

dr inż. Sławomir Kwiecień*
dr hab. inż. Jerzy Sękowski, prof. Pol.Śl*

Określenie sztywności podłoża skalnego pod przebudowywanymi silosami na cement

Stiffness determination of bedrock under rebuilt cement silos

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań sztywności podłoża skalnego pod przebudowywanymi silosami na cement. Wspomniana przebudowa polegała na wymianie płaszczy silosów przy pozostawieniu istniejących fundamentów żelbetowych.

Słowa kluczowe: badania polowe, sztywność podłoża, posadowienie bezpośrednie.

Abstract. The paper presents results of in situ tests of bedrock stiffness determination under rebuilt cement silos. That reconstruction included the concrete housing replacement on the existing foundations.

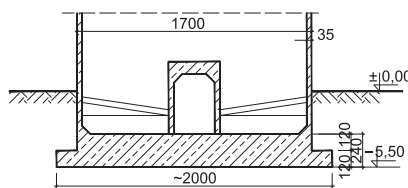
Keywords: in situ tests, subsoil stiffness, shallow foundations.

Przebudowa obiektów budowlanych wymaga powtórnego określenia geotechnicznych warunków ich posadowienia [1]. Obejmują one m.in. wyznaczenie nośności, przemieszczeń i ogólnej stateczności podłoża gruntowego. W przypadku, gdy na potrzeby budowy istniejącego obiektu warunki gruntowo-wodne wraz z niezbędnymi parametrami fizyczno-mechanicznymi podłoża zostały określone, ich wykorzystanie przy przebudowie obiektu jest oczywiste i uzasadnione. Jeżeli jednak dokumentacja jest niepełna lub nie ma jej w ogóle, konieczne są uzupełniające badania geotechniczne polowe i laboratoryjne. Problem występuje wówczas, gdy obiekt posadowiony jest w sposób uniemożliwiający wykonanie większości badań lub gdy ich przeprowadzenie jest czasochłonne i kosztowne. Taka sytuacja miała miejsce przy przebudowie dwóch silosów na cement, posadowionych na podłożu skalnym. Pomimo spodziewanej dużej nośności i sztywności podłoża skalnego, konieczna okazała się znajomość jego parametrów mechanicznych. W celu określenia i powtórnego przeanalizowania geotechnicznych warunków posadowienia silosów wykorzystano wyniki badań archiwalnych, aktualnych wierceń badawczych i wyniki prze-

mieszczeń pionowych fundamentów silosów przy ich przebudowie oraz zasypie komór.

Charakterystyka obiektów

Rozpatrywane obiekty to dwa spośród dwunastu bezpośrednio ze sobą sąsiadujących silosów na cement. Są one w kształcie walców wykonanych z żelbetu, wysokości 42 m ponad poziom przylegającego terenu. Płaszcze silosów mają stałą średnicę zewnętrzną 17 m i grubość 35 cm. Silosy posadowiono w sposób bezpośredni na oddzielnych płytach żelbetowych o wymiarach ok. 18,5 x 20 m, na głębokości -5,50 m p. t. Grubość płyt fundamentowych jest zmienna, wewnątrz silosów wynosi 2,4 m, a na zewnątrz 1,2 m (rysunek). Przebudowa silosów polegała na wymianie płaszczy przy pozostawieniu fundamentów.



Posadowienie jednego z silosów

Geotechniczne warunki posadowienia

Określenie geotechnicznych warunków posadowienia obejmowało analizę istniejącej dokumentacji archiwalnej wykonanej na potrzeby posado-

wienia silosów i kontrolne wiercenia badawcze. W celu wstępnego oszacowania modułu odkształcenia podłoża przeanalizowano wyniki 9 próbnych obciążeń i pomiary osiadań fundamentu obiektu znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie przedmiotowych silosów. Podstawą weryfikacji przyjętych oszacowań były wyniki pomiarów odprężenia podłoża po wyburzeniu płaszczy silosów i jego osiadań spowodowanych wybudowaniem nowych płaszczy oraz zasypem silosów.

