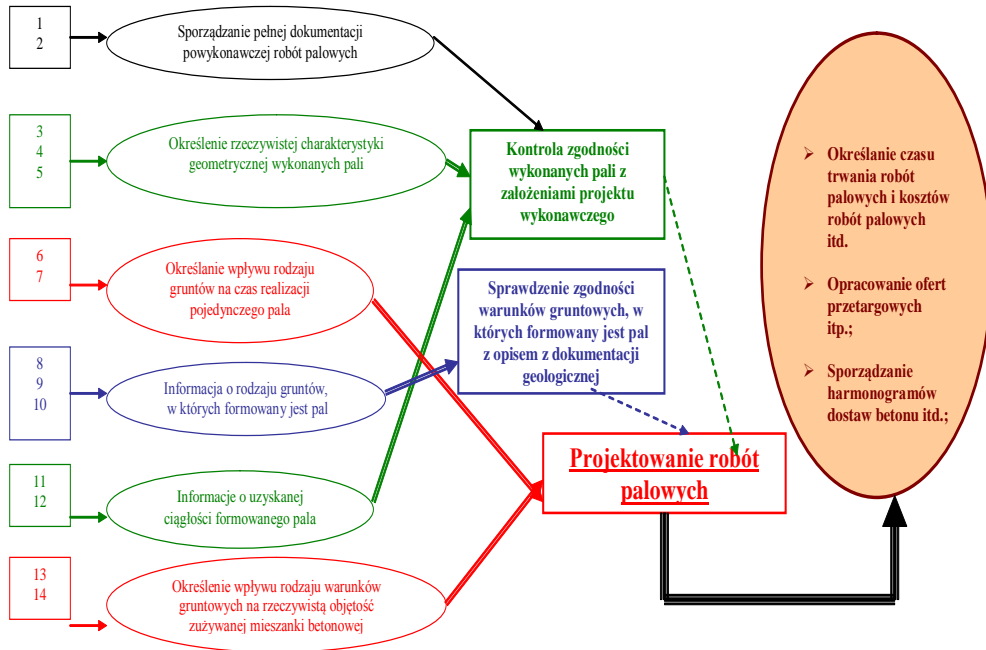
pozwalają na bieżącą kontrolę jakości wykonywania pala (długość, ciągłość, średnica, ciśnienie betonowania) oraz parametrów technologicznych (czasy wiercenia i betonowania, zużycie mieszanki betonowej, itd.). W metryce każdego pala zarejestrowane są podstawowe informacje dotyczące wykonawstwa, są to:

1. Data jego realizacji [dd-mm-rr];
2. Numer pala [nr];
3. Rzeczywista średnica [m];
4. Uzyskane pochylenie pala [stopnie];
5. Zapis głębokości wwiercania świdra (informuje o długości pala) [m p.p.t.];
6. Zapis czasu rozpoczęcia i zakończenia pogrążania świdra [godz];
7. Zapis początku i końca betonowania [godz];
8. Pomiar prędkości obrotowej podczas wiercenia [obroty na minutę];
9. Pomiar prędkości pogrążania świdra podczas wiercenia [m/h];
10. Pomiar momentu obrotowego podczas wiercenia [bar],
11. Pomiar prędkości podnoszenia świdra w czasie betonowania [m/h];
12. Pomiar ciśnienia betonowania [bar];
13. Zapis całkowitej objętości wtłoczonego betonu [m<sup>3</sup>];
14. Pomiar dodatkowego zużycia betonu, nie wynikającego z geometrii pala [%].

W przypadku wykonywania pali wierconych świdrem ciągłym w systemie CFA występuje dodatkowe zjawisko, które wpływa na pracochłonność i materiałochłonność robót, wnikanie mieszanki betonowej w podłoże gruntowe, wskutek czego zużycie materiału jest większe niż wynika to z geometrycznych wymiarów pala. Jest to tzw. ponad zużycie i ma ono duży wpływ na planowanie zużycia materiału, a w efekcie na ponoszone rzeczywiste koszty robót palowych.

Opracowanie norm pracochłonności i materiałochłonności pozwala zarówno na planowanie ofertowe realizacji robót palowych przed przystąpieniem do wykonywania przedsięwzięcia budowlanego, jak i na sterowanie w trakcie robót, uwzględniając na bieżąco rejestrowane parametry wykonawcze, charakterystyki warunków gruntowych i inne zmieniające się czynniki zewnętrzne wpływające na przebieg robót palowych, których monitorowanie jest dzięki odpowiedniemu wyposażeniu maszyny do palowania (rys. 8.2).

Rysunek 8.2 przedstawia dane, które uzyskuje się podczas monitoringu wykonywania pali i ich możliwość wykorzystania zarówno do zapewnienia jakości realizowanych pali jak i materiał statystyczny do opracowania norm nakładów rzeczowych niezbędnych w przygotowaniu inwestycji (harmonogramy, kosztorysy, oferty) i planowaniu oraz sterowaniu robotami palowymi. Przedstawione w niniejszym opracowaniu rozwiązania proponuje się wykorzystywać także przy tworzeniu bazy danych do projektowania wykonywania pali w systemie CFA i zarządzania logistycznym np. określenie liczby zestawów sprzętu, liczby brygad roboczych, dostawami zbrojenia i mieszanki betonowej itd.



Rys. 8.2. 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 wyżej w tekście.

#### 8.4. Metodyka opracowania norm rzeczowych

Metodyka opracowania norm czasu i zużycia mieszanki betonowej, na podstawie analizy wyników badań in-situ - na wielu budowach, obejmuje następujące etapy:

1) analiza wykonywania i kontroli jakości pali CFA w aspekcie możliwości wykorzystywania danych z monitoringu komputerowego palownicy i obserwacji pracy na budowie, do określania pracochłonności i materiałochłonności pali;

2) budowa modelu graficzno – werbalnego, który zawiera:

- określenie struktury systemu realizacji pali CFA (rys. 8.3),
- charakterystykę elementów i procesów systemu,
- wskazanie zależności między elementami systemu.

Model ten stanowi podstawę do przeprowadzenia analizy wieloczynnikowej systemu robót palowych. W wyniku tej analizy wskazane są czynniki decydujące o pracochłonności i materiałochłonności realizacji pali CFA (rys. 8.4 i 8.5).

3) opracowanie modelu matematycznego do określenia pracochłonności i materiałochłonności pali CFA na podstawie analizy wieloczynnikowej, a w tym:

- wskazanie klasy i określenie struktury modelu,
- określenie metody znalezienia postaci analitycznej modelu,
- określenie mechanizmu zależności między parametrami,
- estymacja parametrów modelu matematycznego w oparciu o dane z badań terenowych dla różnych stanów gruntów spoistych i parametrów geometrycznych pali.

Poszukiwany model matematyczny będzie funkcją wielomianową, co wynika z zasad budowy normy czasu i zużycia materiałów. Niektóre z wyrazów poszukiwanej funkcji są nieznanne, a ich postać jest określana na podstawie badań z wykorzystaniem metody analizy regresji.

