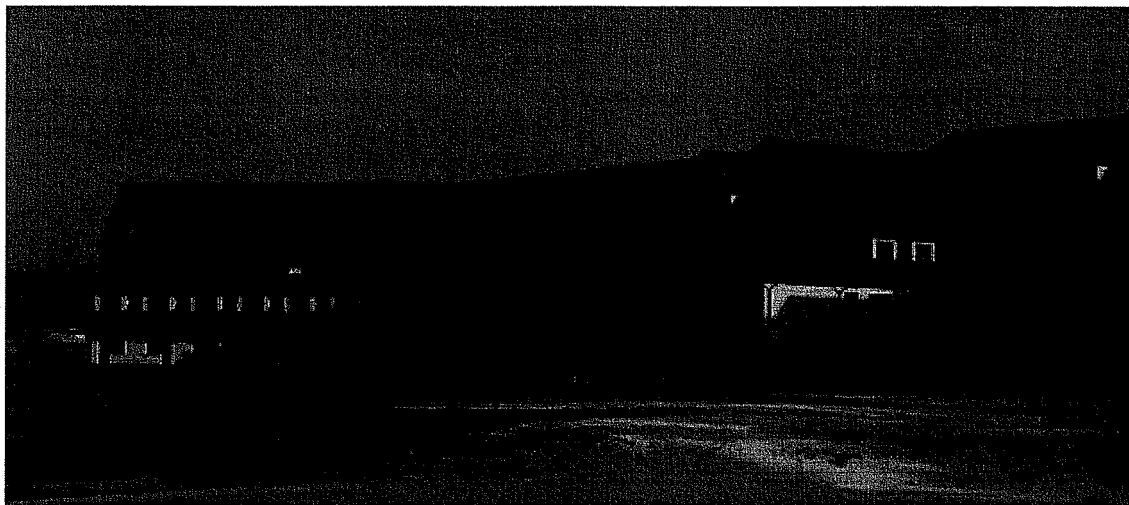


# Warianty posadowienia budynku hotelowego w okolicach Warszawy i w Gdańsku

Dr inż. Małgorzata Jastrzębska, mgr inż. Joanna Hodor  
Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

Celem niniejszego artykułu jest uzmysłowienie wszystkim uczestnikom procesu inwestycyjno-projektowo-wykonawczego jak bardzo warunki geotechniczne wpływają na sposób posadowienia obiektu. Może się zdarzyć, że ta sama konstrukcja, ale zlokalizowana w różnych miejscach, będzie wymagała zupełnie

innego rozwiązania w zakresie fundamentowania. Dobrym tego przykładem jest omówiony w dalszej części obiekt hotelowy znajdujący się w okolicach Warszawy oraz w Gdańsku. Skoro do atutów dobrego hotelu zaliczamy m.in. możliwość dogodnego dojazdu z największych aglomeracji kraju, jak i możli-



Rys. 1. Widok wykonanej części hotelu dla lokalizacji w okolicy Warszawy

wość odpoczynku od zgiełku miast, to wspomniane lokalizacje spełniają te kryteria. Nie oznacza to jednak, że są tam dogodne warunki geotechniczne. W pierwszym przypadku zastosowanie posadowienia bezpośredniego okazało się trafną decyzją, w drugim konieczne okazało się posadowienie na palach. W dalszej części artykułu oba warianty posadowienia będą dokładnie przedstawione ze szczególnym zwróceniem uwagi na warunki gruntowo-wodne.

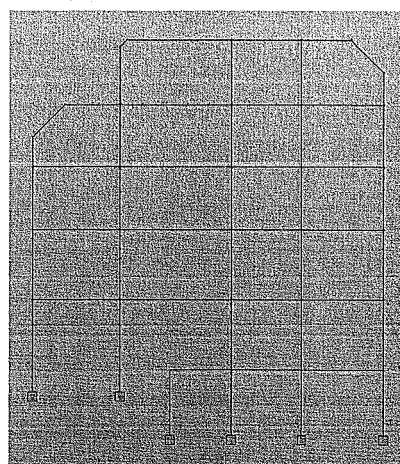
W każdym z przypadków wykonanie obiektu podzielono na dwa etapy. Część hotelu w ramach etapu pierwszego (dla lokalizacji w okolicach Warszawy) została oddana do użytkowania w styczniu 2009 r. (rys. 1). Etap II wciąż jest realizowany. Inwestycja w Gdańsku jest na razie w fazie projektowania.

