

Sławomir KWIECIEN

Katedra Geotechniki  
Politechnika Śląska

## PRÓBNE OBCIĄŻENIE WBIJANEJ KOLUMNY KAMIENNEJ. WYNIKI BADAŃ POLOWYCH

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono stanowisko do próbnych obciążeń wbijanej kolumny kamiennej w warunkach polowych. Wyniki badań w postaci krzywej „obciążenie-osiadanie” uzupełnione zostały inwentaryzacją kolumny po próbnym obciążeniu.

## LOAD PLATE TEST FOR DRIVEN STONE COLUMN. IN SITU TEST RESULTS

**Summary.** The paper presents in situ test station for driven stone column. Test results in the form of load-displacement dependence was supplemented by inventory.

### 1. Wstęp

Nieustanny rozwój gospodarczy i związane z tym powstawanie nowych obiektów budowlanych i inżynierskich powoduje zapotrzebowanie na coraz to nowe tereny pod planowane inwestycje. Inwestycje te realizowane są coraz częściej na terenach, które charakteryzują się złymi warunkami geotechnicznymi [6].

Obecnie, w ramach geoinżynierii, mamy do dyspozycji kilkadziesiąt metod wzmocnienia słabego podłoża gruntowego [4], a zastosowanie konkretnej metody uzależnione jest między innymi: od rodzaju słabego gruntu, jego miąższości, a także wielkości i charakteru przekazywanego obciążenia. W przypadku gdy słabe podłoże budują grunty spoiste i/lub organiczne, luźne i/lub niejednorodne pod względem stanu i składu grunty nasypowe o niewielkiej kilkumetrowej miąższości, przekazywane z obiektu obciążenie nie jest duże i niezbyt odchylone od pionu, brak jest sił wrywających, to z powodzeniem możemy zastosować wzmocnienie podłoża gruntowego metodą wymiany dynamicznej. Metoda ta,

inaczej określana w krajowej literaturze jako wbijane kolumny kamienne [5], powoduje nie tylko wzrost nośności podłoża, ale również redukcję jego osiadania oraz przyspiesza konsolidację słabego gruntu.

Z inżynierskiego punktu widzenia projektując posadowienie na podłożu wzmocnionym kolumnami kamiennymi zmuszeni jesteśmy do rozważenia dwóch stanów granicznych [3]. Pierwszy stan graniczny: nośności (I SGN) określa dopuszczalne obciążenie niepowodujące utraty stateczności tak wzmocnionego podłoża. Spełnienie drugiego ze stanów granicznych: użyteczności (II SGU) pozwala na przeciwdziałanie osiadaniom, mogącym spowodować trudności w użytkowaniu projektowanych obiektów. Jeżeli chodzi o adekwatność stosowania metod w ramach I SGN w odniesieniu do wbijanych kolumn kamiennych trudno jest w tej chwili cokolwiek powiedzieć. Spowodowane jest to brakiem badań nad nośnością tak formowanych kolumn. Badania odbiorcze w przypadku kolumn wbijanych najczęściej wykonywane są w formie próbnego obciążenia głowicy kolumny naciskiem o wartości przewidzianej z tytułu ich obciążeń rzeczywistych lub niewiele większym. Realizowane jest to w postaci balastów statycznych, dających obciążenie do ok. 300 kPa [7]. Uzyskanie większych wartości wymaga budowy stanowiska badawczego, w którym siła uzyskiwana jest siłownikami hydraulicznymi, zapartymi o stalowe belki zakotwione do pali.

Taka możliwość pojawiła się w trakcie współpracy z **Jubilatem** podczas projektowania wzmocnienia podłoża gruntowego na jednym z odcinków drogi ekspresowej S-7, popularnie zwanej Zakopianką.

W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki próbnego obciążenia kolumny kamiennej wykonanej na poletku badawczym w Lubieniu wraz z jej inwentaryzacją po przeprowadzonym badaniu.

## **2. Próbne obciążenie kolumny kamiennej formowanej metodą wymiany dynamicznej**

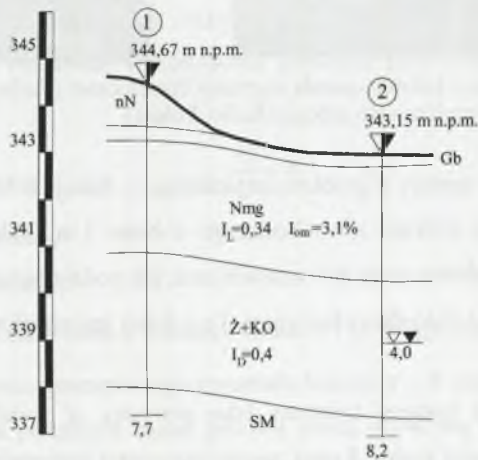
### **2.1. Poletko badawcze**

Podczas projektowania nasypów drogowych na odcinku obwodnicy trasy S-7, w miejscowości Lubień, biegnącej w dolinie rzeki Raby napotkano na problemy z tytułu niewystarczającej nośności gruntów podścielających ww. nasypy. Podłoże w wierzchniej warstwie budowały utwory czwartorzędowe w postaci namulów o miąższości dochodzącej do

kilku metrów podścielone warstwą żwirów. Poniżej występowały warstwy skał miękkich w postaci piaskowców i łupków.