Warunki gruntowo-wodne. Badania archiwalne obejmujące rozpoznanie podłoża gruntowego silosów przeprowadzone zostały w 1973 r. i obejmowały wykonanie wierceń mechanicznych do głębokości od 8 do 15 m p.p.t. Z przeprowadzonych badań wynika, że podłoże stanowią zagęszczone grunty niespoiste w postaci piasków średnich, pospótek, żwirów z dodatkiem frakcji kamienistej i kamieni o miąższości od 2 do 5 m, podścielone zagęszczonym rumoszem wapienia, lokalnie zaglinionym, o miąższości od 3,5 do 5 m. Poniżej występuje spękana skała wapienna.

Przeprowadzone w 2012 r. odwierty mechaniczne potwierdziły występowanie rozpoznanych wcześniej warstw podłoża, z wyjątkiem gruntów nasypowych znajdujących się do głębokości posadowienia, tuż przy silosach [2]. W ramach badań nie stwierdzono występowania wody gruntowej.

* Politechnika Śląska, Katedra Geotechniki i Dróg

Szacowanie nośności i sztywności podłoża. Zgodnie z dokumentacją projektową, potwierdzoną wykonaną odkrywką, poziom posadowienia fundamentów silosów wynosi ok. 5,5 m p.p.t. Analizując warunki gruntowe rozpoznane badaniami terenowymi uznano, że silosy posadowione zostały na warstwach zagęszczonych rumoszy, zwietrzelin wapienia i warstwach skalnych, a więc na podłożu o dużej nośności i małej odkształcalności. Potwierdzają to obliczenia nośności przeprowadzone zgodnie z normą [3]. W przypadku fundamentu szerokości 18,5 m, posadowionego na głębokości 5,5 m p.p.t., na zagęszczonych rumoszach i wietrzelinach, dla których obliczeniowa wartość kąta tarcia wewnętrznego wynosi 35° , obliczeniowa nośność podłoża R/A' wynosi 8,32 MPa.

Małą odkształcalność podłoża potwierdzają wyniki próbnych obciążeń, które przeprowadzone zostały przez jednego z autorów, pod projektowanym w 2011 r. budynkiem młyna, usytuowanym kilkadziesiąt metrów od omawianych silosów. Pierwotnie projektant przewidywał posadowienie fundamentów młyna na palach. Wykonane wykopy (do poziomu 4,5 – 5,5 m p.p.t.) i wstępne wiercenia pali wykazały występowanie w strefie spągowej wykopu warstw skalnych – wapieni i ich zwietrzelin. Warstwy te charakteryzowały się dużą sztywnością, uniemożliwiając praktycznie wykonanie posadowienia pośredniego.

W celu sprawdzenia, czy możliwe jest bezpośrednie posadowienie obiektu, przeprowadzono 9 próbnych obciążeń podłoża w dnie wykopu płytą średnicy 1,13 m. Obciążenie, w postaci siły skupionej, realizowano z wykorzystaniem siłownika hydraulicznego o zakresie do 100 T, opierając się o podwozie ciężkiego dźwigu gaśnicowego. Osiadanie płyty mierzone było w czterech punktach pomiarowych, za pomocą elektronicznych czujników przemieszczeń, mocowanych do niezależnej konstrukcji będącej stałym punktem odniesienia. Zakres przykładowych nacisków jednostkowych wyniósł od 0 do 550 kPa, w przypadku jednego badania 586 kPa.

Należy podkreślić, że próbne obciążenia realizowane były na poziomie zbliżonym do poziomu posadowienia

silosów. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że pierwotne moduły odkształcenia miały wartość od 47,8 MPa do 228 MPa. W przypadku niektórych badań ustalono również wtórne moduły odkształcenia. Ich minimalna wartość wyniosła 102,1 MPa, a więc była co najmniej dwukrotnie większa od najmniejszej wartości modułu pierwotnego. Bardziej wiarygodną wartością charakteryzującą sztywność podłoża jest moduł odkształcenia określony z badań bezpośrednich w skali naturalnej. Dysponowaliśmy takimi wynikami w odniesieniu do fundamentu młyna usytuowanego wewnątrz obiektu głównego. Pomierzone osiadania pod statycznym obciążeniem fundamentu o wymiarach 14,4 m x 23,5 m urządzeniami technologicznymi wyniosły $s = 0,45$ cm. Wykorzystując wzór dla półprzestrzeni gruntowej [4], otrzymano wartość modułu odkształcenia pierwotnego na poziomie $E_0 = 105$ MPa.