## CHARAKTERYSTYKA INWESTYCJI

Rozważany budynek hotelowy jest obiektem wykonanym w technologii monolitycznej. Zasadniczy element nośny stanowi układ ram płaskich. Ze względu na cechy konstrukcyjne – użyte rami klasyfikuje się jako wielosłupowe, piętrowe, bezprzegubowe, utwierdzone sztywno w fundamencie [3]. Osiowy rozstaw ram wynosi 38 m. Na rys. 2 zaprezentowano schemat statyczny głównej ramy nośnej, a na rys. 3 część fundamentową rami.

Tabl. 1. Zestawienie sił wewnętrznych

Lp.	Oś	Siła ściskająca $F$ [kN]	Moment zginający $M$ [kNm]
1.	1	731	25
2.	2	1397	46
3.	2a	108	35
4.	3	1492	36
5.	4	1286	37
6.	5	988	51



Rys. 2. Schemat statyczny rami

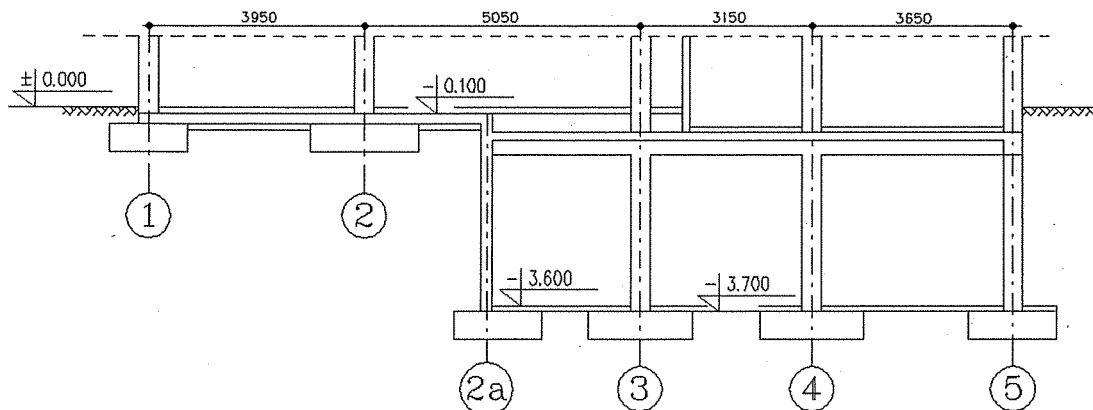
Ze względu na ograniczenia powierzchniowe nabytych działek inwestor zdecydował o częściowym podpiwniczeniu obiektu (osie 2a ÷ 5, rys. 3). Uzyskaną dzięki temu powierzchnię zaadoptowano na podziemny parking dla gości hotelowych.

Z obliczeń statycznych wynika, że maksymalna siła działająca na fundament w osi 3 wynosi  $F = 1492$  kN, a maksymalny moment zginający w osi 6 –  $M = 51$  kNm. Siły wewnętrzne w poszczególnych osiach zestawiono w tabl. 1.

Ze względu na dwie różne lokalizacje: okolica Warszawy oraz Gdańsk i związane z tym odmienne warunki gruntowo-wodne, zaproponowano posadowienie tego samego obiektu hotelowego w pierwszym przypadku w sposób bezpośredni na głębokości  $D = 4,2$  m (w części podpiwniczonej) oraz  $D = 0,8$  m (w części podlegającej wymianie gruntu), natomiast w drugim za pomocą pali o długościach 7 i 11 m.

## WARUNKI GRUNTOWO-WODNE LOKALIZACJI W OKOLICACH WARSZAWY

Miejsce wykonywania otworów wyznaczono metodą domiarów prostokątnych, na podstawie istniejących szczegółów terenowych.



Rys. 3. Część fundamentowa ramy

Do analizy posadowienia bezpośredniego za reprezentatywny spośród 10 wykonanych uznano otwór w obrębie projektowanego segmentu, w rejonie którego warunki gruntowe są najniekorzystniejsze. Na rys. 4 przedstawiono profil geotechniczny wybranego otworu.

