

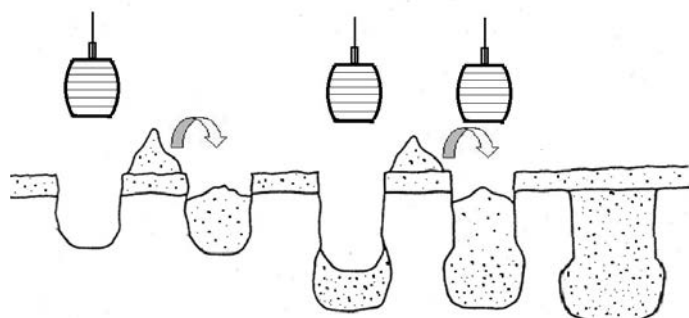
# Badanie terenowe osiadania kolumny z kruszywa wykonanej w technologii wymiany dynamicznej

Dr inż. Mariusz Wyroślak

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Posadowienia obiektów budowlanych i inżynierskich wymagają podłoża o właściwych parametrach wytrzymałościowych. Brak takich gruntów oraz konieczność realizacji inwestycji w konkretnym miejscu, w związku z rozwojem infrastruktury, stwarza zapotrzebowanie na stosowanie różnego rodzaju technologii wzmocnienia podłoża gruntowego. Jedną z technologii, która ugruntowała już swoje miejsce w budownictwie jest wymiana dynamiczna [2]. Ten sposób wzmocnienia gruntu jest stosowany od lat z sukcesami w różnego rodzaju inwestycjach, jak obszary portowe, lotniska, drogi i obiekty kubaturowe. Rodzaje wzmocnianego gruntu też są różne, na przykład: grunty organiczne, odpady komunalne, miękkoelastyczne grunty spoiste zarówno nawodnione, jak i nienawodnione.

Technologia wymiany dynamicznej polega na wybiciu z powierzchni terenu kawerny za pomocą ubijaka spadającego z określonej wysokości. Kawernę wypełnia się dobrze zagęszczalnym kruszywem, po czym powtarza się proces. Masa ubijaka, jego kształt oraz wysokość spadu mają decydujące znaczenie w procesie wzmocnienia podłoża. Mogą też definiować różne warianty tej technologii [3].



Rys. 1. Fazy formowania kolumn z kruszywa



Rys. 2. Podstawa kolumny z kruszywa

W artykule przedstawione jest badanie terenowe kolumny z kruszywa wykonanej w oparciu o doświadczenia śląskie. Szczegóły wykonywania takich kolumn są szeroko opisane w literaturze [1]. Zarówno specjalistyczny sprzęt, jak również parametry ubijaka stanowią cechy charakterystyczne tego wariantu wymiany dynamicznej [4].

Zastosowano ubijak o masie 10 Mg, podnoszony na wysokość 17 m, kształtem podobny do klasycznej beczki. Fazy wykonania kolumn z kruszywa przedstawiono na rys. 1. W procesie formowania kolumn kruszywo jest zagęszczane i rozpychane w kierunku pionowym w dół, jak również poziomym. Powoduje to dodatkową znaczną konsolidację gruntu słabonośnego znajdującego się między kolumnami. Innym korzystnym czynnikiem jest uformowanie poszerzonej stopy kolumny, która daje większą stateczność i brak podatności na wyboczenie, która jest istotna w przypadku smukłych kolumn piaskowych (rys. 2).

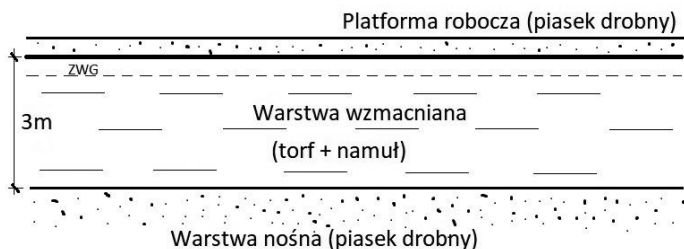
Wszystkie kolumny wykonano w siatce trójkątów równobocznych o długości boku 4,5 m. Stopień wzmocnienia podłoża jest funkcją przyjętego rozstawu kolumn oraz energii potencjalnej uniesionego ubijaka. Obserwacje wykazały, że lekkie ubijaki o masie od 5 do 10 Mg mogą wykonać kolumny długości od 3,5 do 5 m, natomiast ciężkie, o masie od 15 do 17 Mg, kolumny o długości od 6 do 8,5 m.

