

УДК 624

WYBRANE ZAGADNIENIA BUDYNKÓW GŁĘBOKO
POSADOWIONYCH W DUŻYCH AGLOMERACJACH MIEJSKICH

ОКРЕМІ ПРОБЛЕМИ ГЛИБОКО РОЗМІЩЕНИХ БУДИНКІВ У
ВЕЛИКИХ МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЯХ

SELECTED ISSUES OF DEEP FOUNDATION STRUCTURES
CONSTRUCTED IN URBAN AREAS

Marek Dohojda orcid.org/0000-0003-0382-805X, **Joanna Witkowska – Dobrev**
orcid.org/0000-0001-6613-5037, **Piotr Osiński**² orcid.org/0000-0003-1503-7650
(Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego)

Марек Дохойда, Йоанна Вітковска-Добрев, Пьотр Осіньскі (Варшавський
університет природничих наук)

W niniejszej pracy podjęto tematykę wielostanowiskowych garaży podziemnych, a także złożonych problemów inżynierskich, powstałych podczas ich projektowania i realizacji. Ponadto dokonano analizy wybranych problemów w trakcie projektowania garaży jak również podczas realizacji inwestycji.

У даній роботі піднята проблема багатомісних підземних гаражів. Вказано на складність вирішення інженерних питань, що виникають під час проектування та будівництва таких об'єктів. Крім того, здійснено аналіз окремих проблем, пов'язаних з процесом проектування підземних гаражів й під час реалізації їх інвестування.

The aim of the present article is to study complex engineering problems arising in design and implementation of multi-storey underground car park. In addition, selected design and construction challenges as well as during the investment execution of the structure were analysed.

Słowa kluczowe: garaż wielostanowiskowy podziemny, błędy projektowo-wykonawcze
підземний багатомісний гараж, проектні та будівельні помилки
multi-storey underground car park, garage design, investment execution, elements of design process

Wstęp. Współczesne nowe inwestycje realizowane są najczęściej w ciasnej, zwartej zabudowie miejskiej. Trudna lokalizacja wymaga dokładnej oceny

warunków hydrogeologicznych oraz geotechnicznych i dobrego zaplanowania placu budowy. Na podstawie danych gruntowo-wodnych wybierana jest technologia wykonywania części podziemnej, sposobu zabezpieczenia wykopu i podparcia ścian. Kolejnymi elementami są dobór sposobu posadowienia oraz zaprojektowanie odwodnienia oraz pozostałych izolacji tego typu inwestycji. Na etapie projektowania należy również uwzględnić wpływ projektowanej inwestycji na odkształcenia gruntu, zmiany warunków hydrogeologicznych, a także przanalizować nośność konstrukcji budynków istniejących.

Dojmujący problem parkowania samochodów osobowych w największych polskich miastach narasta w sposób lawinowy. Ogólna liczba pojazdów samochodowych i ciągników zarejestrowanych (według centralnej ewidencji pojazdów) według stanu w dniu 31 XII 2016 r. wyniosła 28,6 mln (przed rokiem 27,4 mln). Liczba zarejestrowanych pojazdów osobowych i ciężarowych w Polsce zwiększyła się w latach 2000 - 2016 o blisko 100%. Rozwój miast wskazuje na konieczność rozwiązywania coraz trudniejszych problemów infrastruktury technicznej, w tym parkingowej i garażowej. Prawidłowe rozwiązania warunkują poprawne funkcjonowanie miasta, natomiast błędne mogą stać się progiem ograniczającym jego pełny rozwój. Jest to jeden z najważniejszych obecnie problemów urbanistycznych, który wymaga prowadzenia racjonalnej polityki parkingowej, spójnej z polityką komunikacyjną i inwestycyjną miasta [1].