Podłoże projektowanego obiektu budują głównie rodzime piaski średniozagęszczone o znacznej nośności – poza warstwą gruntów rodzimych organicznych tworzących warstwę humusu – ale zawierające w swojej masie soczewy średnio-nośnych gruntów rodzimych, nieskalistych, mineralnych, małospoistych, znajdujących się w stanie plastycznym.

Zwierciadło wód gruntowych występuje zdecydowanie powyżej projektowanego poziomu posadowienia (dla części podpiwnicznej) i w okresach wysokich stanów, które zostały udokumentowane, kształtuje się na głębokości powyżej 1,0 m p.p.t. na większej części powierzchni projektowanego budynku.

Należy zwrócić uwagę na prawidłowe wykonanie odwodnienia wykopu, aby możliwe było wykonanie zaprojektowanego fundamentu oraz na zapewnienie odpowiedniej izolacji wodochronnej obiektu – zasadne może wydać się zastosowanie drenu opaskowego.

Ze względu na występowanie gruntów o znacznej nośności zaproponowano posadowienie słupów na stopach żelbetowych. Wymiarowanie stóp wykonano zgodnie z PN-81/B-03020.

Wyznaczony mimośród obciążenia  $e$  dla każdej z obliczanych stóp spełnia warunek  $e \leq 0,035 B$  oraz występują proste przypadki posadowienia – stąd stan graniczny nośności został sprawdzony wg poniższych relacji:

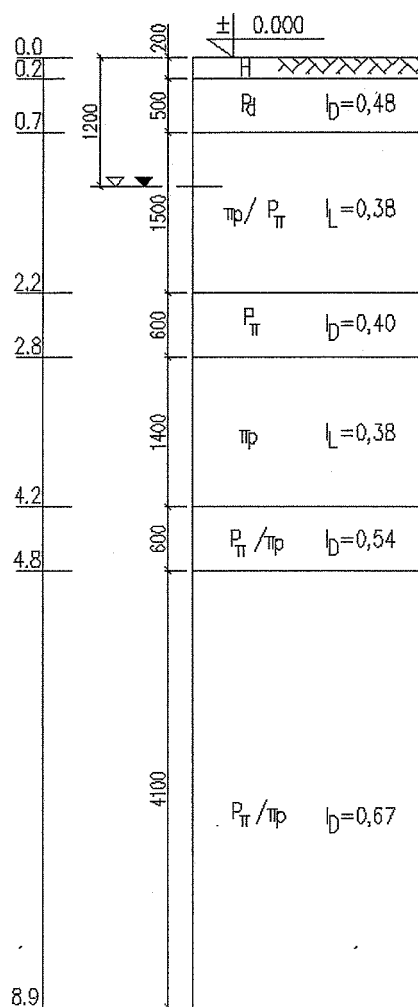
$$\sigma_{\max} = \frac{Q}{A} + \frac{M}{W} \leq 1,2mq_f \quad (1)$$

$$\sigma_{sr} = \frac{Q}{A} \leq mq_f \quad (2)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{Q}{A} - \frac{M}{W} \geq 0 \quad (3)$$

przyjęto  $m = 0,81$ .