Kontrolę jakości wykonania kolumn przeprowadza się za pomocą sondy dynamicznej lub sondy statycznej. Inne parametry wymagane przy odbiorze można otrzymać z dostępnych korelacji parametrów gruntowych [8].

W literaturze znaleźć można próby teoretycznych rozwiązań dotyczące oszacowania nośności [7] oraz osiadania kolumn z kruszywa. Osiadanie podłoża wzmocnionego jest w tym przypadku kwestią ważniejszą, ponieważ w wielu sytuacjach praktycznych obciążenia docelowe przekazywane na grunt są dalekie od stanów granicznych nośności, natomiast wymagania odnośnie przemieszczenia konstrukcji mogą być bardzo restrykcyjne.

Priebe [6] zaproponował metodę teoretycznego oszacowania osiadania podłoża wzmocnionego kolumnami z kruszywa, wykorzystując tak zwaną komórkę reprezentatywną. Przyjął on, wzmocniony że obszar stanowi nieskończoną powierzchnię, na której wybrana kolumna z otaczającym ją gruntem tworzą w przekroju poziomym komórkę reprezentatywną. Pole powierzchni komórki jest zależne od rozstawu kolumn. Parametrem charakteryzującym osiadanie podłoża wzmocnionego jest współczynnik wyprowadzony jako funkcja stosunku powierzchni przekroju poziomego kolumny do otaczającego ją gruntu oraz kąta tarcia wewnętrznego materiału wbudowanego w kolumnę [6]. W rozważaniach Priebe zakładał, że wszystkie kolumny są obciążane równocześnie takim samym obciążeniem i nie występują przemieszczenia poziome w gruncie.

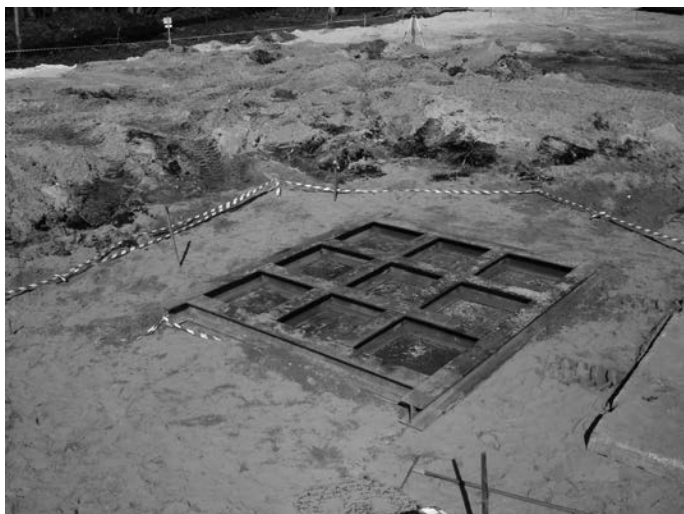
Meyerhof z kolei zaproponował [5] współczynnik określony jako stosunek osiadania gruntu wzmocnionego do osiadania gruntu nie wzmocnionego poddanego temu samemu obciążeniu.



Rys. 3. Podłoże pod stanowiskiem badawczym



Rys. 4. Kolumna badana w otoczeniu sześciu kolumn wzmocniających



Rys. 5. Podstawa konstrukcji obciążającej kolumnę z kruszywa



Rys. 6. Obciążenie kolumn z kruszywa.

Każda teoretyczna metoda powinna jednak być zweryfikowana badaniami, najlepiej w skali naturalnej. W niniejszym artykule przedstawiono badanie obciążenia kolumny z kruszywa w skali naturalnej. Jest to przyczynek do dalszych analiz porównawczych teorii z praktyką, które będą wykonane w terminie późniejszym.