W przypadku podłoża omawianych silosów, obciążanych na przestrzeni kilkudziesięciu lat wielokrotnie zasypem i odciążanych z tytułu opróżniania cementu, o osiadanach decydować będzie moduł sprężystości o wartości równej co najmniej wtórnemu modułowi odkształcenia. Potwierdzeniem tego, a jednocześnie weryfikacją oszacowanych na podstawie próbnych obciążeń modułów, były wyniki pomiarów przemieszczeń pionowych fundamentów silosów po wyburzeniu ich płaszczy i ich ponownym wykonaniu oraz zasypie cementem.

Przed wyburzeniem płaszczy na każdym fundamencie zamontowano wewnątrz silosów cztery repery i wykonano tzw. pomiar zerowy. Roboty rozbiórkowe spowodowały zmniejszenie nacisków jednostkowych pod fundamentem o ok. 56 kPa i średnie odprężenie podłoża 1,75 mm i 2 mm. Przeprowadzone obliczenia pozwoliły określić moduł sztywności podłoża przy odprężeniu odpowiednio na poziomie: 571 MPa i 652 MPa.

Po wybudowaniu silosów i przed ich zasypem ponownie zamontowano po 4 repery, tym razem na płaszczach. Pomiary przemieszczeń pionowych wykonano przed napełnieniem silosów oraz po napełnieniu cementem w ilości 25%, 50% i 75% objętości całkowitej. Naciski jednostko-

we pod fundamentami wynosiły odpowiednio: 98, 188 i 282 kPa. Średnia osiadania silosów dla obciążenia końcowego wynosiła 2,5 mm i 3,25 mm. Wyznaczone na jej podstawie moduły odkształcenia były równe 2,31 GPa i 1,77 GPa. Przytoczone wartości są najbardziej wiarygodne. Zwraca uwagę różnica pomiędzy tymi wartościami a oszacowanymi z próbnych obciążeń. Należy jednak podkreślić, że te ostatnie dotyczyły obciążeń pierwotnych i na mniejszym fundamencie.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono przyjętą przez autorów ścieżkę określania sztywności warstw skalnych, na których posadowione zostały silosy na cement, poddane przebudowie po kilkudziesięciu latach użytkowania. Punktem wyjścia do podjęcia decyzji o przebudowie były wyniki rozpoznania podłoża (archiwalne i aktualne) oraz jego próbnych obciążeń zrealizowane dla wzniesionego kilka lat temu obiektu kubaturowego, sąsiadującego z silosami. Weryfikacją uzyskanych rozwiązań były wyniki pomierzonych odprężeń i osiadań podłoża pod fundamentami silosów podczas wyburzania i wznoszenia ich płaszczy oraz po napełnianiu silosów.

Analiza uzyskanych wyników wykazała, że występujące pod i w otoczeniu rozpatrywanych silosów podłoża skalne charakteryzuje się dużą sztywnością, większą, niż wskazywały na to archiwalne próbne obciążenia. Możliwość przeprowadzenia próbnych obciążeń w skali naturalnej jest z całą pewnością bardzo poważnym argumentem przy podejmowaniu decyzji o posadowieniu złożonych konstrukcji w trudnych lub nietypowych warunkach geotechnicznych.

Literatura

- [1] Sękowski J.: Podejmowanie robót budowlanych w kontekście oceny geotechnicznych warunków posadowienia obiektu. Przegląd Budowlany, 11, 2013, ss. 35 – 38.
- [2] Sprawozdanie z wykonania badań geotechnicznych. Morion, Gliwice, 2012.
- [3] PN-EN 1997-1. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne
- [4] Wilun Z.: Zarys geotechniki. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, wyd. IV, Warszawa 2003.