

# Posadowienie typu płytowo-palowego budynków średniowysokich na przykładzie obiektu mieszkalno-usługowego w Kielcach przy ul. Solnej

mgr inż. Anna Nowosad, Menard Polska Sp. z o.o.

W obecnych czasach coraz bardziej pożądane przez inwestorów stają się tereny usytuowane w centrach dużych aglomeracji. W efekcie decydują się oni na realizację inwestycji w lokalizacjach, które do tej pory były omijane ze względu na słabe lub skomplikowane warunki geologiczne, uniemożliwiające bezpośrednie posadowienie konstrukcji. Nie bez wpływu na tę zmianę pozostaje również rozwój technologii palowania oraz wzmocnienia podłoża gruntowego, co powoduje znaczne obniżenie kosztów realizacji posadowienia pośredniego.

Jednym z najbardziej ekonomicznych i efektywnych, a zarazem bezpiecznych sposobów posadowienia konstrukcji budowlanych na gruntach słabonośnych jest wykonanie płyty fundamentowej opartej na palach bądź kolumnach betonowych wykonanych w technologii pali przemieszczeniowych. Technologię tę firma Menard Polska Sp. z o.o. wykorzystwała przy okazji realizacji dwóch budynków mieszkalno-usługowych zlokalizowanych w centrum miasta Kielce na skrzyżowaniu ulic Solnej oraz Planty.

## 1. Opis konstrukcji oraz panujących warunków gruntowych

Inwestycja realizowana przez GW Przedsiębiorstwo Budowlane UNIMAX Sp. z o.o. z siedzibą w Kielcach przy ul. Okrzei 35, zlokalizowana w Kielcach przy ul. Solnej / Planty, dotyczy kompleksu dwóch budynków o funkcji mieszkalno-usługowej. Wysokość projektowana budynków to od pięciu do sześciu kondygnacji z garażami podziemnymi o powierzchni zabudowy 1000 m<sup>2</sup> oraz 800 m<sup>2</sup> (ryc. 1).



Rys. 1. Wizualizacja budynków w Kielcach przy ul. Solnej [20]

Na obszarze działki w ramach terenowych prac badawczych wykonano otwory badawcze oraz 13 sondowań statycznych CPT do głębokości 22 m p.p.t. Przeprowadzone badania wykazały, że pod gruntami nasypowymi zalegającymi do głębokości ok. 2,0 m p.p.t. występuje warstwa namulów. Poniżej nich nawiercono grunty słabonośne i nienośne: plastyczne i miękkoplastyczne gliny pylaste. Na głębokości od 7,0 do 8,0 m p.p.t. stopień plastyczności glin pylastych maleje i twory te przechodzą w stan twardoplastyczny. Wraz ze wzrostem głębokości stopień plastyczności pyłów obniża się.

Zwierciadło wody gruntowej jest ściśle związane z wodą w rzece Sinicy. W trakcie badań połowych zwierciadło stabilizowało się na głębokości 2,00 ± 0,15 m p.p.t.

## 2. Założenia przyjęte do posadowienia budynków

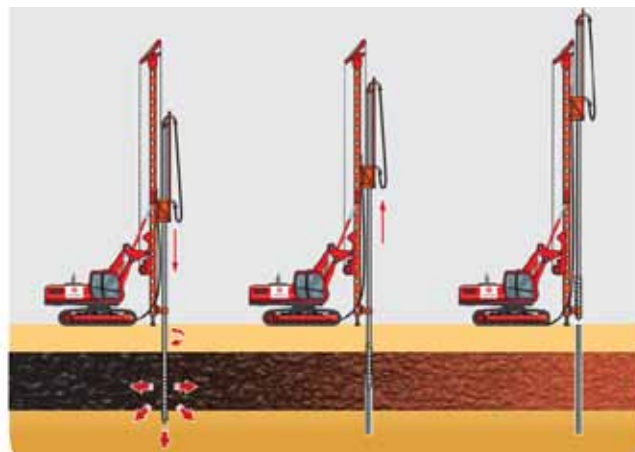
Ze względu na niskie parametry odkształceniowe gruntów zalegających w poziomie posadowienia oraz obawę o nierów-

nomierne osiadanie konstrukcji zdecydowano o posadowieniu budynków na płycie fundamentowej o grubości 90 cm, opartej na kolumnach betonowych typu CMC<sup>®</sup> wykonanych w technologii przemieszczeniowej.

### 2.1. Technologia kolumn przemieszczeniowych typu CMC<sup>®</sup>

Technologia kolumn przemieszczeniowych typu CMC<sup>®</sup> systemu Menard jest rozwinięciem tradycyjnych pali typu CFA. Technologia ta ma swoje zastosowania w różnych warunkach gruntowo-wodnych oraz przy średnich oraz dużych obciążeniach (nasypy, przyczółki mostowe, budynki itp.), dając gwarancję spełnienia warunków stanów granicznych nośności i użytkowania.