- 4) określenie norm pracochłonności i materiałochłonności wykonywania robót palowych w zależności od stanu gruntów spoistych i parametrów geometrycznych pali,
- 5) weryfikacja modeli pracochłonności i materiałochłonności,
- 6) tabelaryzacja wyników badań: norm pracochłonności i materiałochłonności dla różnych przypadków (warunków gruntowych i geometrycznych pali).

**Ad. 1.** Wykonanie pojedynczego pala fundamentowego jest złożonym procesem produkcyjnym, który można podzielić na procesy przygotowawcze i zakończeniowe o charakterze pomocniczym, ale są niezbędne do wykonania pala oraz na procesy zasadnicze obejmujące właściwe formowanie pala z jego zazbrojeniem. Równoległe z zasadniczym procesem formowania pala przebiega proces kontrolny. Proces kontrolny w systemie CFA jest dostępny dzięki bieżącemu, w trakcie realizacji pali, komputerowego monitoringu.

Wymienione procesy można podzielić na następujące operacje robocze:

#### **I. PROCES PRZYGOTOWAWCZY**

- 1) wyznaczenie geodezyjne osi pala;
- 2) przygotowanie platformy roboczej dla maszyny wykonującej palowanie i samochodów dowożących mieszankę betonową;
- 3) rozpoznanie zaleceń projektowych i rozpoznanie warunków na budowie;
- 4) ustalenie kierownika zadania z zespołem roboczym dot. kolejności wykonywania pali;
- 5) ustawienie maszyny palującej na stanowisku roboczym;
- 6) przyjazd betoniarki oraz pompy do betonu = gotowość mieszanki betonowej;
- 7) podłączenie rury contractorowej podającej beton z betoniarki do palownicy;
- 8) wypożyczonowanie świda palownicy (nad wyznaczoną osią pala);
- 9) przygotowanie zbrojenia pala;

#### **II. PROCES ZASADNICZY**

- 8) wiercenie pala-zagłębianie świda spiralnego (wwiercanie ruchem złożonym, tj. ruchem posuwistym i obrotowym) do głębokości zapewniającej projektowaną długość pala;
- 9) zatrzymanie wwiercania świda po osiągnięciu zamierzonej głębokości;
- 10) otwarcie dolnego zaworu rury rdzeniowej, przez którą wtlaczany jest beton;
- 11) rozpoczęcie wyciągania świda ruchem postępowym – bez obrotu świda, z równoczesnym wtlaczaniem mieszanki betonowej przez rurę rdzeniową świda;
- 12) wkładanie zbrojenia, w ciekłą mieszankę betonową, po zakończeniu formowania pala;

#### **III. PROCES KONTROLNY** (przebiega równocześnie z procesem zasadniczym)

- 13) kontrola warunków gruntowych (moment obrotowy, opory wiercenia, prędkość pogrążania świda, prędkość obrotu świda, czas wiercenia);

- 14) kontrola parametrów wykonawczych pala (ciśnienie betonowania, prędkość betonowania, czas betonowania);
- 15) kontrola geometrii wykonywanego pala (długość, średnica);

#### **IV. PROCES ZAKOŃCZENIOWY**

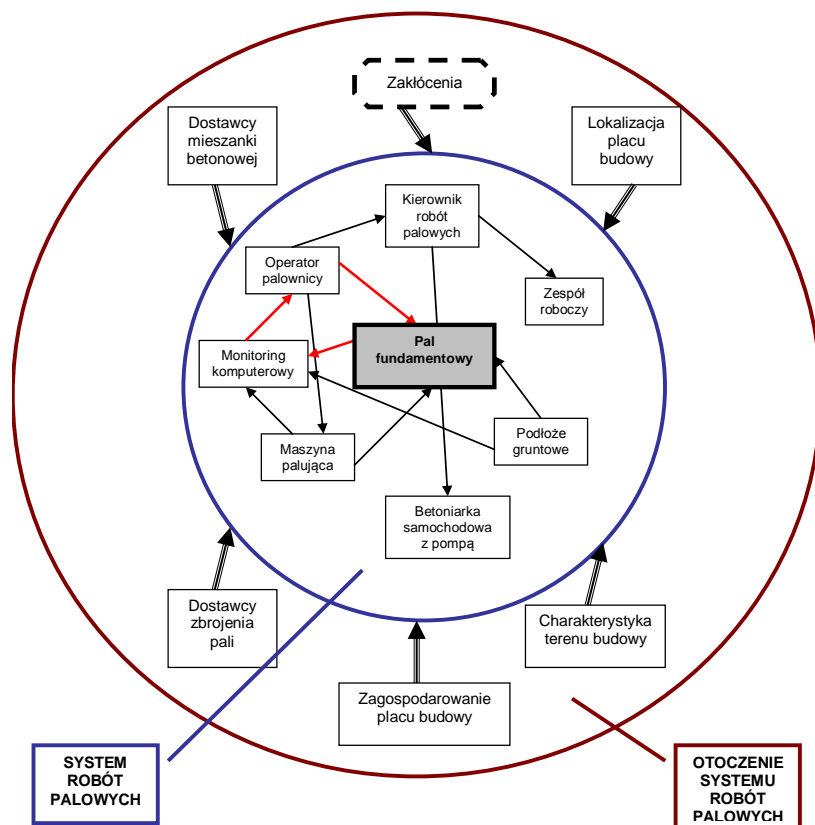
- 16) dokumentowanie wykonania kolejnych pali w dzienniku budowy;
- 17) kompletowanie dokumentacji powykonawczej (w tym komputerowych metryk z realizacji kolejnych pali);
- 18) przejazd palownicy na następne stanowisko robocze.

Większość z tych operacji jest rejestrowana za pomocą wyposażenia palownicy a inne dokumentowane przez kierowników robót i stanowią podstawę do analizy pracochłonności i materiałochłonności wykonywania pali CFA.

**Ad.2.** W przyjętej metodzie projektowania system palowania CFA oznacza wykonywanie robót fundamentowych palowych obejmujących wszelkie działania techniczne brygad fundamentowych i sprzętu do robót fundamentowych, które mają na celu wykonanie fundamentu w postaci określonej w projekcie fundamentowania. System ten składa się z elementów, które razem tworzą funkcjonalną całość wyodrębnioną z otoczenia. Otoczeniem jego jest rzeczywistość, która określa i warunkuje funkcjonowanie systemu. Analizie poddano wpływy wielkości wejściowych na wyjściowe oraz ogólne cechy systemu, jego strukturę i mechanizmy działania. Rysunek 8.6 przedstawia wyodrębnione elementy systemu palowania, oraz powiązania między nimi w postaci modelu graficznego, który uzupełniony jest opisem charakteryzującym elementy, ich cechy i powiązania. Opracowany model badawczy stanowi uproszczoną reprezentację (odwzorowanie) rzeczywistego systemu wykonywania pali CFA. Wskazano także elementy z otoczenia mające wpływ na wykonanie tych robót oraz powiązania między nimi.