Do wzmocnienia wierzchniej warstwy gruntów zaprojektowano kilka tysięcy kolumn formowanych metodą wymiany dynamicznej. O skali prac może świadczyć fakt, że przez kilka miesięcy na budowie pracowało ponad 60% dostępnego w Polsce sprzętu do wykonywania wymiany dynamicznej.

Poletko badawcze zlokalizowane zostało na jednym z odcinków ww. trasy w miejscowości Lubień koło Myślenic. Przekrój geotechniczny w miejscu wykonania kolumny pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Przekrój geotechniczny w miejscu wykonania kolumny  
Fig. 1. Subsoil condition of investigation site

## 2.2. Formowanie kolumny kamiennej

W procesie formowania kolumn kamiennych metodą wymiany dynamicznej wykorzystuje się sprzęt do konsolidacji dynamicznej, umożliwiający zrzut ciężaru o dużej masie z określonej wysokości. Pracujący na poletku badawczym sprzęt firmy Keller Polska (rys. 2) umożliwiał zrzut z wysokości 13,5 m ubijaka w kształcie stożka ściętego o średnicy dolnej 1 m i górnej 1,2 m, wysokości 1,8 m i masie 11,5 t.



Rys. 2. Sprzęt do formowania kolumn metodą wymiany dynamicznej (Keller Polska)  
 Fig. 2. Facility of dynamic replacement process (Keller Polska)

Kolumny wykonane zostały z przekruszu skalnego o frakcji 0/400 z leżącego nieopodal kamieniołomu, w siatce trójkąta równobocznego o boku 3 m. Tak duża wielkość frakcji użytej do formowania kolumn może być uzasadniona, jak podaje Noyak [8], jeżeli zawiera się ona z przedziału  $1/6$  do  $1/7$  średnicy kolumny. To z kolei jest możliwe dla średnic kolumn z przedziału 2,4-3,2 m.

Podczas formowania badanej kolumny jako pierwszy w wyniku swobodnego zrzutu ubijaka wykonywany został krater. Krater wypełniony został materiałem kamiennym, wbitym następnie przez kilkakrotne zrzucenie wspomnianego ubijaka. Po wbiciu materiału w słabe podłoże i opustoszeniu krateru sytuacja powtarzała się. Kolumna wykonywana była do czasu uzyskania wyraźnego oporu przeciw wbijaniu zrzuconego ubijaka. Kolumna uformowana została w miejscu, gdzie miąższość namułu gliniastego wynosiła 2,7 m, poprzez 16-krotny swobodny zrzut ubijaka. Ilość materiału potrzebnego na uformowanie kolumny wyniosła  $13,65\text{m}^3$ . Przy założeniu że jej przewidywana długość wynosi ok. 2,7 m (kolumna oparta na warstwie nośnej) oczekiwana średnica mogła wynieść ok. 2,5 m.

### 2.3. Konstrukcja stanowiska badawczego

W przypadku kolumn kamiennych próbne obciążenia mogą być realizowane w postaci [2]:

- obciążenia głowicy kolumny,
- obciążenia kolumny wraz z częścią otaczającego ją podłoża, zgodnie z koncepcją komórki jednostkowej,
- obciążenia grupy kolumn.

Ze względu na trudności techniczne przy realizowaniu dużych sił na dużych powierzchniach zdecydowano się na obciążenie głowicy kolumny kamiennej.