Rozwiązania konstrukcyjne

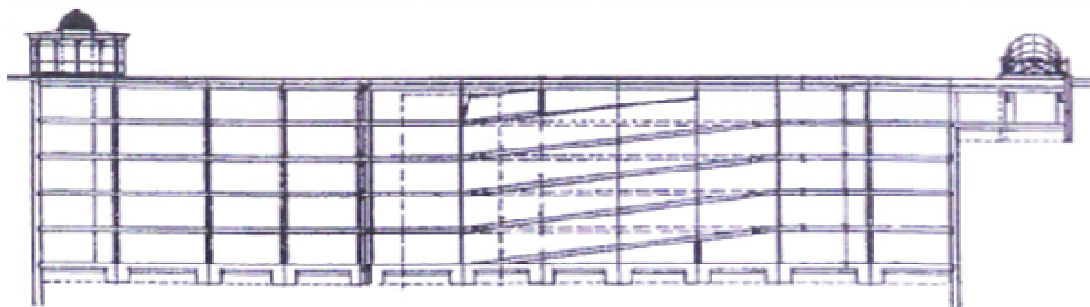
Konstrukcja garażu podziemnego musi być zaprojektowana i wykonana tak, aby oddziaływania przekazywane na obiekt nie powodowały przekroczenia nośności, a eksploatacja obiektu nie stanowiła zagrożenia dla użytkowników. Wymaganiem wynikającym z PN-EN 1990 „Podstawy projektowania konstrukcji” jest przede wszystkim zapewnienie niezawodności obiektu [2].

Spełnienie powyższych wymagań jest warunkiem trwałości garażu podziemnego, gdzie najczęściej panują warunki odpowiadające klasie ekspozycji XC3 i XD3 według PN-EN 206:2014-04 „Beton- Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” [3]. W Eurokodzie PN-EN 1992-1-1 „Projektowanie konstrukcji z betonu”[4], ujęto zagadnienia projektowania konstrukcji przy założeniach różnych modeli wraz z zachowaniem progu ekonomicznego. Jak już wspomniano wymaganiem podstawowym, jakie powinna spełniać konstrukcja jest jego niezawodność. Obiekt należy zaprojektować tak, aby w zakładanym okresie jego użytkowania, z odpowiednim stopniem niezawodności, w wyniku działających na niego oddziaływań środowiska, nie zostały przekroczone dla konstrukcji stany graniczne.

Przykłady rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych

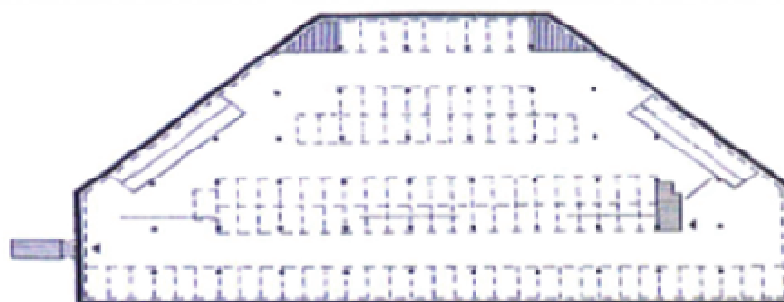
Jeżeli rozważamy garaże podziemne, musimy pamiętać o dużej różnorodności rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych, różnić się będą one między innymi wartością wskaźnika powierzchni- mówimy tu o powierzchni rzutu garażu przypadającej na jedno stanowisko postojowe, przedstawione rozwiązania wymieniono w zależności od wartości wskaźnika powierzchni.

-garaż podziemny pięciokondygnacyjny, gdzie płyta denna została zaprojektowana na głębokości 13,25 m przy projekcie o wymiarach 39,60x58,20m, na 329 prostopadłych stanowisk. Wskaźnik powierzchni wynosi 34,31 m², rysunek 2.



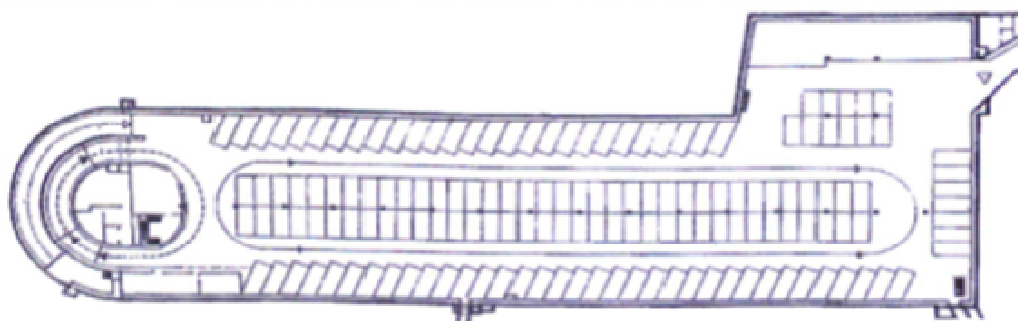
Rys. 2. Schemat przekroju garażu podziemnego pięciokondygnacyjnego [5]