Struktura systemu palowania CFA oraz relacje występujące pomiędzy elementami systemu są następujące:

- 1) pal fundamentowy CFA formowany jest przy zastosowaniu specjalistycznej palownicy CFA, wyposażonej w komputerowy system monitoringu realizacji i jakości formowanych pali. Pal charakteryzuje się bardzo dużą nośnością w porównaniu z palami wykonanymi w innych systemach palowania. Jest to skutkiem między innymi zjawiska, które specyfikuje ten właśnie system, tj. zjawisko wnikania mieszanki betonowej w podłoże wokół formowanego pala. Zjawisko to jest monitorowane komputerowo i kontrolowane przez operatora palownicy, a jego zakres zależy od warunków gruntów w podłożu otaczającym pal oraz parametrów wykonawczych;



Rys.8.3. Elementy systemu realizacji pali CFA i ich powiązania w robotach fundamentowych

- 2) rodzaj podłoża gruntowego (podłoże gruntowe może być jednorodne lub uwarstwione, spoisne lub niespoisne, w podłożu wyróżnia się rodzaje i miąższości kolejnych warstw gruntowych) wpływa istotnie na przebieg i ostateczną formę realizowanego pala. Wpływ rodzaju podłoża, w którym wykonywany jest pal dotyczy głównie czasu wiercenia i czasu betonowania, uzyskiwanej średnicy pala oraz powierzchni pobocznic pala (pobocznica pali CFA charakteryzuje się chropowatością pobocznic, co skutkuje bardzo dobrą współpracą powierzchni bocznej pali z podłożem otaczającym pale). W pewnych rodzajach gruntu otaczającego formowany pal, obserwuje się bardzo intensywne wnikanie mieszanki betonowej w warstwy gruntu otaczającego pal. Powoduje to zwiększenie średnicy uformowanego pala od średnicy projektowanej;
- 3) maszyna wykonująca pale CFA charakteryzuje się specjalną konstrukcją zarówno masztu wiertniczego, jak i samego narzędzia wiertniczego. Maszty palownic CFA są bardzo długie (standardowo do 30 m, ale producenci maszyn palowych konstruują dłuższe maszty na indywidualne zamówienia). Palownice charakteryzują się dużymi siłami wyciągającymi świder oraz wysokimi mo-

mentami obrotowymi świdra. Świder wiertniczy typu CFA charakteryzuje się odpowiednią proporcją średnicy rury tłoczącej beton do średnicy całego świdra. W doborze średnic rury tłoczącej beton i skrzydełek wiertniczych dąży się do takich proporcji, aby osiągać maksymalne przemieszczenia poziome gruntu wokół formowanego pala i tym samym ograniczyć wydobywanie urobku gruntowego na powierzchnię. Średnica całego świdra jest dobierana zgodnie ze średnicami pali zaprojektowanych w projekcie konstrukcyjnym palowania;

- 4) na podstawie bieżącego monitoringu w trakcie realizacji pala, operator ma informacje, w jakiej warstwie znajduje się świder wierzący pal. Urządzenie monitorujące wykonywanie pala, które jest zamontowane na maszynie przekazuje na bieżąco dane do monitora w kabinie operatora palownicy. Dzięki temu może natychmiastowo reagować np. stosownie zwiększając wykorzystywaną moc maszyny. Skutkuje to wzrostem prędkości wiercenia (na etapie wiercenia) lub zwiększeniem ciśnienia betonowania (na etapie betonowania pala);
- 5) operator palownicy od początku do końca wykonywania pala, w trakcie procesu zasadniczego formowania pala jest zobowiązany do prowadzenia w sposób nieprzerwany, na bieżąco monitoringu komputerowego. Informacje przetwarzane przez system komputerowy docierają z czujników zamontowanych na wiertnicy. Na podstawie danych, które na bieżąco docierają do operatora prowadzi on bieżące sterowanie parametrami wykonawczymi, takimi jak moment obrotowy świdra na danej głębokości, prędkość obrotowa świdra, prędkość wiercenia, prędkość betonowania, ciśnienie betonowania, objętość przepływającego betonu, itd.;
- 6) kierownik (lub zastępca kierownika) kontroluje czy postęp robót oraz jakość formowanych pali są odpowiednie i zgodne z zaleceniami podanymi w Szczegółowej Specyfikacji Technicznej, która jest przygotowywana każdorazowo dla kolejnego zadania palowego (dla kolejnej budowy) po uwzględnieniu warunków lokalizacyjnych danego palca budowy. Kierownik odpowiada za ciągłość w wykonywaniu każdego kolejnego pala oraz dokumentuje przebieg robót.
- 7) zespół roboczy (poza kierownikiem i jego zastępcą oraz operatorem maszyny) pracujący przy realizacji pali CFA składa się z pracowników, którzy odpowiadają za podłączenie pompy podającej mieszankę betonową z betoniarki do palownicy, ustawienie osi świdra przed rozpoczęciem wiercenia w miejscu projektowanej osi pala, usuwanie ewentualnego urobku gruntowego z wydobywanego świdra maszyny podczas betonowania pala oraz zagłębienie zbrojenia pala;
- 8) Niezbędna do rozpoczęcia betonowania pala jest obecność na stanowisku roboczym betoniarki samochodowej wyposażonej w pompę do betonu, podłączenie rury podającej beton z betoniarki do maszyny palującej. Betoniarka przyjeżdża na plac budowy na ustaloną przez kierownika robót palowych godzinę, dlatego też jej przyjazd bezpośrednio wpływa na możliwość rozpoczęcia formowania pala.

Analiza systemu pozwoliła na wyznaczenie wielu czynników, które wpływają na pracochłonność (rys. 8.4) i materiałochłonność (rys. 8.5, spośród których w następnym etapie badań wyznaczono najistotniejsze.