### STANOWISKO BADAWCZE

Obszar, na którym zlokalizowano stanowisko badawcze, charakteryzuje się równomiernym uwarstwieniem gruntu (rys. 3), wierzchnią warstwę tworzy torf z namułem o miąższości 3 m, poniżej zalega piasek drobny. Woda gruntowa w trakcie badania znajdowała się 0,5 m p.p.t. Parametry geotechniczne warstwy wzmocnionej zestawiono w tabl. 1.

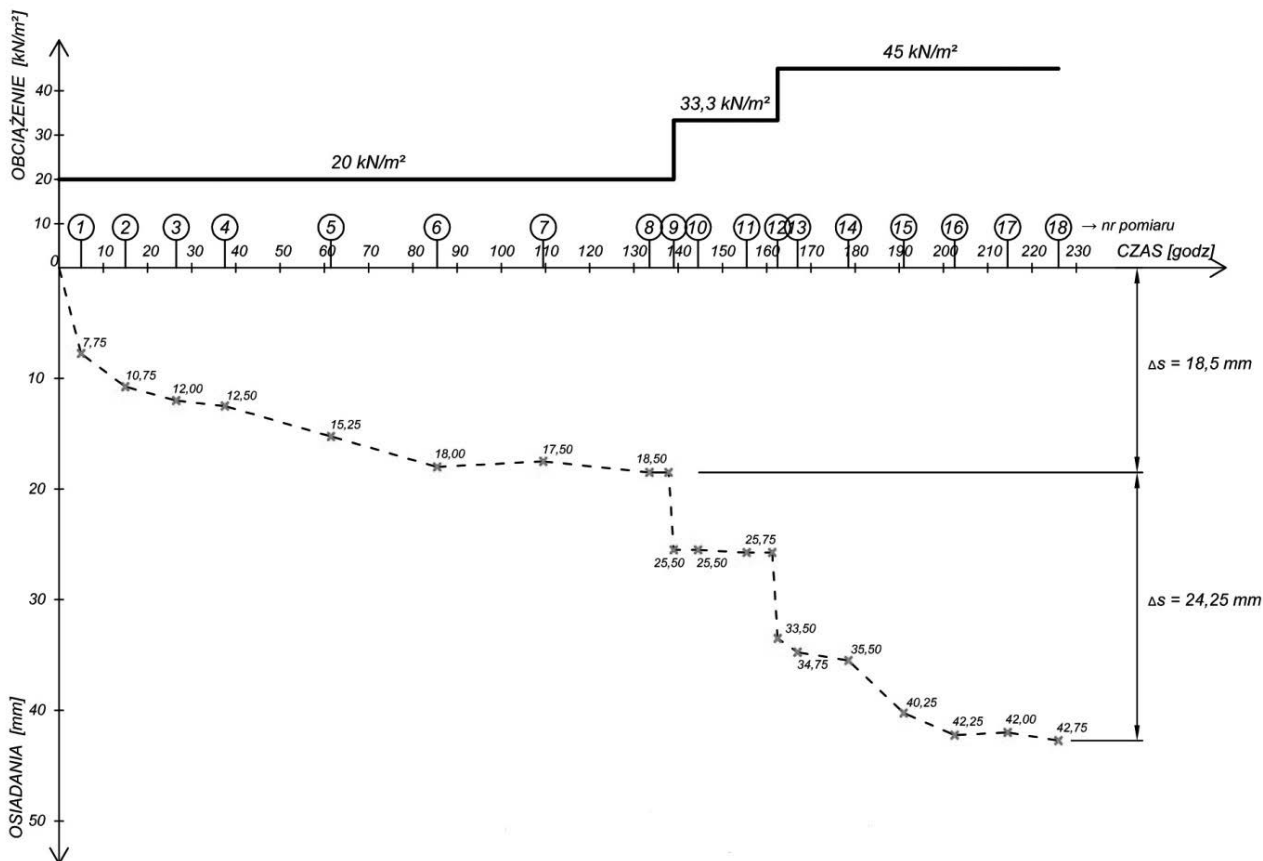
Do przeprowadzenia badania wykonano siedem kolumn, sześć w układzie sześciokąta i kolumna doświadczalna w środku pola (rys. 4). W ten sposób w wynikach obciążenia kolumny uwzględniono wpływ sąsiadujących kolumn oraz ulepszonego gruntu między kolumnami.