Do wykonywania pali oraz kolumn CMC stosowany jest specjalnie zaprojektowany świder przemieszczeniowy, który rozpychając istniejący grunt, tworzy przestrzeń, w jaką wtlacza się pod wysokim ciśnieniem mieszankę betonową. Świder zamontowany jest na maszynie wyposażonej w głowicę o dużym momencie obrotowym i dużym statycznym nacisku pionowym (ryc. 2).



Rys. 2. Schemat wykonywania kolumn/pali typu CMC.

Tłoczenie mieszanki betonowej rozpoczyna się w momencie osiągnięcia żądanej głębokości docelowej i odbywa się przez świder z otworem wewnętrznym. Podciąganie świdra wspomagane jest ciśnieniem tłoczonego betonu, gwarantując ciągłość kolumny.

Podczas wiercenia rejestrowane są parametry wykonania kolumny, co umożliwia ciągłą kontrolę stanu gruntu w danym miejscu w porównaniu z dokumentacją geologiczną. Rezultatem monitoringu są metryki, w których zawarta jest informacja o profilu kolumny, poborze energii podczas wiercenia oraz momencie obrotowym świdra.

### 2.2. Teoria współpracy płyta – grunt – kolumna

Ogólną zasadą przy projektowaniu fundamentów typu płytowo-palowego jest uwzględnienie współpracy podłoża grun-

# Perfekcja wykonania

- > Jesteśmy wiarygodnym partnerem oferującym kompleksowe rozwiązania z zakresu wzmocnienia gruntu.
- > Gwarantujemy to, co w realizacji wielkich przedsięwzięć jest najważniejsze – jakość, niezawodność i terminowość.
- > Nasza praca jest podstawą najbardziej trwałych i nowoczesnych inwestycji.

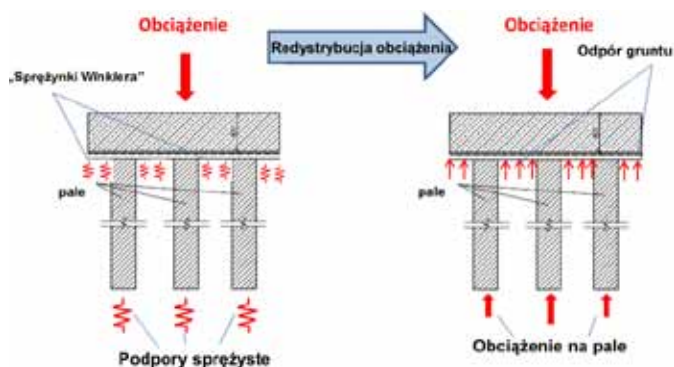


towego zarówno z palami (tutaj kolumnami betonowymi), jak i płytą fundamentową.

Redystrybucja obciążeń pomiędzy gruntem a palami zależy od kilku czynników, a mianowicie: sztywności konstrukcji budynku i płyty fundamentowej, sztywności pali i ich rozstawu, parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych gruntu.

Im wyższe parametry wytrzymałościowe gruntu i mniejsza sztywność pali, tym więcej obciążenia przekazywane jest na grunt pod płytą.

Klasykne podejście projektowe zakłada przyjęcie gruntu jako elastyczno-liniowego ośrodka modelowanego w postaci podatnych sprężyn o zadanej charakterystyce według definicji Winklera oraz pali jako podpór o określonej sztywności zależnej od ich relacji obciążenie – przemieszczenie. Schemat redystrybucji obciążeń przedstawiono na rycinie 3.



Rys. 3. Schemat redystrybucji obciążeń pod płytą fundamentową pomiędzy kolumnami a gruntem.

Zastosowanie kolumn w przypadku fundamentu zespolonego służy ograniczeniu osiadań całkowitych oraz różnicowych konstrukcji. Ze względu na fakt, że kolumny pod płytą fundamentową mają na celu zminimalizowanie osiadań, a siły w nich są reakcjami wywołanymi podczas osiadania konstrukcji, w fundamentach zespolonych nie ma potrzeby sprawdzania nośności pojedynczego pala (kolumny). Potwierdziły to liczne analizy numeryczne, które wykazały, że fundamenty płytowo-palowe nie wykazują takiego załamania krzywej osiadania, jak pal w stanie granicznym. Dodatkowo mamy do czynienia z tzw. redystrybucją sił w palach, a mianowicie w palach bardziej podatnych, czyli „słabszych” reakcje od osiadania będą mniejsze niż w palach „mocniejszych”, przy czym sztywność konstrukcji i płyty powoduje wyrównanie osiadań.