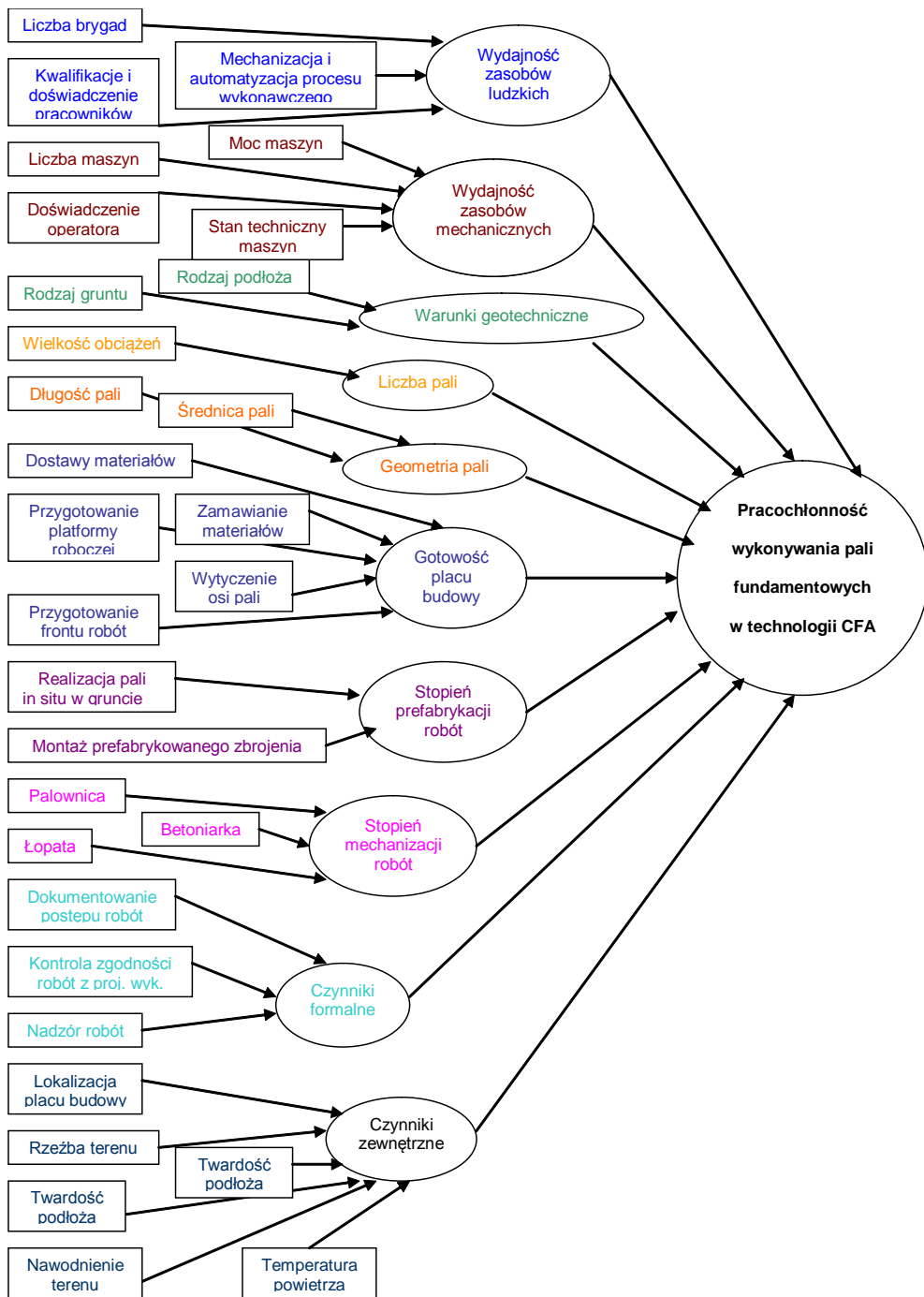
**Ad. 3, 4.** Badanie pracochłonności i materiałochłonności wykonywania pali CFA prowadzące do opracowania jednostkowych nakładów rzeczowych i czasu (norm) objęły:

- a) Przyjęcie podstawowej postaci (klasy) modelu norm jako funkcji addytywnych;
- b) Ustalenie metody obliczania poszczególnych składników tych funkcji;
- c) Określenie metody wyznaczania składników norm wymagających uwzględnienia danych z monitoringu komputerowego palownicy, w tym;
  - Sprawdzenie minimalnej liczebności próby badawczej;
  - Badanie charakteru rozkładu czasu wykonywania pali i rozkładu zużycia mieszanki betonowej;
  - Wstępne szacowanie i wnioskowanie dotyczące pracochłonności i materiałochłonności palowania;
  - Określenie funkcji regresji czasu wiercenia i betonowania pala oraz zużycia mieszanki betonowej względem stanu gruntów i parametrów geometrycznych;
  - Obliczenie i tabelaryzacja normy pracochłonności i zużycia mieszanki betonowej;
- d) Weryfikacja modeli pracochłonności i materiałochłonności;
- e) Analiza wyników badań i wnioski.

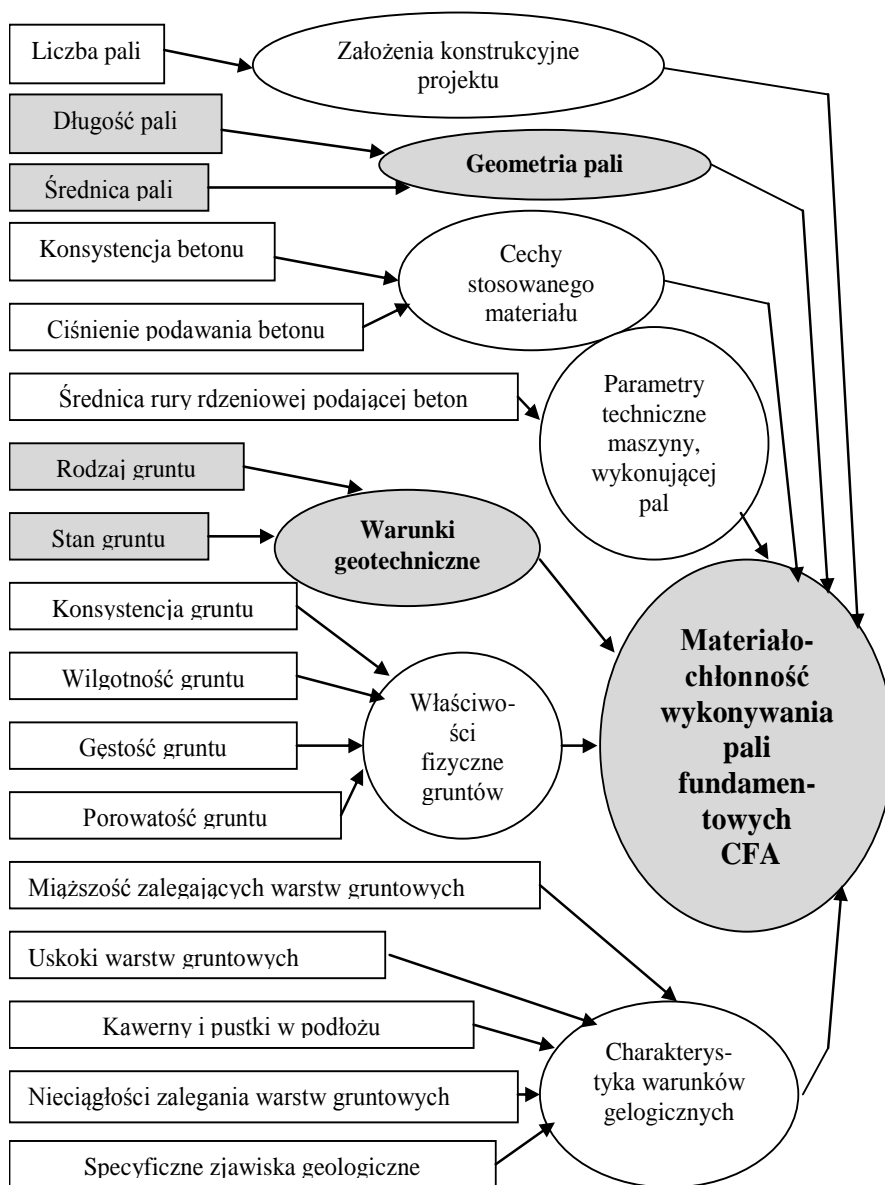
Badania wykazały, że poszukiwane modele norm są funkcjami addytywnymi.

