

**Edward Marcinków**

**Witold Jurasz**

## **Pale wiercone w praktyce.**

### *Pale CFA*

Na całym świecie jak również na polskim rynku stosowanie pali wierconych jako posadowienia pośredniego obiektów inżynierskich jest powszechnie znane i stosowane od dawna. Obecnie dostępność zarówno specjalistycznych maszyn do wykonywania wierceń pali jak i odpowiedniego osprzętu do tego celu powoduje, że zastosowanie pali jako posadowień pośrednich nie stanowi żadnego problemu.

Pale wiercone jednoznacznie określa norma PN-EN 1536 zaliczając do nich pale o: „przekroju kołowym oraz baretę jeśli jednocześnie betonowany jest cały element”. Wymiary pali określone są precyzyjnie punktem 1.5 cytowanej normy. Zwraca się uwagę na zakres średnic pali o kształcie kołowym – są to pale o średnicy od 0,3m do 3,0m – brak funkcjonującego na polskim rynku określenia pale dużych średnic zaczynające się od średnicy 600mm. Norma PN-EN 1536 bardzo precyzyjnie opisuje wykonawstwo pali wierconych i znajomość jej zapisów przez wszystkich uczestników procesu budowlanego projektanta, wykonawcy i nadzór pozwoliłaby uniknąć wielu problemów związanych z realizacją robót. Podstawą poprawnego zaprojektowania i wykonawstwa pali są dobre badania geologiczne. Ich zakres został szczegółowo opisany w punkcie 5 cytowanej normy.

Niniejszy artykuł ma na celu przybliżenie problematyki związanej z praktycznymi aspektami wykonywania głębokiego fundamentowania przy zastosowaniu pali wierconych. Jednocześnie ma on na celu zwrócenie uwagi na, pomijane często podczas dokonywania wyboru właściwej metody palowania na etapie projektowania, czynniki wykluczające zastosowanie danej technologii. Mając na uwadze mnogość dostępnych obecnie technologii, w ramach realizacji pali wierconych, zakres niniejszego opracowania obejmuje wybraną technologię palowania – pale CFA (*Continuous Flight Auger Piles*), inne zostaną opisane w następnych artykułach. Ta metoda wiercenia pali, głównie z uwagi na niezaprzeczalną wydajność prowadzonych prac jak również relatywnie niskie koszty wykonania, w ostatnim czasie (dla pewnego typu konstrukcji) wyparła inne alternatywne metody palowania, stając się w oczach projektantów jedyną możliwą do zastosowania technologią wykonawczą. Podejmując polemikę ze zwolennikami tego typu rozwiązań należy przyjąć zasadę, zgodnie z którą każda nowa inwestycja niesie za sobą nowe, zawsze zmienne parametry, niezbędne do uwzględnienia podczas podejmowania decyzji o rodzaju stosowanych pali.

Pale CFA stanowiąc swoistego rodzaju kontynuację oraz modernizację pali wierconych wielkośrednicowych posiadają wiele zalet, które to w głównej mierze wpływają na ich częste stosowanie przez projektantów.

### Zalety pali CFA

- znaczna wydajność w porównaniu z innymi metodami,
- efektywność wykonania,
- technologia bezwstrząsowa, nie powodująca rozluźnienia gruntu – możliwość wykorzystania w bezpośrednim sąsiedztwie obiektów istniejących,
- obniżony poziom hałasu,
- dogęszczenie betonu w trzonie pala oraz doprężenie jego pobocznic w gruntach słabszych – podawanie betonu pod ciśnieniem,
- doprężenie pobocznic pala oraz zminimalizowanie kosztów związanych z koniecznością usuwania urobku z pali – metoda częściowo bezurobkowa,