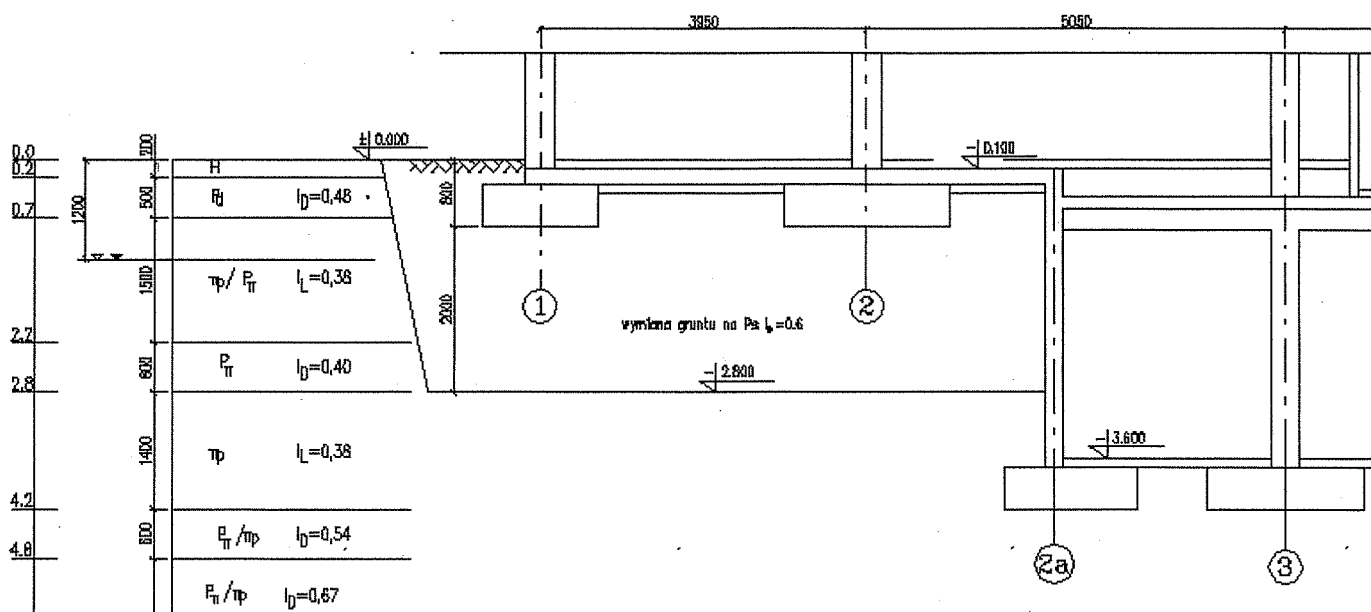
Po określeniu wymiarów fundamentów (tabl. 2), dla których zostały spełnione warunki pierwszego stanu granicznego (I SGN), sprawdzono drugi stan graniczny (II SGU). Osiedlenia pod poszczególnymi fundamentami obliczono normową metodą odkształceń jednoosiowych podłoża, według której osiada-



Rys. 4. Profil geotechniczny

Tabl. 2. Zestawienie wyników obliczeń dla posadowienia bezpośredniego

Oś	Wymiar [m]	Zbrojenie Stal A-II	Osiadanie [cm]
3; 4	1,9 x 1,9 x 0,5	8 $\phi$ 12	0,67
5	1,6 x 1,6 x 0,5	6 $\phi$ 12	0,61
2	2,0 x 2,0 x 0,5	7 $\phi$ 12	0,74
1	1,4 x 1,4 x 0,5	5 $\phi$ 12	0,82



Rys. 5. Część fundamentowa ramy z zaznaczeniem wymiany gruntu

nie fundamentu oblicza się jako sumę osiadań poszczególnych warstw gruntu według (4):

$$s = \sum_{i=1}^n s_i \quad (4)$$

Zgodnie z PN-81/B03020 dla budynków do 11 kondygnacji naziemnych  $s \leq s_{dop} = 7$  cm (tabl. 2).

W dalszej kolejności, po spełnieniu warunków stanów granicznych nośności i użytkowania dokonano obliczeń potrzebnego zbrojenia. Obliczenia te wykonano metodą wydzielonych wsporników trapezowych [4].