Dobór elementów konstrukcyjnych stanowiska (belka oporowa, pale kotwiące) zaprojektowano tak, aby umożliwiły uzyskanie sił koniecznych do utraty stateczności wykonanej kolumny. Ponieważ wykonywana kolumna była kolumna krępa spełniającą warunek:

$$\frac{H}{D} < 4$$

gdzie:  $H$  – długość kolumny,

$D$  – średnica kolumny,

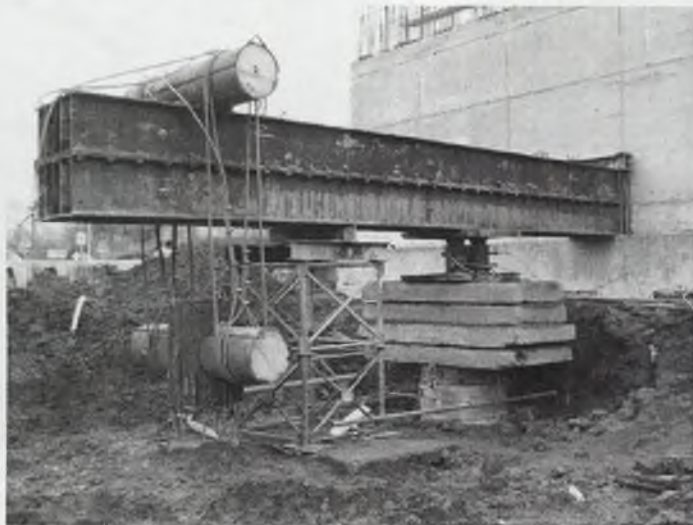
jej nośność ( $p_k^*$ ) określona została z warunku Braunsa [1]. W głównej mierze nośność ta jest uzależniona od kąta tarcia wewnętrznego materiału kolumny -  $\Phi$  oraz spójności bez drenażu gruntu słabego -  $c_u$ . Na podstawie badań połową sondą obrotową ustalono, że spójność  $c_u$  namułu mieści się w przedziale od 25-30 kPa. W przypadku materiału kamiennego kąt  $\Phi$  przyjęto z przedziału od 35 do 45°.

Dla takich założeń otrzymano obliczoną nośność kolumny kamiennej w przedziale  $p_k^* = 803 \div 963 \text{ kPa}$ .

Ze względów technicznych próbne obciążenie głowicy kolumny realizowano przy użyciu płyty stalowej o średnicy  $D=1,2 \text{ m}$ . Stąd otrzymano, że  $p_k^* = 908 \div 1090 \text{ kN}$ .

Dostępne środki ekonomiczne pozwoliły na zaprojektowanie stanowiska badawczego przenoszącego siłę równą 1,5-krotnej przewidywanej nośności  $p_k^* = 1650 \text{ kN}$ . Belkę oporową stanowiła grupa dziesięciu dwuteowników I 500, zakotwionych w gruncie palami o średnicy 75 i 150 cm i długościach odpowiednio 15,8 i 10 m. Pal o większej średnicy był jednym z

grupy pali, na których oparty był przyczółek wiaduktu. Widok stanowiska badawczego pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Widok stanowiska do próbnych obciążeń kolumny kamiennej  
Fig. 3. Model station of load plate test of stone column

#### 2.4. Próbné obciążenie

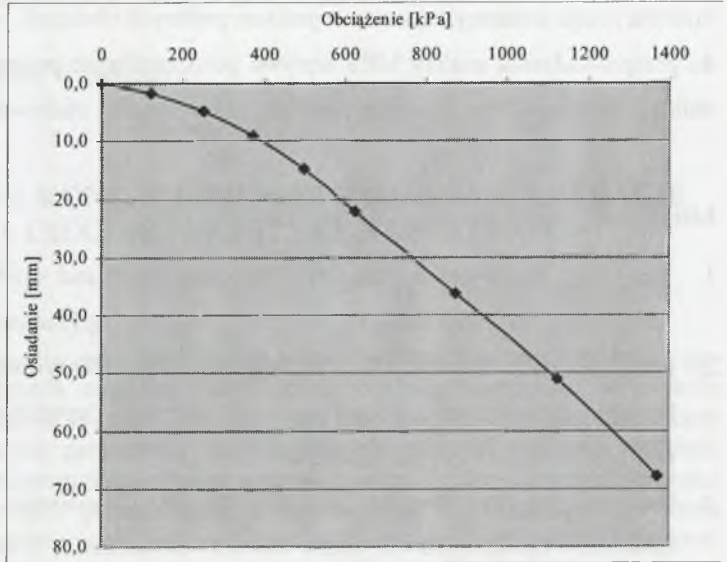
Próbné obciążenie kolumny przeprowadzono metodą stałych stopni obciążenia. Do poziomu 625 kPa stopień ten wynosił 125 kPa, a powyżej 250 kPa. Każdy stopień utrzymywany był tak długo, aż prędkość osiadania kolumny wyniosła co najwyżej 0,05 mm / 15 minut. Obciążenia realizowane były za pomocą trzech siłowników hydraulicznych o zakresie 0-1300 kN. Pomiar osiadań umożliwiły trzy elektroniczne czujniki o zakresie 0-100 mm i dokładności odczytu 0.01 mm. Obciążenie końcowe wyniosło  $q = 1373 \text{ kPa}$ , co stanowiło wartość równą ok. 1,5-krotnej wartości teoretycznej nośności kolumny.