Decydując się na zastosowanie rozważanej technologii należy przede wszystkim zwrócić uwagę na właściwe wykonawstwo. Ma to bardzo duże znaczenie zwłaszcza w przypadku pali CFA, których proces wykonywania jest bardzo podatny na różnego rodzaju błędy. Generalnie wykonanie pali CFA inaczej zwanych FSC (Formowane Świdrem Ciągłym) polega na wywierceniu otworu świdrem ślimakowym ciągłym z wydrążonym wewnątrz otworem, przez który podawana jest mieszanka betonowa. Po osiągnięciu żądanej rzędnej następuje betonowanie pala z jednoczesnym podnoszeniem świdra. Wpompowywany pod ciśnieniem beton zabezpiecza ściany wykonanego otworu stanowiąc jednocześnie trzon przyszłego pala. Bezpośrednio po zakończeniu betonowania w świeży beton wprowadza się zbrojenie. Ten z pozoru nieskomplikowany proces wykonawczy powinien jednak być poddany ciągłej kontroli w celu uniknięcia ewentualnych błędów mogących mieć katastrofalny wpływ na przyszłą konstrukcję. W celu przybliżenia samej tematyki właściwego formowania pala FSC należy wyróżnić następujące etapy tego procesu.

### **Etapy formowania pala:**

1. Odwiercenie na żadaną głębokość. W tym przypadku należy przewidzieć właściwe zsynchronizowanie etapu wiercenia i betonowania. Należy unikać zbytnich przestojów w oczekiwaniu na beton. Najlepszym rozwiązaniem jest zakończenie wiercenia na wyższej rzędnej i dowiercenie w momencie przyjazdu betonu na budowę.

Niedopuszczalne natomiast jest stosowane powszechnie obracanie świdra „w miejscu” tzn. bez jego posuwu. Poza tym, że zmniejsza to nośność pobocznicy pała to może mieć również poważne konsekwencje dla samej jego konstrukcji. Ponadto unikać należy zbyt szybkiego obrotu świdra w stosunku do jego posuwu. Tworzą się wówczas na płatach świdra pustki powietrzne, które podczas betonowania utrudniają utrzymanie odpowiedniego ciśnienia betonu, który poprzez pustki może wypływać po świdrze na zewnątrz. W tym przypadku może dojść do niewłaściwego zabezpieczenia pobocznicy przez zbyt niskie parcie na nią betonu.

2. „Zerwanie” pobocznicy w celu wzmocnienia podstawy pała. Polega ono na uniesieniu świdra na ok. 150mm do góry. Następnie podaje się mieszankę betonową i utrzymując jej ciśnienie ponownie wkręca się świder do wcześniejszej rzędnej. Dopreża się wówczas podstawę pała. W tym przypadku istotne jest zwrócenie uwagi na wysokość chwilowego uniesienia świdra. Zbyt duża jej wartość może wpłynąć negatywnie na pobocznice, która ulega wówczas rozluźnieniu, zmniejszając zdecydowanie nośność przy podstawie pała.
3. Formowanie pała. Ten etap rozpoczyna się od wytworzenia ciśnienia mieszanki betonowej podawanej przez otwór świdra (ciśnienie na poziomie ok. 1,0 – 2,0 MPa). Bardzo istotną sprawą jest stała kontrola tego ciśnienia oraz dobranie właściwych proporcji pomiędzy posuwem świdra (do góry) a ilością podawanego betonu. Proporcje te mają wpływ na ostateczny kształt pobocznicy pała a w konsekwencji jego parametry konstrukcyjne. Gdy mieszanka jest podawana zbyt wolno w stosunku do tempa unoszenia świdra następuje okresowe zmniejszenie ciśnienia i przewężenia średnicy trzonu pała. Niedopuszczalne jest również przerwanie ciągłości pompowania mieszanki przy jednoczesnym braku wstrzymania unoszenia świdra. Poważne konsekwencje niesie za sobą również nieprzestrzeganie zasady płynności w formowaniu pała. Powstają wówczas tzw. „szyje” czyli przewężenia będące słabszym elementem oraz poszerzenia, co zaburza strukturę konstrukcji pała. Utrzymanie właściwego ciśnienia w pału ma oczywiście wpływ na ilość zużywanego betonu, jako współczynnik korygujący stosuje się wartości 1,1 – 1,3.

Powinno się unikać zbędnej rotacji świdra podczas jego wyciągania co zapewnia zachowanie właściwej stateczności pod końcówką świdra. Czynność tą dopuszcza się tylko w sytuacji zastosowania świdra z niecentrycznym wylotem oraz w przypadku konieczności niedopuszczenia do zaklinowania się świdra w otworze. Szybkość obrotu wówczas powinna być na tyle mała by nie dopuścić do wynoszenia gruntu po świdrze na zewnątrz otworu.