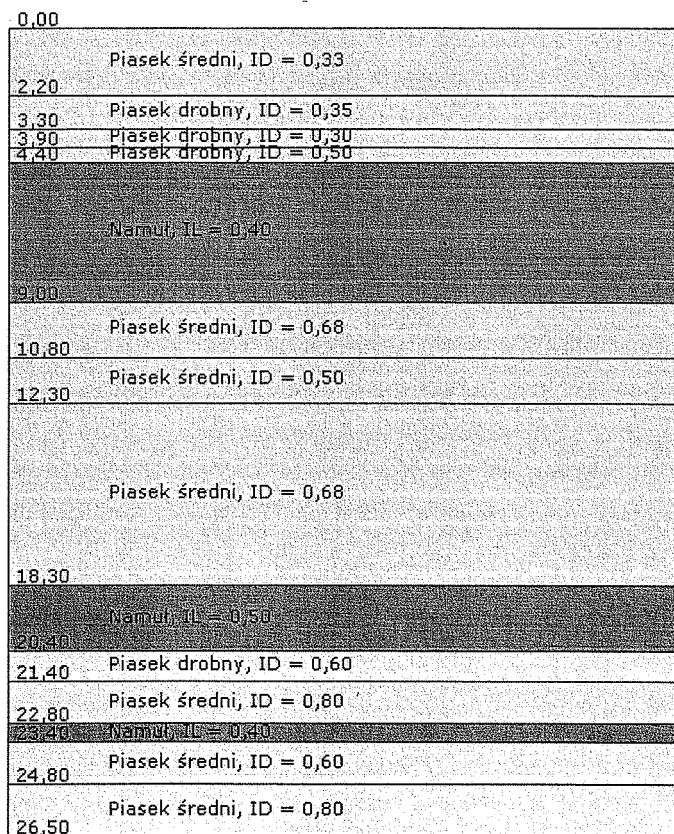
Na podstawie obliczeń stwierdzono, że stopa w osi 2 ma wymiar  $B=L=3$  m. Przy wymaganym rozstawie ram głównych 3,8 m daje to odległość w świetle między sąsiednimi stopami równą 0,8 m. Ze względu na zaistniałą sytuację zdecydowano się na częściową wymianę gruntu (rys. 5) pod stopami w osi 1 i 2. Pył piaszczysty oraz piasek pylasty zastąpiono piaskiem średnim o  $I_D = 0,6$ .

Otrzymane ostatecznie wymiary stóp fundamentowych wraz z ich zbrojeniem oraz wyznaczonym osiadań przedstawiono w tabl. 2.

## WARUNKI GRUNTOWO-WODNE LOKALIZACJA W GDAŃSKU

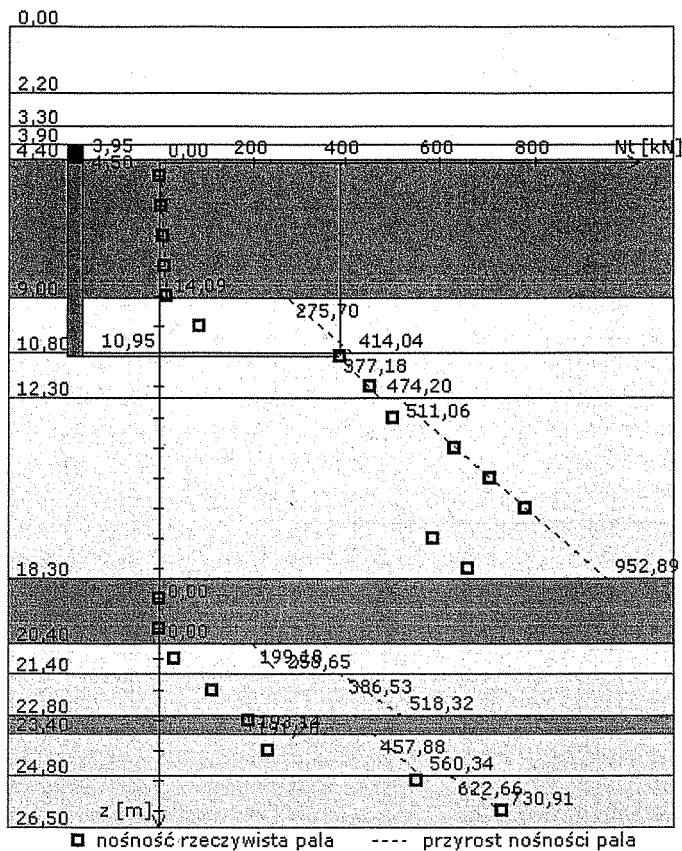
Miejsce wykonywania otworów wyznaczono metodą domiarów prostokątnych, na podstawie istniejących szczegółów terenowych.

Do projektowania posadowienia pośredniego, jako reprezentatywny spośród 12 otworów badawczych, wybrano otwór przedstawiający najbardziej niekorzystne warunki gruntowe. Na rys. 6 przedstawiono profil geotechniczny wybranego otworu.