Wyniki próbnych obciążeń przedstawiono na rys. 4.

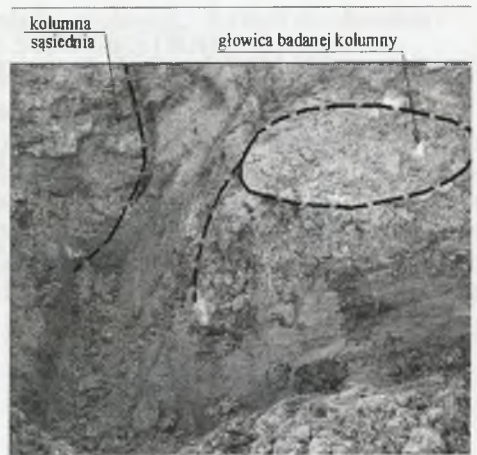
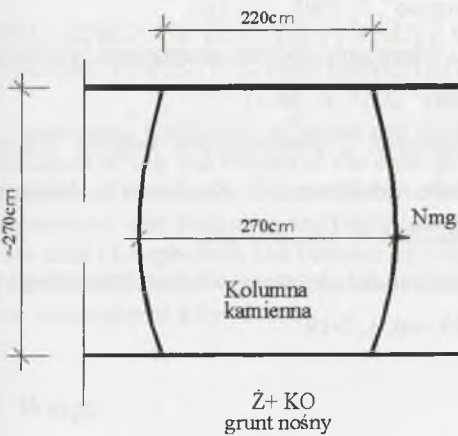
### 2.5. Inwentaryzacja kolumny

Wykonana po badaniu odkrywka kolumny potwierdziła wcześniejsze przypuszczenia o jej dużej średnicy. Przy średnicy ubijaka 1,2 m wykonana kolumna miała szerokość od 2,2 - 2,7m. (rys. 5).

Obciążenie [kPa]	Osiadanie [mm]
0	0
120	1,58
251	4,87
375	9,04
500	14,62
625	21,99
874	36,35
1123	50,98
1373	67,71



Rys. 4. Wyniki próbnego obciążenia kolumny kamiennej  
 Fig. 4. Results of load plate test of stone column



Rys. 5. Wyniki inwentaryzacji kolumny kamiennej  
 Fig. 5. Results of inventory of stone column

### 3. Uwagi końcowe

Przeprowadzone próbne obciążenie nie doprowadziło kolumny kamiennej do utraty stateczności, pomimo obciążenia jej do wartości 1,5-krotnie większej od teoretycznej nośności wyznaczonej na podstawie wzoru Braunsa [1]. Przeprowadzona po badaniu inwentaryzacja kolumny, łącznie z wynikiem próbnych obciążeń, będzie dla autora podstawą do przeprowadzenia analizy MES wpływu poszczególnych parametrów przyjętego modelu obliczeniowego układu „kolumna-podłoże” na rzeczywiste zachowanie się kolumny.

### Literatura

1. Brauns J.: Initial bearing capacity of stone column and sand piles. Proc. Symp. „Soil Reinforcing and Stabilizing Techniques in Engineering Practise”, Sydney 1978.
2. Florkiewicz A., Borowczak P.: Uwagi o kontroli efektywności wzmocnienia podłoża kolumnami kamiennymi. II Problemowa Konferencja Geotechniki, Współpraca Budowli z Podłożem Gruntowym, Białowieża 2004.
3. Gryczmański M.: Metody analizy nośności i osiadania podłoża wzmocnionego kolumnami kamiennymi. Inżynieria Morska i Geotechnika, 5, 1993, 224-231.
4. Gryczmański M.: Współczesne kierunki rozwoju geotechniki w Polsce. „Inżynieria i Budownictwo”, 1994, 8, 339-347.
5. Gryczmański M.: Wzmacnianie podłoża wbijanymi kolumnami kamiennymi. Przegląd doświadczeń śląskich. „Inżynieria i Budownictwo”, 3, 2003, 123-126.
6. Gryczmański M., Sękowski J., Kwiecień S.: Ulepszenie podłoża gruntowego wbijanymi kolumnami kamiennymi. „Przegląd Budowlany” 2005, 2, 34-37.
7. Kwiecień S.: Analiza porównawcza obliczonych i pomierzonych osiadań kolumn kamiennych wzmacniających słabe podłoże gruntowe. V Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa, Wisła 2004, z. 102, 273-282.
8. Noyak N.V.: Recent advances in ground improvements by stone column. Proceedings of Indian Geotechnical Conference, Madras 1983, vol. 1, 5-19.