Niektóre składniki modelu mają charakter stały i zostały określone na podstawie analiz danych zawartych w dokumentacjach powykonawczych z realizacji pali (np. dzienniki budów, protokoły z kontroli nadzoru budowlanego lub inwestorskiego, zbiory wyników kontrolnych badań pali, protokoły odbiorcze robót palowych i inne). Pozostałe elementy funkcji modelowych przedstawionych w pracy, które odwzorowują kolejne etapy złożonego procesu wykonywania pali CFA określono na podstawie analiz informacji dostępnych w archiwizowanych metrykach pali oraz na podstawie wywiadów i opinii ekspertów (kierownicy budów, projektanci, autorzy specyfikacji technicznych, kosztorysanci, operatorzy maszyn itd.).

W badaniach wykorzystano wyniki badań bezpośrednich *in situ* z wykonywania 930 pali. Analizie poddano metryki z ich realizacji. Były to pale o średnicach  $\varnothing = \{40 \div 100\}$  [cm] i długości  $L = \{6,0 \div 19,0\}$  [m]. Łącznie analiza objęła 12 059 mb pali wykonanych w gruntach spoistych.



Rys. 8.4. Grupy czynników wpływających na pracochłonność wykonywania pali CFA



Rys. 8.5. Grupy czynników wpływających na materiałochłonność wykonywania pali CFA

Wybór badań *in situ* w podłożu zbudowanym z gruntów spoiwych podyktowany był tym, że zazwyczaj właśnie grunty spoiwe stanowią o nośnościach i odkształcalnościach podłoża, w którym niemożliwe jest bezpośrednie posadowienie fundamentów na palach. Warstwy nośne w podłożu gruntowym spoiwym zalegają z reguły na tak dużych głębokościach, że „dojście” do nich przez fundament bezpośredni jest niemożliwe. Tak, więc to głównie słabe grunty spoiwe występujące

w podłożu gruntowym wymuszają konieczność posadowienia konstrukcji na fundamentach specjalnych głębokich, w tym głównie na palach.

**Ad. 5.** Formuły do określania obu norm zostały poddane weryfikacji z wykorzystaniem wyników, które nie były wykorzystane do ich budowy. Wykorzystano wyniki z realizacji pali, które nie zostały ujęte w próbach badawczych do poszukiwania postaci modeli (Pająk, 2009). Parametry geometryczne pali przyjęto zgodnie z projektem konstrukcyjnym. Wyniki z realizacji pali, poddanych weryfikacji pochodzą z budowy, gdzie pale formowano w podłożu spoistym (jest to zgodne z podstawowym założeniem przyjętym do analiz i budowy modelu).

## 8.5. Pracochłonność i norma czasu

Analiza pracochłonności wykonywania pali prowadzi do określenia normy czasu. Całkowity czas normowany składa się z następujących elementów (Rowiński, 1982; Jaśkowski i Taczanowska, 1998):

- czasu właściwego wykonywania pala CFA, Tw:
  - 1) wiercenie Twrc,
  - 2) betonowanie Tbet,
  - 3) zbrojenie Tzbr,
- i czasu czynności pomocniczych (uzupełniających tj.:
  - 4) czasu czynności przygotowawczo – zakończeniowych, Tpz.
  - 5) czasu na obsługę stanowiska roboczego, Tosr.
  - 6) czasu na odpoczynek i potrzeby naturalne, Ton.

Określana w pracy norma czasu uwzględnia ww. czasy stanowiące sumę czasów potrzebnych na wykonanie poszczególnych operacji i czynności roboczych wymienionych w rozdz. 3 a składających się na proces palowania.

Źródło danych o czasach: poz. 1 i 2 to metryki wykonania pali, poz. 3 – w dokumentacjach powykonawczych pali, poz. 4,5,6 - obserwacje bezpośrednie złożonego procesu wykonywania pali CFA oraz analizy archiwizowanych danych z zapisów w dziennikach budów, protokółów z kontroli Nadzoru Inwestora i inne.

Elementy czasu normowanego i procesy, które obejmuje norma są uzależnione od wielu czynników wpływających na pracochłonność. Na podstawie ciągłych, bezpośrednich obserwacji pełnego procesu wykonywania kilkuset pali CFA, przeprowadzonej analizy wyników badań terenowych i dokumentacji powykonawczych pali na rys. 8.4. wyróżniono czynniki wpływające na pracochłonność wykonywania pali CFA.

Wszystkie czynniki zostały pogrupowane na dziesięć grup, a w wyniku wykonanej selekcji wskazano dwie grupy czynników, które są uwzględnione w opracowanym modelu normy. Pierwszą grupą czynników są **warunki geotechniczne** (stopień plastyczności opisujący stan gruntów spoistych); druga grupa to **parametry geometryczne pali**. 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).

Czas wykonania pala CFA jest sumą wymienionych wyżej czasów.

Czas właściwy jest sumą trzech czasów wykonywania procesów zasadniczych, którym towarzyszą procesy kontrolne, ale przebiegają one równoległe z procesami zasadniczymi, tj. w czasie właściwego wykonywania pala.

$$T_w = T_{wrc} + T_{bet} + T_{zbr}, \quad (8.1)$$

Czas wiercenia i betonowania pala w podłożu gruntowym zależy od stopnia plastyczności gruntów oraz od średnicy i długości formowanego pala. Nieznana postać tych zależności /funkcji  $f$  i  $g$  można wyznaczyć na podstawie analizy informacji dostępnych w metrykach pali CFA.

$$T_{wrc} = f(I_L, \phi, L), \quad (8.2)$$

$$T_{bet} = g(I_L, \phi, L), \quad (8.3)$$

$I_L$  – stopień plastyczności podłoża gruntowego, w którym wykonywane są pale,

$\phi$  – średnica wykonywanych pali, [m],

$L$  – długość wykonywanych pali, [m].

Czas zbrojenia jest zależny od mieszanki betonowej, jej konsystencji, stosowanych dodatków, domieszek itd. Jest on określony na podstawie danych dostępnych w dokumentacji powykonawczej dla każdego pala, zawartych w dziennikach budów. Czas zbrojenia można przyjąć jako stały dla danego typu pali na danej budowie. Stała wartość czasu zbrojenia pala jest wynikiem niezmiennych warunków, które decydują o czasie jego trwania, ponieważ mieszanka betonowa i jej konsystencja dla pali CFA jest stała (B30).

Czas uzupełniający stanowi sumę czasów przygotowawczo-zakończeniowego, obsługi stanowiska roboczego oraz czasu na odpoczynek i potrzeby naturalne zespołu roboczego. Czas przygotowawczo-zakończeniowy będzie określony na podstawie analizy wyników badań terenowych z budów oraz analizy zapisów w dokumentacjach powykonawczych. Czas na odpoczynek i potrzeby naturalne zespołu roboczego przyjmuje się jako stały na danej budowie i zależny od klasy robót (np. dziewięć procent normy czasu zgodnie z wytycznymi dla procesów ciężkich (Jaśkowski i Taczanowska, 1998)).

$$T_u = T_{pz} + T_{osr} + T_{on}, \quad (8.4)$$

oznaczenia jak wyżej.