Punktem krytycznym jest również moment wyciągnięcia świdra z ziemi. Bardzo ważne jest tu dobranie odpowiedniej ilości podawanego betonu oraz właściwe dobranie posuwu świdra by rozluźniony grunt nie zacisnął otworu co uniemożliwi późniejsze wprowadzenie zbrojenia. W przypadku zanieczyszczenia betonu gruntem miejsce to należy dokładnie oczyścić.

4. Wbudowanie zbrojenia. Zakłada się, że zbrojenie o długości na poziomie 10 do 15m jest możliwe do wbudowania w pala. Praktyka pokazuje, że długości zbrojeń mogą być jeszcze większe ale jest to obarczone znacznym ryzykiem. W przypadku zbrojeń wiotkich długości całkowite zbrojenia nie powinny przekraczać 12,0m. Dla gruntów niekorzystnych zbrojenie należy skrócić. Najpewniejsze pod względem technicznym (proces wprowadzania zbrojenia) jest zastosowanie zbrojenia w postaci różnego rodzaju kształtowników: dwuteowniki, rury, itp.

Uniwersalność opisywanej technologii jest w głównej mierze zależna od warunków gruntowych, determinujących możliwość jej zastosowania. Wynikająca z praktyki obserwacja relacji grunt – metoda głębokiego fundamentowania nasuwa konieczność omówienia przypadków, w których zastosowanie pali CFA jest wskazane lub całkowicie nieuzasadnione.

1. Warunki geologiczne sprzyjające:

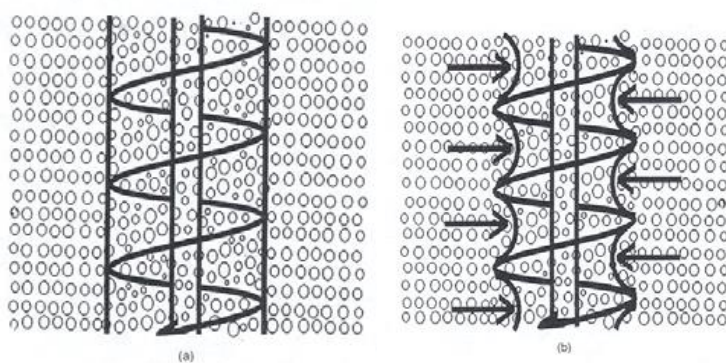
- *Twardoplastyczne lub zwarte grunty spoiste.* W tego rodzaju gruntach wytrzymałość na ścinanie poboczniczy może prowadzić do potrzeby osiągnięcia zagłębienia na poziomie ok. 25m poniżej poziomu terenu. Podstawową zaletą gruntu spoistego przy stosowaniu technologii CFA jest stabilność gruntu podczas wiercenia i mniejsza obawa o grunt wydobywający się nad teren.
- *Grunty rezydualne (aluwia) czyli zwietrzelina,* głównie elementy mulaste lub gliniaste o małej spoistości. Umożliwiają szybkie wykonanie pali CFA.
- *Półzwarne do zwartych piasków spoistych zamulonych oraz piasków drobnych.* Nawet w przypadku, gdy zawierają żwir, zastosowanie w nich pali CFA jest wskazane, zwłaszcza gdy poziom wody gruntowej zalega poniżej poziomu posadowienia pala.
- *Piaskowce oraz słaby wapień.* Grunty te są sprzyjające w przypadku niewystępowania warstw bardzo twardych niemożliwych do przewiercenia świdrem CFA. W gruntach tych, z uwagi na ich strukturę, ułatwione jest utrzymanie właściwej stabilności otworu podczas jego pograżania. Dodatkowo dzięki zastosowaniu pali CFA można często uzyskiwać znakomity opór na poboczniczy pala z uwagi na duży opór wytwarzany

przez chropowatą pobocznicę, oraz dobre zakotwienie pala poprzez wypełnienie uzyskanej przestrzeni betonem.