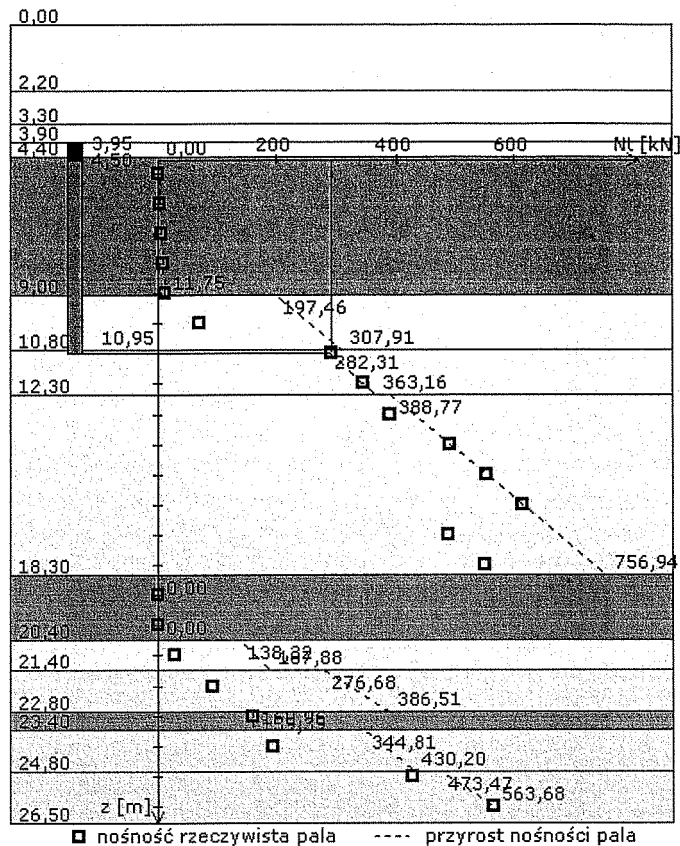


Rys. 6. Przekrój geotechniczny podłoża

Grunty występujące w podłożu są zróżnicowane genetycznie i litologicznie. Ich cechy mechaniczne również są zróżnicowane. Obok gruntów nośnych, którymi są występujące na większych głębokościach piaski wieku holocenckiego i plejstocenckiego (co najmniej zagęszczone), nadające się bez zastrzeżeń



Rys. 7. Przyrost nośności pala 30 x 30 na wciskanie



Rys. 8. Przyrost nośności pala 25 x 25 na wciskanie

na podłoże budowlane, są tam także grunty słabe. Te ostatnie to namuły organiczne, a także w nieco mniejszym stopniu piaski.

Należy zwrócić szczególną uwagę na warstwę namułu występującą na głębokości 4,4 m. W przypadku części podpiwniczonej hotelu słupy są posadowane na niej. Ze względu na dość dużą miąższość słabej warstwy równą 5,6 m, uniemożliwiająca w zasadzie (ze względów ekonomicznych) wymianę gruntu, postanowiono zastosować posadowienie pośrednie za pomocą pali. Biorąc pod uwagę prawie poziome uwarstwienie podłoża, wybrano prefabrykowane pale wbijane. Obliczenia wykonano za pomocą programu: „Kalkulator pali Aarsleff” wersja 1.6. Program ten służy do obliczania nośności pali osiowo wciskanych i wyciąganych (pojedynczych oraz w grupie) zgodnie z normą PN-83/B-02482 – Fundamenty budowlane, Nośność pali i fundamentów palowych” oraz „Komentarzem do normy” Mieczysława Koseckiego.

Program przeznaczony jest do obliczania stosowanych obecnie pali prefabrykowanych o przekroju kwadratowym 25 x 25 cm, 30 x 30 cm oraz 40 x 40 cm. Zróżnicowanie wielkości przekrojów i długości pali umożliwi ich optymalny dobór w zależności od wielkości i charakteru obciążeń.

Programem dokonuje się analizy warunków normowych dotyczących minimalnego zagłębienia pala w warstwie nośnej oraz warunków geotechnicznych pod podstawą pala. Podgląd graficzny ułatwia dobór właściwej długości pala w analizowanych warunkach gruntowych.