Elementy czasu uzupełniającego wykonywania pali CFA, tj. czas przygotowawczo – zakończeniowy; czas obsługi stanowiska roboczego oraz czas na odpoczynek i potrzeby naturalne można określić na podstawie obserwacji systemu palowania oraz analizy danych powykonawczych z robót palowych w tym systemie.

Zatem czas wykonania pala i określona na jego podstawie norma czasu jako czas wykonania jednego m pala ma postać:

$$T = T_{wrc} + T_{bet} + T_{zbr} + T_{pz} + T_{osr} + T_{on}, \quad (8.5)$$

Jest to funkcja wielomianowa, wieloargumentowa z dwoma wyrazami  $T_{wrc}$  oraz  $T_{bet}$ , których postać będzie poszukiwana metodą analizy regresji przy wykorzystaniu danych z metryk komputerowego monitoringu wykonywania pali CFA.

Wnioskowanie statystyczne objęło kolejno trzy etapy:

- etap I – wnioskowanie statystyczne jednowymiarowe, które obejmuje zależność czasu wiercenia oraz czasu betonowania pala tylko od stanu gruntów, następnie zależność czasu wiercenia i betonowania tylko od średnicy pali oraz zależność czasu wiercenia i czasu betonowania tylko od długości pala;
- etap II – wnioskowanie statystyczne dwuwymiarowe, które obejmuje zależność czasu wiercenia oraz czasu betonowania pala od stanu gruntów i średnicy pali oraz zależność czasu wiercenia i czasu betonowania tylko od stanu gruntów i długości pala;
- etap III – wnioskowanie statystyczne wielowymiarowe, które obejmuje zależność czasu wiercenia oraz czasu betonowania pala od stanu gruntów, średnicy i długości pali.

Przeprowadzone wnioskowanie statystyczne za pomocą programu STATISTICA wykazały zasadność przyjęcia modelu otrzymanego w etapie III analizy (Pajak, 2009) i przyjęcie następującej zależności do określania pracochłonności

$$N_t = T_w + T_u = -6,241 * I_L + 0,025 * \emptyset - 0,013 * L + 5,126 + 4,799 * I_L - 0,018 * \emptyset + 0,135 * L + 0,656 + T_{zbr} + T_{pz} + T_{osr} + T_{on}, \quad (8.6)$$

R=0,96; R2=0,92; p<0,000 → p<α = 0,05, błąd standardowy estymacji wynosi 0,08.

Dla weryfikowanych przypadków czasów wiercenia, betonowania (weryfikacja z wykorzystaniem przedziału ufności) i właściwego wykonywania pali (test istotności dla wartości oczekiwanych) obejmujących próby z badanej populacji, ale nie ujętych w próbach, na podstawie których szacowano funkcje regresji czasów wykonywania pali względem badanych parametrów, wartości czasów zawierają się w obliczonych przedziałach czasów. Na tej podstawie przyjmuje się, że z prawdopodobieństwem 0,95 przedstawione w pracy modele mogą być wykorzystywane do obliczania normy czasu wykonywania pali w gruntach spoistych w zakresie średnic od 0,4 do 1,0 m i o długościach od 6 do 19m (Pajak 2009).

## 8.6. Materiałochłonność i norma zużycia mieszanki betonowej

Tradycyjna formuła na określenie normy zużycia materiału uwzględnia podstawowe zużycie materiału, odpady oraz straty i manka materiałowe. Normę zużycia materiału określa się jako

$$N_m = \frac{100 \cdot N_p}{100 - (n_o + n_m)}, \quad (8.7)$$

- gdzie:  $N_m$  – norma zużycia materiału, m<sup>3</sup>/jednostkę,  
 $N_p$  – norma podstawowa, m<sup>3</sup>/jednostkę,  
 $n_o$  – norma odpadów, %,  
 $n_m$  – norma manka i strat, %.

Podczas wykonywania pali w systemie CFA praktycznie nie występują odpady ani straty lub manka. Wynika to z wysokiej jakości technologii palowania, odpowiedniej budowy maszyn używanych w realizacji pali oraz stosowanego

ciśnieniowego betonowania. Dlatego też w prowadzonych badaniach, przyjęto wartości zerowe dla norm odpadów oraz strat i manka. Bardzo istotne przy określaniu normy zużycia materiałów jest wskazanie wartości tzw. ponad zużycia betonu.

W związku z powyższą specyfiką wykonywania pali wierconych świdrem ciągłym z ciśnieniowym betonowaniem konieczne jest przy określaniu normy zużycia materiałów uwzględnienie wartości ponad zużycia mieszanki betonowej. Zatem norma zużycia materiału  $N_m$  obejmuje dwa składniki

$$N_m = N_p + N_{p_z} = \frac{\Pi \cdot \phi^2 \cdot L}{4} + N_{p_z} \quad (8.8)$$

gdzie:  $N_p$  – norma podstawowa według projektu,

$N_{p_z}$  – norma ponad-zużycia zużycia – wielkość określana na podstawie wyników badań in- situ, m<sup>3</sup>/jednostkę,

$\phi$  – średnica wykonywanych pali, m,

$L$  – długość wykonywanych pali, m.

Wartość pierwszego wyrazu tego wzoru, czyli normę podstawową, można określić na podstawie danych z projektu konstrukcyjnego palowania tj. założeń konstrukcyjnych projektu dotyczących geometrii pali i założeń materiałowych. Natomiast wartość drugiego wyrazu jest zależna od stanu gruntu charakteryzującego podłoże gruntowe, w którym formowany jest pal oraz od parametrów geometrycznych pala tj. średnicy i długości. W związku z tym należy znaleźć postać funkcji  $h$  na podstawie informacji zawartych w metrykach z realizacji pali CFA

$$N_{p_z} = h(I_L, \phi, L) \quad (8.9)$$

$I_L$  – stopień plastyczności charakteryzujący podłoże gruntowe, w którym wykonywane są pale.

Pozostałe oznaczenia jak w (8.8).

Na podstawie wyników z metryk komputerowych z realizacji 12 059,00 m pali CFA i przy zastosowaniu oprogramowania STATISTICA określono funkcje ponad-zużycia mieszanki betonowej względem stanu gruntów (stopnia plastyczności gruntu) oraz długości i średnic formowanych pali. Ogólna funkcja regresji wielorakiej (Sobczyk, 1994), w przypadku trzech zmiennych niezależnych, przyjmuje postać, dla próby obejmującej pale wykonane o średnicach  $\phi \in \{0,4, 0,6, 0,8, 1,0\}$  m i długościach  $L \in \{6, 7, \dots, 19\}$  m w gruntach o stopniu plastyczności  $I_L \in \{0,00, \dots, 1,00\}$  m analityczny model normy ponad-zużycia jest następujący

$$N_{p_z} = 5,866 \cdot I_L - 0,007 \cdot \phi - 0,139 \cdot L + 2,929 \quad (8.10)$$

$R = 0,94$ ;  $R^2 = 0,91$ ;  $p < 0,000 \rightarrow p < \alpha = 0,05$ ; błąd standardowy estymacji wynosi 0,14.