- garaż podziemny trzykondygnacyjny, o konstrukcji żelbetowej monolitycznej, gdzie rzut garażu ma kształt sześciokąta symetrycznego o długości podstawy 84,70 m, wysokości 48,70 m i głębokości posadowienia 8,40 m. Przy 325 stanowiskach postojowych wskaźnik powierzchni wynosi 29,26 m², rysunek 3.



Rys. 3. Rzut garażu podziemnego trzykondygnacyjnego (wg. rozwiązania BP Metroprojekt).

- garaż podziemny dwukondygnacyjny, zaprojektowany na 320 stanowisk postojowych prostopadłych i ukośnych pod kątem 60°, o konstrukcji dwunawowej ramy żelbetowej. Wskaźnik powierzchni wynosi 29,26 m², rysunek 4, [6, 7, 8]



Rys. 4. Schemat rzutu garażu podziemnego dwukondygnacyjnego [9].

Uwarunkowania mające wpływ na wybór rodzaju obudowy wykopu i technologii realizacji

W trakcie wznoszenia budynku głęboko posadowionego występują odkształcenia podłoża gruntowego w bezpośrednim jego sąsiedztwie. Powstają one w poszczególnych fazach realizacji, a więc: – wykonywania obudowy wykopu (palisady, ścianki berlińskiej – fot. 1, ścianki szczelnej- fot. 2, ścian szczelinowych – fot. 3,); – głębień wykopu wraz z sukcesywnym podpieraniem jego ścian; – obniżania zwierciadła wody gruntowej (dotyczy to szczególnych przypadków technologii realizacji i warunków hydrogeologicznych); – wykonania konstrukcji części podziemnej budynku (por. fot. 3); – wykonania konstrukcji nadziemnej; – rozpoczęcia eksploatacji budynku (działanie obciążenia użytkowego) [10]

Wykop podczas budowy garażu podziemnego może być realizowany jako:

- nieobudowany o ścianach pionowych lub ze skarpami, których nachylenie nie powoduje - zagrożenia awarią w danych warunkach gruntowych;
- obudowany ścianami szczelinowymi lub różnego rodzaju ściankami szczelnymi.

W przypadku, gdy głębokość wykopu wynosi ponad 4,0 m nachylenie skarp należy określić wykorzystując model obliczeń stateczności konstrukcji. Jako obudowy wykopów zastosowane do części podziemnych budynków, stosuje się najczęściej: ścianki szczelne, ściany szczelinowe, ścianki berlińskie lub palisady [powołanie].



Fot.1. Naroże ścianki berlińskiej [11] Fot.2. Ścianka szczelna typu Larssena [11]



Fot.3. Wykop zabezpieczony ścianami szczelinowymi [12]

Zasięg przemieszczeń pionowych terenu w zasięgu działania realizacji obiektu głęboko posadowionego.

Przemieszczenia pionowe terenu w strefie przylegającej do nowo wznoszonego budynku są wynikiem działania następujących czynników: zmianą naprężeń

wskutek odciążenia i obciążenia gruntu, odkształcenie obudowy wykopu wywołane działaniem parcia, obniżenie poziomu zwierciadła wód gruntowych.

Wartości osiadania w sąsiedztwie wykopu, wynikają z rodzaju gruntu i mogą być przyjmowane w następujący sposób [13]:

- w słabych gruntach spoistych do 0,02h
- w gruntach nie spoistych luźnych do 0,005h
- w gruntach niespoistych zagęszczonych do 0,002h
- w gruntach spoistych twardeplastycznych i półzwartych - poniżej 0,0015h

W sytuacji, gdy rozpatrywane jest zabezpieczenie ścianą szczelinową, instrukcja ITB [14] mówi, że wartości przemieszczeń pionowych określamy:

$$v = \alpha h^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

gdzie:

v - przemieszczenia pionowe powierzchni terenu, mm,

α - współczynnik empiryczny,

h - głębokość wykopu, m.