- *Skala bardzo miękka z zalegającą nad nią warstwą twardą, scementowaną uniemożliwiająca rozluźnienie podczas procesu wiercenia. Zakotwienie pali CFA w takich gruntach pozwala osiągać znaczną nośność pod podstawą.*

## 2. Warunki geologiczne niesprzyjające:

- *Bardzo miękkie, luźne grunty. W zależności od warunków, w tego typu gruntach może powstać problem z zachowaniem stabilności formowanej pobocznicy, który z kolei skutkuje powstaniem przewężeń rdzenia lub innymi strukturalnymi wadami pala. Nawet w przypadku ekonomicznie nieuzasadnionego wpompowania większej ilości betonu mogą się pojawić wybrzuszenia w strefach słabszych gruntów, co powoduje wzrost sił pionowych. Występowanie luźnych piasków lub kurzaw podczas wiercenia wykazuje osiadania gruntu na skutek rozluźnionej pobocznicy, której materiał przy postępie wiercenia jest usuwany „do góry”, wynoszony.*
- *Piaski luźne lub bardzo czyste, o jednakowym uziarnieniu, piaski mocno nawodnione (podłoże poniżej poziomu wody gruntowej). Czyste, luźne piaski w płytko położonej wodzie gruntowej są niesprzyjające z uwagi na możliwość „wyniesienia” gruntu. Źle dobrana prędkość posuwu świdra przy wierceniu w gruncie luźnym w stosunku do jego obrotu może doprowadzić do rozluźnienia gruntu na pobocznicy i do osiadania gruntu. Ma to miejsce przy zbyt szybkim obrocie w stosunku do posuwu.*



DOBBRZE

ŹLE

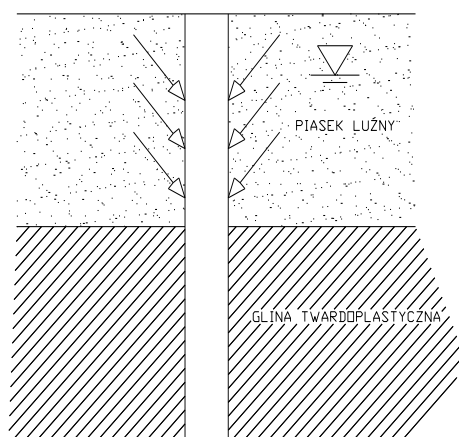
Rys.1

Dlatego też w tego typu gruntach niezmiernie ważna jest kontrola penetracji w głębszej świdra podczas wiercenia. Ponadto ilość niezbędnego betonu wpompowanego w pala

jest tak duża, że ekonomiczne uzasadnienie zastosowania pala CFA jest praktycznie niemożliwe.

W przypadku zalegania warstw nawodnionych piasków o dużej miąższości i na dużych głębokościach pale mogą być poddane znacznym naprężeniom przy jednoczesnym zupełnym braku nośności pobocznic. Biorąc pod uwagę, że pale CFA są bardziej efektywne w realizacji przy mniejszych średnicach może pojawić się problem nie tylko z małym przekrojem pala ale również z wprowadzeniem zbrojenia na tak znaczną głębokość. Ponadto zbrojenie CFA nie jest projektowane typowo do przenoszenia dużych sił zginających. W przypadku zalegania słabej warstwy na znacznej głębokości konieczne jest zazbrojenie pala CFA w postaci rury lub kształtownika np. T (by wzmocnić pala na odcinku o małej nośności).

- *Formacje geologiczne zawierające pustki, próżnie, soczewki wodne, soczewki słabego gruntu lub płynącej wody.* Te podziemne warstwy mogą powodować powstawanie dziur i zapadlisk, które utrudniają zarówno sam proces wiercenia jak i betonowania a samą kontrolę ilości wpompowanego betonu czynią prawie niemożliwą. Jako przykład można tutaj przytoczyć występujące w zwietrzałych wapieniach ubytki będące przyczyną powyższych problemów.
- *Luźny grunt piaszczysty zalegający nad warstwą twardszego gruntu jak np. skała miękka, ility twardoplastyczne itp.*