Postać formuły do określania całkowitej normy materiałochłonności tj. zużycia mieszanki betonowej na pal jest następująca:

$$N_m = N_p + N_{p_z} = \frac{\Pi \cdot \phi^2 \cdot L}{4} + 5,866 \cdot I_L - 0,007 \cdot \phi - 0,139 \cdot L + 2,929 \quad (8.11)$$

Oznaczenia jak wyżej.

W procesie weryfikacji otrzymanych funkcji badania wykazały, że z prawdopodobieństwem 0,95 przedstawiony model może być wykorzystywany

w obliczeniach normy zużycia materiałów dla pali wykonanych w gruntach spoi-  
stych w zakresie średnic od 0,4 m do 1,0 m i długości od 6,0 m do 19,0 m. Wyniki  
dla przypadku dotyczącego pali o długości i średnicy wykraczających poza przyjęte  
do budowy modelu (funkcji regresji ponad-zużycia mieszanki) założenia, wskazują,  
że dla współczynnika ufności 0,95 wyniki modelu nie pokrywają wartości oczeki-  
wanej.

## 8.7. Przykładowa tabelaryzacja norm pracochłonności i materiałochłonności pali CFA

W tabeli 8.1 przedstawiono wartości czasów wiercenia  $T_{wrc}$  i czasu betonowania  
 $T_{bet}$  jednego metra pala, w zależności od stanu gruntów otaczających pal oraz jego  
średnicy, określone na podstawie funkcji (8.6). Czasy te stanowią podstawowe ele-  
menty czasu właściwej realizacji pala  $T_w$ .

Tabela 8.1. Norma pracochłonności i jej składowe na 1 m pala

$N_t = T_w + T_u = T_{wrc} + T_{bet} + T_{zbr} + T_u$ [min/m]					
$T_{wrc} = - 6,2412 \times I_L + 0,0245 \times \varnothing - 0,0131 \times L + 5,1263$ [min/m]					
$T_{bet} = 4,7994 \times I_L - 0,0175 \times \varnothing + 0,1348 \times L + 0,6566$ [min/m]					
$T_{zbr} = 1$ [min / m]					
$T_u = T_{pz} + T_{osr} + T_{on}$ [min/m]; $T_{pz} + T_{osr} = 5$ [min/m]					
$T_{on} = 0,09 (T_{wrc} + T_{bet} + T_{zbr})$ [min/m]					
$\square$ [m]	$I_L$ [-]	$T_{wrc}$ [min / m]	$T_{bet}$ [min / m]	$T_w$ [min / m]	$N_t$ [min / m]
0,40	[0,00÷0,25]	4,30	2,33	7,63	<b>13,30</b>
	(0,25÷0,50]	3,14	3,20	7,34	<b>13,00</b>
	(0,50÷0,75]	1,89	4,14	7,03	<b>12,66</b>
	(0,75÷1,00]	0,73	4,93	6,66	<b>12,24</b>
0,60	[0,00÷0,25]	4,31	2,33	7,64	<b>13,32</b>
	(0,25÷0,50]	3,15	3,20	7,35	<b>13,02</b>
	(0,50÷0,75]	1,90	4,14	7,04	<b>12,68</b>
	(0,75÷1,00]	0,74	4,93	6,67	<b>12,26</b>
0,80	[0,00÷0,25]	4,32	2,33	7,65	<b>13,34</b>
	(0,25÷0,50]	3,16	3,20	7,36	<b>13,04</b>
	(0,50÷0,75]	1,91	4,14	7,05	<b>12,70</b>
	(0,75÷1,00]	0,75	4,93	6,68	<b>12,28</b>
1,00	[0,00÷0,25]	4,33	2,33	7,66	<b>13,36</b>
	(0,25÷0,50]	3,17	3,20	7,37	<b>13,06</b>
	(0,50÷0,75]	1,92	4,14	7,06	<b>12,72</b>
	(0,75÷1,00]	0,76	4,93	6,69	<b>12,30</b>

Wartości  $T_{zbr} = 1$  min/m, i  $T_{pz} + T_{osr} = 5$  [min/m] przyjęto na podstawie obser-  
wacji procesu palowania na kolejnych budowach, jak również są średnim  
wynikiem dla wartości odczytanych z kolejnych dokumentacji powykonawczych W  
tabelach 8.2 i 8.3 przedstawiono przykładowe wartości normy podstawowej, normy  
ponad-zużycia i całościową normą materiałochłonności dla pali o różnych średni-  
cach i długościach wykonywanych w gruntach o różnych stopniach plastyczności.



Tabela 8.2. Wartości normy materiałochłonności dla pali o długości  $L = 6,0$  [m]

$\phi$ [m]	$I_L$	$N_p$ [m <sup>3</sup> /m]	$N_{Pz}$ [m <sup>3</sup> /m]	$N_m$ [m <sup>3</sup> /m]	$P$ [m <sup>3</sup> /pal] Zużycie podsta- wowe	$P_z$ [m <sup>3</sup> /pal] Ponad- zużycie	$N_{calc}$ [m <sup>3</sup> /pal] Zużycie całkowite
0,4	[0,00 ÷ 0,25]	0,126	0,018	0,144	0,754	0,110	<b>0,864</b>
	(0,25 ÷ 0,50]		0,027	0,153		0,161	<b>0,915</b>
	(0,50 ÷ 0,75]		0,038	0,164		0,228	<b>0,982</b>
	(0,75 ÷ 1,00]		0,049	0,175		0,294	<b>1,048</b>
0,6	[0,00 ÷ 0,25]	0,283	0,041	0,323	1,696	0,243	<b>1,939</b>
	(0,25 ÷ 0,50]		0,061	0,343		0,363	<b>2,059</b>
	(0,50 ÷ 0,75]		0,085	0,368		0,512	<b>2,208</b>
	(0,75 ÷ 1,00]		0,110	0,393		0,661	<b>2,357</b>
0,8	[0,00 ÷ 0,25]	0,502	0,072	0,574	3,014	0,432	<b>3,446</b>
	(0,25 ÷ 0,50]		0,107	0,609		0,644	<b>3,658</b>
	(0,50 ÷ 0,75]		0,152	0,654		0,909	<b>3,923</b>
	(0,75 ÷ 1,00]		0,196	0,698		1,175	<b>4,189</b>
1,0	[0,00 ÷ 0,25]	0,785	0,019	0,804	4,710	0,113	<b>4,823</b>
	(0,25 ÷ 0,50]		0,028	0,813		0,168	<b>4,878</b>
	(0,50 ÷ 0,75]		0,039	0,955		0,237	<b>5,732</b>
	(0,75 ÷ 1,00]		0,051	0,967		0,306	<b>5,801</b>

Tabela 8.3. Wartości normy materiałochłonności dla pali o długości  $L = 19,0$  [m]