Wartości współczynnika α , w zależności od rodzaju podłoża, wynoszą [14]

- od 0,1 do 1,3 w gruntach morenowych,
- od 1,3 do 5,0 w gruntach ściśliwych o $E_o \leq 15 MPa$, w gruntach silnie przepuszczalnych, w gruntach z kawernami lub pustkami.

W podłożu gruntowym z ilów londyńskich i glin zwałowych zasięg oddziaływania wykopu na odkształcenia terenu w pracach [12, 15] zostały oszacowane na poziomie 2,0 ÷ 4,0h, w pracy [16] na poziomie 2,0 ÷ 2,5h. Maksymalne przemieszczenie poziome ściany obudowy wykopu to 0,002 ÷ 0,004h.

Powołując się na pracę [13] określono dwie strefy oddziaływania wykopu:

-bezpośrednich oddziaływań wykopu: obszar w najbliższym sąsiedztwie, gdzie w szczególnych przypadkach mogą występować przemieszczenia podłoża zagrażające nośności konstrukcji budynku. Zasięg tej strefy uzależniono od warunków gruntowych i określono jako: w piaskach 0,5h, w glinach 0,75h, w ilach 1,00h,

-wpływów wtórnych: fragment obszaru oddziaływania wykopu, gdzie przemieszczenia podłoża mogą powodować uszkodzenia w budynku, niezagrażające nośności konstrukcji. Strefa ta dla piasków to 2,0h, w glinach 2,5h, a w ilach 3,0 ÷ 4,0h. Przyjęto też, że jeżeli nie obniża się zwierciadło wody gruntowej, to zasięg tej strefy jest mniejszy o około 20%.

Literatura fachowa podaje [17, 18], że największe przemieszczenia pionowe związane są z powierzchnią terenu o szerokości 0,5h (przy rozparciu stropami wstępnie sprężonymi, do 0,75h (w przypadku kotwionych obudów wykopu). Przemieszczenia te zanikają w odległości około 2,0h, a w przypadku obniżenia zwierciadła wody gruntowej (np. wykorzystanie studni depresyjnej) w odległości 3,0 ÷ 4,0h od krawędzi wykopu. Strefy oddziaływania nowego budynku na

całkowite przemieszczenia terenu, tj. od wykonania wykopu, części podziemnej i nadziemnej budynku oraz zabudowy sąsiadującej podano w pracy [18].

W zasięgu oddziaływania nowego budynku wyodrębniono cztery strefy: $S_{0,75}$, $S_{0,50}$, $S_{0,25}$ i S_0 o zasięgu zależnym od wartości bezwzględnej przemieszczeń pionowych na krawędzi wykopu v_0 , nie przekraczającej odpowiednio $0,75v_0$, $0,50v_0$, $0,25v_0$ i 0 (zanik przemieszczeń) [19]

Analizy prowadzono w następujących fazach budowy:

- faza I – odpowiadająca wykonaniu konstrukcji części podziemnej;
- faza II – odpowiadająca wzniesieniu budynku i przyłożeniu pełnego obciążenia użytkowego.

Z przeprowadzonych analiz [18], można przedstawić wnioski w odniesieniu do zasięgu stref oddziaływania nowych budynków na przemieszczenia powierzchni terenu:

- największe przemieszczenia pionowe powierzchni terenu o wartości bezwzględnej do $0,75v_0$ występują w odległości do 0,5 h w fazach budowy I i II;
- przemieszczenia pionowe powierzchni terenu o wartości bezwzględnej $0,75-0,50v_0$ występują w odległości do 0,7 h w fazie I i 0,8 h w fazie II;
- przemieszczenia pionowe powierzchni terenu o wartości bezwzględnej $0,50-0,25v_0$ występują w odległości do 1,1 h w fazie I i 1,3 h w fazie II;
- zanik przemieszczeń pionowych powierzchni terenu zależy od rodzaju podłoża gruntowego i następuje: a) w przypadku utworów piaszczystych w fazie I w odległości 1,7 h od krawędzi wykopu, a w fazie II w odległości 2,8 h od krawędzi wykopu; b) w przypadku podłoża wykształconego z ilów w obu fazach w odległości 5,4 h od krawędzi wykopu;
- zasięg strefy $S_{0,75}$ nie zależy od fazy realizacji budynku;
- poza strefą $S_{0,75}$ zauważa się w fazie II zwiększenie zasięgu poszczególnych stref w stosunku do fazy I.

Ocenia się, że w podłożach piaszczystych oddziaływanie praktycznie kończy się bezpośrednio po zakończeniu budowy, natomiast w gruntach spoistych trwa nawet do trzech lat od tego momentu. Przeciętnie można oszacować, że w podłożach niejednorodnych proces ten trwa około roku po zakończeniu budowy i pełnym obciążeniu nowej konstrukcji obciążeniem użytkowym [7].

Wpływ budowy nowej inwestycji na sąsiadujące obiekty

W obszarze realizacji nowej inwestycji w wypadku budowli głęboko posadowionych, powinny być przeprowadzone badania oceny stanu technicznego już istniejących budowli w jej zasięgu oddziaływania. Badania istniejącej zabudowy oraz jej wyniki muszą być przeprowadzone na wczesnym etapie przygotowania nowej inwestycji i powinna stanowić ważny element dokumentacji projektowej inwestycji. Otrzymana ocena stanu technicznego istniejących budynków, pozwala na sprecyzowanie możliwości lub ich braku przeniesienia przez konstrukcję budynków zwiększonych obciążeń, wynikających z przewidywanych nierównomiernych przemieszczeń pionowych podłoża w strefie posadowienia.

Jeżeli przeprowadzona diagnostyka budynków w obszarze oddziaływania realizowanej inwestycji mówi, że nowo powstałe obciążenia nie będą możliwe do przeniesienia, konieczne jest zaprojektowanie niezbędnych wzmocnień elementów konstrukcji budynku, wzmocnienie podłoża gruntowego lub też wzmocnienie konstrukcji i podłoża równocześnie.

Diagnostyka przyległych budynków do powstającej inwestycji powinna zawierać rozpoznanie:

- rodzaju posadowienia,
- układów nośnych,
- usytuowanie elementów zapewniających sztywność przestrzenną (piony komunikacyjne, szyby windowe, schody, zwieńczenia w poziomach stropów),
- rozwiązania materiałowe elementów konstrukcji,
- okres wzniesienia i oddania do eksploatacji budynku, - projektowana funkcja użytkowa budynku oraz zgodność sposobu użytkowania z projektowanym,
- czynniki losowe mające wpływ na zmianę stanu technicznego elementów konstrukcji (działania wojenne, pożary, powodzie, awarie sieci uzbrojenia podziemnego w sąsiedztwie, awarie instalacji stanowiących wyposażenie budynku itp.), istniejące uszkodzenia (rysy, pęknięcia) elementów konstrukcji i wyposażenia [5].

Wynikające z przeprowadzonego badania oceny stanu technicznego, istniejące uszkodzenia powinny zostać zinwentaryzowane i opracowane w postaci dokumentacji fotograficznej lub graficznej lub fotogrametrycznej. Istotne jest, bardzo precyzyjne ustalenie lokalizacji uszkodzeń, jaka jest długość i rozwartości rys bądź pęknięć.