W przypadku wyznaczania poziomów interpolacji oporów  $q$  i  $t$  w programie uwzględnia się dwa przypadki:

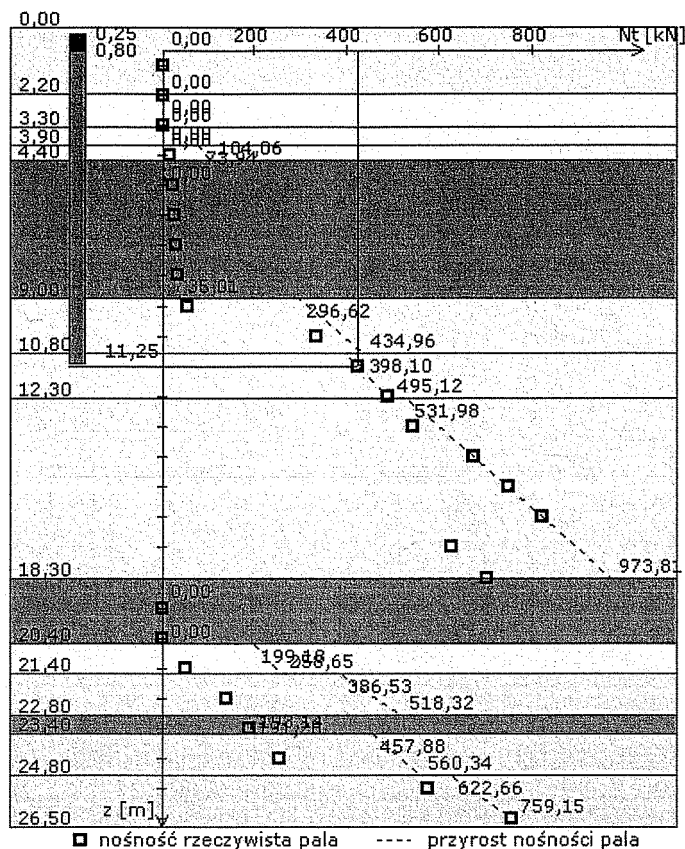
- bezpośrednio od poziomu terenu zalegają warstwy nie-nośne (w tym świeży nasyp gruntowy) – wówczas wysokość zastępcza  $H_z$  obliczana jest dla spągu warstwy (lub kompleksu warstw nienośnych),
- gdy występuje tarcie negatywne gruntu – wówczas wysokość zastępcza  $H_z$  obliczana jest dla spągu ostatniej warstwy objętej tarciem negatywnym.

Obliczenia nośności przeprowadzane są dla pali o długości różnicowanej co 1,0 m (typowe długości prefabrykatów). Wyznaczona długość pala uwzględnia odcinek pala w zwieńczeniu.

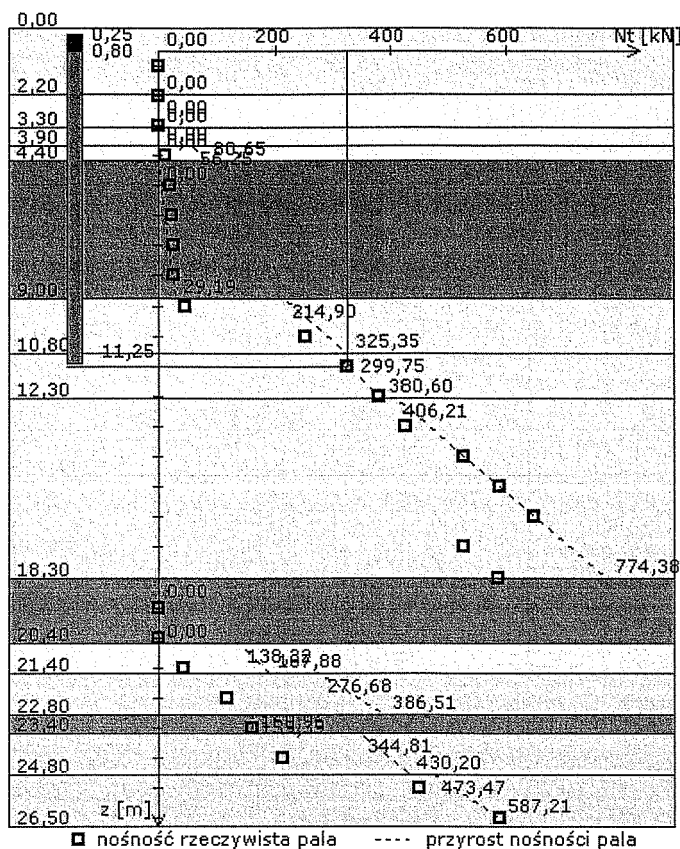
Przyjęto, że każdy słup będzie oparty na czterech palach. Pale te będą w siatce kwadratowej o osiowym rozstawie równym 1 m. Na rys. 7 przedstawiono przyrost nośności pala na wciskanie o przekroju poprzecznym 30 x 30 cm (dla części podpiwniczonej – słupy w osi 3 i 4), natomiast na rys. 8 przyrost nośności na wciskanie dla pala o boku 25 cm (dla części podpiwniczonej – słupy w osi 5).