### 2.3. Analiza przyjętego rozwiązania projektowego

Przyjęte rozwiązanie obejmowało wykonanie pod płytą fundamentową kolumn betonowych CMC o średnicy 400 mm, w rozstawie od 1,5 m x 1,5 m do 2,0 m x 2,0 m, o zróżnicowanej długości – od 6,0 m do 14,0 m.

Zróżnicowanie rozstawu i długości kolumn było uwarunkowane zmiennością rozkładu obciążeń przekazywanych przez płytę fundamentową i miało za zadanie zapewnienie zminimalizowania osiadań różnicowych konstrukcji.

W zakresie lokalizacji najwyższych obciążeń zaprojektowano kolumny najdłuższe rozmieszczone w najmniejszym rozstawie. Kolumny ulegały skróceniu i rozrzedzeniu w kierunku malejących obciążeń.

Kolumny w celu redukcji osiadań pod płytą mogą być rozmieszczone w dwojaki sposób:

- lokalnie w miejscu występowania sił punktowych, aby zapobiegać miejscowym odkształceniom płyty;

- równomiernie pod całością płyty z zastosowaniem dłuższych pali w środku ze względu na spodziewane największe osiadania w centrum fundamentu (w przypadku obciążenia równomiernego).

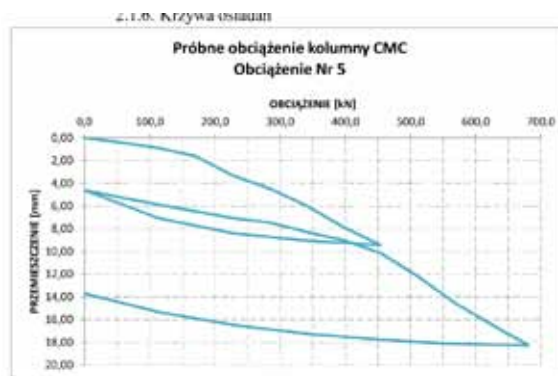
W celu prawidłowego rozmieszczenia kolumn korzystano z mapy odporów, które otrzymano na podstawie analizy zagadnienia brzegowo-początkowego posadowienia płyty na niewzmocnionym podłożu, przy uwzględnieniu parametrów sztywności płyty, zmienności obciążeń oraz podatności podłoża gruntowego. Odpory różnicowały się lokalnie w zakresie od 300 kPa do 50 kPa.

Analiza wykazała, że w przypadku posadowienia konstrukcji na samej płycie fundamentowej, osiadania budynków byłyby nierównomierne i mogłyby przekroczyć 100 mm. Tak duże osiadania stwarzałyby zagrożenie zarysowania płyty i samej konstrukcji budynku. Na podstawie obliczeń wykazano, że zastosowanie kolumn betonowych CMC pozwoli zminimalizować prognozowane osiadania do maksymalnie 35 mm oraz wpłynie w znaczący sposób na ich wyrównanie na rozpiętości płyty.

### 3. Analiza próbnych obciążeń kolumn

W celu analizy charakterystyki obciążenie – osiadanie zaprojektowanych kolumn betonowych, przeprowadzono próbne obciążenia statyczne metodą belki odwróconej. Należy podkreślić, że badanie nie miało na celu weryfikacji granicznej nośności pali, jak to mam miejsce w przypadku klasycznych fundamentów palowych zwieńczonych ocepem. W związku z powyższym nieracjonalne byłoby obciążanie kolumn obciążeniem równym półtorakrotnej wartości granicznej nośności pala (1,5 Nt), jak stanowi polska norma palowa PN-83/B-02482.

Wartość obciążenia do badania została określona jako półtorakrotność obciążenia przypadającego na kolumnę oszacowanego w projekcie. Rycina 4 przedstawia krzywe wynikowe z próbnego obciążenia, które ilustrują charakterystykę pracy pojedynczej kolumny betonowej pod wpływem przyłożonego obciążenia.



Rys. 4. Krzywe obciążenie-osiadanie uzyskane na podstawie próbnego obciążenia kolumn

### 4. Podsumowanie

Zaprezentowane podejście projektowe przy okazji realizacji budynków w Kielcach przy ul. Solnej jest ekonomicznym i bezpiecznym sposobem posadowienia obiektów średniowysokich na fundamentach typu płytowo-palowego. Podejście obliczeniowe polegające na uwzględnieniu współpracy zarówno płyty, jak i kolumn betonowych z podłożem gruntowym pozwala w znacznym stopniu zoptymalizować koszty związane z posadowieniem. W efekcie inwestorzy coraz częściej podejmują się inwestycji na terenach, gdzie zalegają ściśliwe grunty słabonośne.