Wnioski

Projektowanie i realizacja garaży podziemnych często wiąże się z rozwiązywaniem poważnych problemów inżynierskich. Garaże powinny być zaprojektowane i wykonane zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, obowiązującymi aktami prawnymi i normami. Najważniejsze jednak, aby były bezpieczne dla użytkowników i spełniały swoją funkcję. Z dotychczasowych rozważań wynika, że czynnikiem najbardziej destrukcyjnym w trakcie realizacji jak i jej zakończeniu są przemieszczenia pionowe powierzchni terenu w sąsiedztwie wykopu oraz zasięg oddziaływania realizacji nowego budynku. Zależą one przede wszystkim od: warunków geotechnicznych i hydrogeologicznych, zastosowanej obudowy wykopu i przyjętego sposobu jej rozparcia, założonego schematu statycznego, ale również faz realizacji i związanym z nimi stanem odciążenia i obciążenia podłoża gruntowego. Decydującym czynnikiem jest również obecność wody pochodzącej z opadów atmosferycznych jak i lokalizacja zwierciadła wód gruntowa oddziałujących na głęboko posadowioną konstrukcję.

W przypadku wznoszenia części podziemnych znacząca część przemieszczeń pionowych powierzchni terenu następuje w odległości do około 1,3 h od krawędzi wykopu, a następnie te przemieszczenia zanikają. Całkowity zasięg oddziaływania

realizacji nowego budynku, obejmujący również wykonanie jego części nadziemnej, wynosi:

– 2,8 h w gruntach niejednorodnych z utworami piaszczystymi w strefie posadowienia;

– 5,4 h w gruntach niejednorodnych z łąkami w strefie posadowienia.

Przemieszczenia obudowy wykopu i terenu sąsiadującego, a następnie realizacja nowego obiektu mogą mieć istotny wpływ na stan zabudowy sąsiedniej. Z tych względów, przed rozpoczęciem inwestycji należy dokonać diagnostyki zabudowy istniejącej w strefie oddziaływania, a także opracować i wdrożyć program jej obserwacji geodezyjnej i wizualnej.

1. Dane urzędu statystycznego na rok 2016.

2. PN-EN 1990 „Podstawy projektowania konstrukcji” jest przede wszystkim zapewnienie niezawodności obiektu.

3. PN-EN 206:2014-04 „Beton- Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”.

4. Eurokod PN-EN 1992-1-1 „Projektowanie konstrukcji z betonu”.

5. Csordo M.: Terszin Alatti Pakolohelyek(Melygarazosok) Kialakitasanak Lehetosege Budapest Varoskozpontjaban Tervpalyzat 1991-1992, Buapeszt 1992.

6. Neufret, E. (2008). *Podręcznik projektowania architektonicznego*. Warszawa: Wydawnictwo Arkady.

7. Michalak, H. (2009) Projektowanie i realizacja wielokondygnacyjnych garaży podziemnych. *Budownictwo Podziemne*.

8. Markiewicz, P. *Budownictwo ogólne dla architektów*. Warszawa: ARCHI-PLUS, 2011.

9. Klose D.: Parhauser und Tiefgaragen. Verlag Hatie. Stuttgart 1965.

10. PN-EN 1997-1. Projektowanie geotechniczne część 1.

11. www.budownictwo.pl. [Online] 02 lipiec 2013.

12. Clough G.W. O'Rourke T.D: Construction Induced Movements of in-situ Walls. Proceedings of Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures, Nowy Jork 1998.

13. Burland J.B., St. John H.D.; Movements Around Excavations in London Clay. Proceedings of the VII European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Brighton 1979.

14. Kotlicki W., Wysokiński L.: Miejskie budowle podziemne. Wydawnictwo Politechniki Świętokszyskiej, Kielce 1990.

15. Siemińska-Lewandowska A.: Przemieszczenia kotwionych ścian szczelinowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Zeszyt nr 139- Budownictwo, Warszawa 2001.

16. Symons I.F., Carder D.R.: Field Measurements on Embedded Retaining Walls. *Geotechnique*, nr 1/1992.

17. Michalak H., Pęski S., Pyrak S., Szulborski K.: O wpływie wykonywania wykopów głęboki na zabudowę sąsiednią. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 1/1998.

18. Michalak H.: Kształtowanie konstrukcyjno-przestrzenne garaży podziemnych na terenie silnie zurbanizowanym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Prace naukowe, seria architektura, zeszyt 2. Warszawa 2006.

19. Michalak H.: Budynki głęboko posadowione a przemieszczenia podłoża i zabudowy w sąsiedztwie. *Geoinżynieria: mosty, drogi, tunele* 2008 nr 4 66-67.