Obciążenie przyłożono poprzez kwadratową płytę stalową o wymiarach 3 × 3 m, wzmocnioną kształtownikami dwuteowymi (rys. 5).

Obciążenie przykładano stopniami, do wartości docelowego obciążenia konstrukcyjnego przewidzianego w projekcie obiektu posadawianego na wzmocnionym podłożu. Ze względów technicznych nie wykonano obciążenia do utraty nośności kolumny z kruszywa. Do obciążenia wykorzystano żelbetowe płyty drogowe oraz ubijaki stosowane w dynamicznej wymianie gruntu (rys. 6).

Tabl.1 Parametry geotechniczne wzmocnionej warstwy

Warstwa wzmocniana (torf + namuł)	Wilgotność naturalna $w_n$ [%]	Moduł ścisłości pierwotnej $M_0$ [kPa] Przedziały obciążenia: 0-25 kPa 0-50 kPa	Wytrzymałość na ścinanie bez odplywu $c_u$ [kPa]
		592	138 156



Rys. 7. Wykres osiadania kolumny z kruszywa

## ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Na podstawie krzywej obciążenie-osiadanie stwierdzono, że następuje szybka stabilizacja osiadania po przyłożonych obciążeniach. Najdłużej, około 4 dni, stabilizowały się osiadania dla obciążenia 20 kPa. W kolejnych etapach obciążania, 33 kPa i 45 kPa, osiadania stabilizowały się po maksymalnie 2 dniach.

Ponieważ w warunkach użytkowych obiektów, które zaprojektowano do posadowienia na obszarze wzmocnienia podłoża, stwierdzono maksymalne osiadania do 5 cm, celem próbnego obciążenia kolumny z kruszywa było ustalenie wartości obciążenia, które może być zaaplikowane na kolumnach, aby obiekt mógł być użytkowany bezpiecznie. W badaniach nie osiągnięto granicznej nośności kolumn z kruszywa. Maksymalne obciążenie wyniosło 405 kN, które spowodowało osiadanie 42,75 mm.

Wokół badanej kolumny wykonano sześć innych kolumn. Należy założyć, że uzyskany wynik jest pochodną oddziaływania grupy kolumn wraz z otaczającym je gruntem rodzimym. Niemniej z powyższych badań nie można opisać tego wpływu.

Wzmocnienie podłoża gruntowego w technologii dynamicznej wymiany spełniło wymagania projektowe, a efekty wzmocnienia potwierdzono w najbardziej miarodajnym badaniu czyli w próbnym obciążeniu kolumny.

Przedstawione wyniki można wykorzystać do badania rozwiązań analitycznych określania nośności kolumn z kruszywa [7].

## LITERATURA

1. Gryczmański M.: Metody analizy nośności i osiadania podłoża wzmocnionego kolumnami kamiennymi. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 5, str. 224-231, 1993.
2. Gryczmański M.: Współczesne kierunki rozwoju geotechniki w Polsce. *Inżynieria i Budownictwo*, 8, str. 339-347, 1994.
3. Gryczmański M.: Wzmacnianie podłoża wbijanymi kolumnami kamiennymi. Przegląd doświadczeń śląskich. *Inżynieria i Budownictwo*, 3, str. 123-126, 2003.
4. Kwiecień S., Sękowski J.: Próbne obciążenia wbijanych kolumn kamiennych. Wyniki badań laboratoryjnych i analiza numeryczna układu kolumna-słabe podłoża. Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu: XXIX Szkoła Mechaniki, 2006.
5. Poorooshasb H. B., Meyerhof G. G.: Analysis of behavior of stone columns and lime columns. *Computers and Geotechnics*, 20(1), str. 47-70, 1996.
6. Priebe H. J.: The design of Vibro replacement. *Ground engineering*, str. 31-37, 1995.
7. Steckiewicz R., Szypcio Z.: Nośność graniczna kolumn kamiennych. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 3, str. 241-243, 1996.
8. Wyroślak M.: Korelacje parametrów gruntu w badaniach stanu zagęszczenia nasypu kontrolowanego. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 1, str. 21-26, 2017.