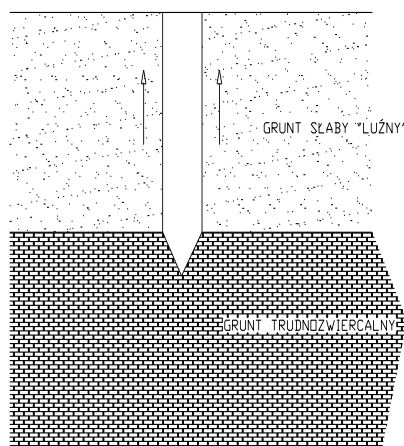


Rys. 2

Różnica w częstotliwości wiercenia (stosunek posuwu do obrotu świdra) powoduje rozluźnienie warstwy słabszej poprzez siły boczne wywołane przez świdra. Podczas wiercenia twardszej warstwy luźny piasek jest usuwany „do góry”. Rozluźnienie gruntu powyżej warstwy twardej i osiadanie gruntu może nastąpić w przypadku zwężonej gliny zalegającej pod warstwą piasków nawodnionych, nawet gdy warstwa

gliny nie stwarza dużych oporów podczas wiercenia. Zawsze bowiem istnieje różnica w poziomie penetracji w gruntach spoistych a luźnych piaskach.

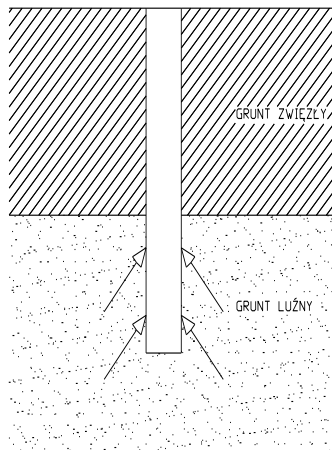
- *Grunty skaliste o znacznej twardości z położoną powyżej warstwą luźnych gruntów.*



Rys. 3

Na skutek różnic w prędkości posuwu wiertła (w stosunku do jego obrotów) następuje wynoszenie piasku na powierzchnię z równoczesnym rozluźnieniem pobocznic. Wynoszenie słabego gruntu (np. rozluźniony piasek) po płatach świdra wywołuje osiadanie platformy wiertniczej. Dodatkowo gdy warstwa skalna jest poprzedzona przez warstwę gruntu słabego zapewnienie właściwego, stabilnego i mocnego zakotwienia w formacji skalnej jest bardzo ciężkie lub praktycznie niemożliwe.

- *Występowanie warstw twardych trudnozwiercalnych – głównie skalistych. Zagłębienie pali CFA w tego typu gruntach może być problematyczne. Warunki takie wymuszają wprowadzenie pewnych modyfikacji pali CFA poprzez zastosowanie odpowiednich narzędzi i materiału. Pale CFA zaprojektowane by przenieść obciążenie bezpośrednio na warstwę skały, bez możliwości jej penetracji przez świder, powinny być projektowane na mniejsze siły niż skała w rzeczywistości może przenieść. Wynika to z problemu z osiągnięciem odpowiednio mocnego kontaktu w płaszczyźnie pal/skała.*
- *Warstwy nośne piaszczyste położone pod warstwą zwięzłego gruntu.*

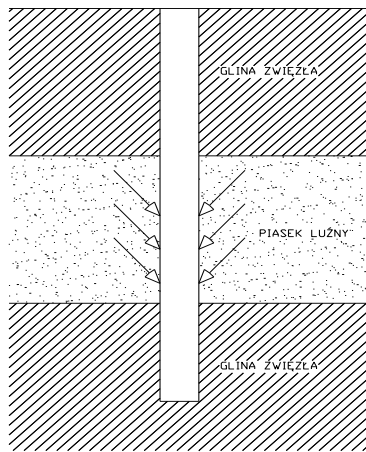


Rys.4

Z takim przypadkiem mamy do czynienia, gdy warstwa nośna, złożona z czystego, zbitego, nawodnionego piasku, znajduje się pod warstwą np. zwartej gliny lub łu. Wolniejsza penetracja świdra w stosunku do jego prędkości obrotowej w warstwie gliny może powodować rozluźnienie warstwy piasku znajdującej się poniżej w trakcie zagłębiania się w nią. Powoduje to nadmierne wynoszenie piasku z warstwy, która w założeniu ma być warstwą nośną. Nadmierne wynoszenie gruntu pojawia się wówczas, gdy świder obraca się zbyt szybko w stosunku do postępu wiercenia w gruncie co skutkuje tym, że zbyt dużo gruntu jest „wynoszone” ponad powierzchnię, a płaty świdra nie gromadzą tyle materiału by zabezpieczyć właściwie pobocznicę wykonywanego otworu (siły naporu gruntu). Dodatkowe utrudnienie pojawia się, gdy w warstwie piaszczystej znajduje się zamknięta pod ciśnieniem woda. W rezultacie pał nie przenosi obciążenia na końcu (w warstwie piasku) jak zakładano, lecz prawie całkowicie opiera się na tarcu w warstwie zwięzłego gruntu. W tym przypadku lepszym (oczywiście przy założeniu, że nośność zostanie uzyskana) rozwiązaniem jest zakończenie pała w gruncie zwięzłym, lub jego przedłużenie w głębsze pokłady.