Tabl. 3. Zestawienie pali

Oś	Przekrój pala [cm]	Długość pala [m]
1	25 x 25	11
2	30 x 30	11
3, 4	30 x 30	7
5	25 x 25	7



Rys. 9. Przyrost nośności pala 30 x 30 na wciskanie



Rys. 10. Przyrost nośności pala 25 x 25 na wciskanie

Analogicznie dla części niepodpiwniczonej (słupy w osi 1 i 2) na rys. 9 przedstawiono przyrost nośności pala na wciskanie o przekroju poprzecznym 30 x 30 cm, natomiast na rys. 10 przyrost nośności na wciskanie dla pala o boku 25 cm. W tabl. 3 przedstawiono przekroje oraz długości pali pod poszczególne słupy.

## WNIOSKI

Dzięki posadowieniu tej samej konstrukcji w różnych warunkach gruntowo-wodnych można zauważyć jak dużo zależy od podłoża gruntowego, układu poszczególnych warstw geotechnicznych oraz ich nośności. Z tego względu każdy projektant, przystępując do pracy, powinien dokładnie przeanalizować warunki gruntowe występujące w miejscu wykonywania obiektu i zastanowić się nad sposobem posadowienia. W dzisiejszych czasach jest bardzo dużo możliwych rozwiązań posadowienia konstrukcji, które pozwalają w maksymalny sposób wykorzystać walory podłoża budowlanego. Należy także pamiętać, że dobre posadowienie to także ekonomiczne podejście do zagadnienia. W praktyce często można zauważyć przewymiarowanie fundamentów, co jest podejściem bezpiecznym, ale prowadzącym do znacznego wzrostu kosztów budowy.

Przy wymiarowaniu posadowienia bezpośredniego obiektu hotelowego zdecydowano się na częściową wymianę gruntu pod stopami w osi 1 oraz 2. Rozwiązanie to pozwoliło na znaczne pomniejszenie wymiarów gabarytowych obliczanych fundamentów i na rezygnację z mniej ekonomicznych rozwiązań, jak płyta, czy skrzynia fundamentowa.

Przy bardzo słabych gruntach, z którymi zetknięto się przy projektowaniu posadowienia pośredniego, zastosowanie pali staje się bardzo dobrym rozwiązaniem. Założone w zadaniu wbijane pale prefabrykowane dają możliwości szybkiego i sprawnego wykonania posadowienia, a ciągle doskonalona technologia powstawania prefabrykatów sprawia, że pale te są coraz chętniej stosowane w praktyce. Problemem mogą być drgania generowane podczas wbijania pali. Drgania te mogą być szkodliwe dla wiążącego betonu konstrukcji nośnej obiektu i dlatego zaleca się w pierwszej kolejności wykonanie fundamentów pod całym obiektem, a dopiero w drugim etapie zrealizowanie konstrukcji nośnej nadziemnej obiektu.

## LITERATURA

- Gwizdała K., Kowalski J. R.: Prefabrykowane pale wbijane. Skrypt Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2005.
- Hodor J.: Projekt posadowienia żelbetowej konstrukcji budynku hotelowego. Magisterska praca dyplomowa. Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, Gliwice 2010.
- Król W., Korpys K. Ł.: Konstrukcje żelbetowe. Tom III. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1968.
- Puła O., Rybak C., Sarniak W. Ł.: Fundamentowanie. Projektowanie posadowień. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006.
- Wilczek J.: Projekt wybranych elementów żelbetowej konstrukcji budynku hotelowego. Inżynierska praca dyplomowa. Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa. Gliwice 2008.