$\phi$ [m]	$I_L$	$N_p$ [m <sup>3</sup> /m]	$N_{Pz}$ [m <sup>3</sup> /m]	$N$ [m <sup>3</sup> /m]	$P$ [m <sup>3</sup> /pal]	$P_z$ [m <sup>3</sup> /pal]	$N_{calc}$ [m <sup>3</sup> /pal]
0,4	[0,00 ÷ 0,25]	0,125	0,017	0,143	2,386	0,327	<b>2,713</b>
	(0,25 ÷ 0,50]		0,045	0,171		0,859	<b>3,245</b>
	(0,50 ÷ 0,75]		0,081	0,207		1,536	<b>3,922</b>
	(0,75 ÷ 1,00]		0,115	0,248		2,188	<b>4,574</b>
0,6	[0,00 ÷ 0,25]	0,283	0,038	0,321	5,369	0,736	<b>6,105</b>
	(0,25 ÷ 0,50]		0,102	0,385		1,935	<b>7,304</b>
	(0,50 ÷ 0,75]		0,183	0,465		3,467	<b>8,836</b>
	(0,75 ÷ 1,00]		0,261	0,544		4,954	<b>10,323</b>
0,8	[0,00 ÷ 0,25]	0,502	0,068	0,571	9,546	1,303	<b>10,849</b>
	(0,25 ÷ 0,50]		0,181	0,683		3,429	<b>12,975</b>
	(0,50 ÷ 0,75]		0,321	0,823		6,099	<b>15,645</b>
	(0,75 ÷ 1,00]		0,461	0,963		8,753	<b>18,299</b>
1,0	[0,00 ÷ 0,25]	0,785	0,107	0,892	14,915	2,032	<b>16,947</b>
	(0,25 ÷ 0,50]		0,282	1,067		5,355	<b>20,270</b>
	(0,50 ÷ 0,75]		0,501	1,286		9,518	<b>24,433</b>
	(0,75 ÷ 1,00]		0,719	1,505		13,669	<b>28,584</b>

## 8.8. Podsumowanie

Dzięki rozwojowi wiedzy i techniki, otwartych rynków istnieje możliwość stosowania nowoczesnych technologii i systemów budowania. Efektywne stosowanie ich wymaga wiedzy z zakresu planowania i organizowania robót z wykorzystaniem nowych technologii. Dla wielu nowych technologii jak na przykład wykonywania pali w systemie CFA brak jest szeroko dostępnych danych na temat materiałochłonności i pracochłonności robót, które potrzebne są do planowania robót, organizowania pracy a przede wszystkim szacowania kosztów przy sporządzaniu ofert. Dlatego też autorki artykułu podjęły się badań opracowania norm zużycia mieszanki betonowej dla wykonywania pali CFA, wykorzystując informacje z badań in-situ zawartych w metrykach komputerowych wykonanych pali.

Znaleziono zostały formuły do określania normy czasu i zużycia materiału do wykonania pali CFA w gruntach spoistych, dla pali o długości od 6 do 19 m i średnicy od 0,6 do 1.0 m. Przyjęte założenia wynikają, z faktu że w praktyce fundamentowej z reguły nie stosuje się pali wierconych świdrem ciągłym o długościach mniejszych niż 6,0 m, i sporadycznie wykonuje się pale o długości powyżej 19,0 m.

Badania wykazały, że zarówno pracochłonność i materiałochłonność pali zależy przede wszystkim od stanu gruntu (scharakteryzowanego w pracy stopniem plastyczności), w którym formowany jest pal a następnie średnicy i długości pali.

W gruntach twar doplastycznych ponad-zużycie mieszanki betonowej jest najmniejsze; w gruntach plastycznych wartości są średnie, natomiast największe ponad-zużycie występuje przy wykonywaniu pali w gruntach miękkoplastycznych

Opracowane wyniki analizy, w postaci norm pracochłonności i materiałochłonności wykonywania pali, mogą być wykorzystywane do projektowania robót palowych już na etapie przygotowywania oferty przetargowych oraz wyboru wykonawcy palowania.

W praktyce inżynierskiej normy te pozwolą na planowanie organizacji robót palowych z zapewnieniem niezbędnej jakości ich wykonania oraz umożliwi optymalizację zużycia materiałów, czasu i kosztów realizacji; sterowanie robotami fundamentowymi.

Określenie funkcji pracochłonności względem stanu gruntów i parametrów geometrycznych pali pozwoliło na analityczny opis wpływu budowy podłoża gruntowego i warunków konstrukcyjnych pali na czas ich realizacji.

Na podstawie norm pracochłonności można określać czas wykonywania pojedynczego pala, a następnie grupy pali stanowiących całość zadania palowego według projektu konstrukcyjnego. Tak określony czas uwzględnia warunki geologiczne występujące w podłożu gruntowym, w którym zaprojektowane są pala oraz ich geometrię.

Ważnym zagadnieniem jest dokładność w przewidywanej ocenie czasu i kosztów wykonania planowanego przedsięwzięcia (zadania ofertowego), na które pozwalają normy pracochłonności i materiałochłonności. Normy te stanowią podstawę do kalkulacji czasu i kosztów (tj. kosztorysowania robót) i zmniejszają ryzyko w ich niedotrzymaniu. Oba te czynniki – czas i koszt – decydują o efektywności produkcji budowlanej i realizacji obiektów.

Podsumowując wyniki przeprowadzonej analizy można stwierdzić:

- Opracowanie normy pracochłonności i materiałochłonności wykonywania pali CFA mają zastosowanie w planowaniu robót fundamentowych palowych w systemie CFA;
- Czas realizacji i zużycie materiału w systemie palowania CFA zależy od stanu gruntów, w których formowane są pale oraz od parametrów geometrycznych formowanych pali;
- Określenie czasu wykonywania zadania palowego może następować na podstawie opracowanych norm pracochłonności wykonywania pali;
- Określenie kosztów zużycia materiałów dla zadania palowego może następować na podstawie opracowanych norm materiałochłonności wykonywania pali.

## 8.9. Literatura

- [1] Berzi P., Skov R., Lorincz J., *Quality control of CFA piles by low-strain and high-strain dynamic testing*, 3<sup>rd</sup> International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles, Ghent, Belgium, 19-21.09.1998, Printed by A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1998r.
- [2] Jaśkowski P., Taczanowska T., *Ergonomia w budownictwie*, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin, 1998r
- [3] Kłosiński B., Rychlewski P., *Analysis of bearing capacity and settlement of CFA piles*, 4<sup>th</sup> International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles, Ghent, Belgium, 2-4.06.2003, Printed by Millpress Rotterdam, 2003r.
- [4] Pająk, M., *Analiza pracochłonności i materiałochłonności pali wierconych świdrem ciągłym*. Praca doktorska pod kierunkiem Anny Sobotki. Politechnika Warszawska, Płock 2009.
- [5] Rowiński L., *Organizacja produkcji budowlanej*, Arkady, Warszawa, 1982r.
- [6] Sobczyk M., *Statystyka*, PWN, Warszawa 2007.