- *Uwarstwieniem naprzemienne, w którym warstwa piasku jest umieszczona pomiędzy zalegającą nad i pod nią warstwą gruntu spoistego.*





• Rys. 5

W tym przypadku piasek również ma tendencje do wynoszenia (po świdrze) a utworzony stożek w piasku może się zapaść i przemieścić wzdłuż otworu. Stożek ten powstaje poprzez unoszenie ku górze piasku, które może nie być widoczne na powierzchni ale skutkuje zarówno powstaniem kawerny poniżej warstwy wyższej spoistej jak również rozluźnieniem piasku. W rezultacie czego następuje zwiększenie zużycia betonu. W takich sytuacjach wskazane jest zastosowanie metody wiercenia w rurze obsadowej.

- *Bardzo zróżnicowane warunki gruntowe.* W takich warunkach, przy uwzględnieniu wymienionych powyżej przypadków, bardzo ciężko jest dobrać uniwersalną metodę wiercenia. W perspektywie całej budowy może to spowodować problemy z kontrolą jakości, szczególnie gdy wymagania stawiane dla konkretnego pala są wysokie. Duże zróżnicowanie warunków gruntowych może również kreować znaczny spadek wydajności oraz dodatkowe problemy z uzyskaniem niezawodności w osiągnięciu przewidzianego obciążenia poprzez duże ryzyko pomyłki.

Podsumowując powyższe rozważania należy jeszcze wspomnieć o ograniczeniach technicznych, które powinno się uwzględnić podczas podejmowania decyzji o zastosowaniu technologii CFA. Ma to szczególne znaczenie w przypadku realizacji pali w gruntach wymagających znacznych długości pali. Pomimo, że wykonywano pale o długościach powyżej 30m przyjmuje się że granica 20m jest jeszcze ekonomicznie opłacalna. Powyżej tej wartości konieczne jest zaangażowanie sprzętu o nietypowych parametrach (długości masztu, moment obrotowy, specjalne oprzyrządowanie, itp.). Jednak ograniczenia średnic pali CFA (do 1,0m, powyżej tej wielkości właściwe wykonanie pala jest bardzo problematyczne) przy ich znacznym wydłużeniu sprawia, że uzyskuje się konstrukcję bardzo wiotką. Większość palownic dostępnych na polskim rynku ma możliwość wykonania pali CFA do długości ok. 12,5m. Tylko większe palownie umożliwiają uzyskanie długości pali na poziomie ok. 18,0m a przy dodatkowym osprzęcie do 20m.

Dodatkowe utrudnienia pojawiają się również podczas realizacji pali skośnych w rozważanej technologii. Pomijając znaczne ograniczenia tego typu rozwiązania jedynie do bardzo sprzyjających gruntów, np. minimum twardoplastycznych ilów, właściwe wbudowanie zbrojenia, przy zapewnieniu projektowych otuleń betonem, jest praktycznie niemożliwe. Prawa fizyki są w tym względzie nieubłagane a wbudowywanie nawet krótkich odcinków zbrojenia pala wymusza zastosowanie specjalnych prowadnic.

#### **Literatura:**

- GWIZDAŁA K., Projektowanie fundamentów palowych. *XX Ogólnopolska Konf. „Warsztat Pracy Projektanta”*, Wisła – Ustroń 2005, tom II, s. 1-74.
- United States Department of Transportation - Federal Highway Administration. Geotechnical Engineering Circular (GEC) No. 8. Design And Construction Of Continuous Flight Auger Piles. April 2007
- Norma PN-EN 1536:2001 *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Pale wiercone.*