

mgr inż. Piotr Kanty\*

dr inż. Sławomir Kwiecień\*

dr hab. inż. Jerzy Sękowski, prof. Pol. Śl.\*

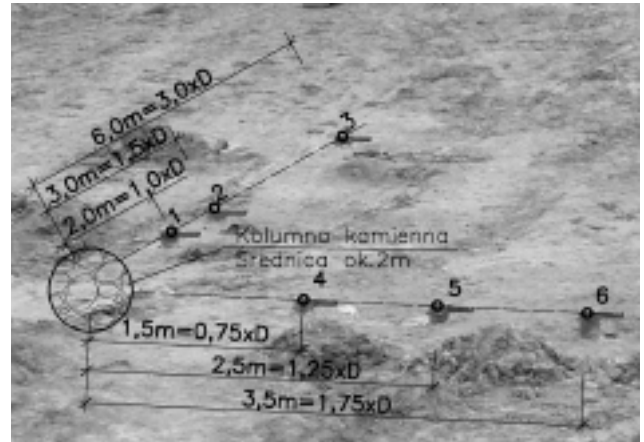
## Wykorzystanie inklinometrów w ocenie zachowania się otoczenia wbijanej kolumny kamiennej

W metodzie wymiany dynamicznej proces formowania kolumn kamiennych w gruncie słabym odbywa się z użyciem techniki i sprzętu podobnego do używanego podczas konsolidacji dynamicznej. Powstały po zrzucie ubijaka (o masie  $10 \div 12$  t, z wysokości  $10 \div 25$  m [1]) krater wypełnia się grubookruchowym materiałem, wbijanym w podłoże gruntowe przez kilkakrotny zrzut ubijaka. Specyfika metody, skutkująca przemieszczaniem gruntu w sąsiedztwie kolumny, dobrze koresponduje z pomiarami inklinometrycznymi. Inklinometry, zainstalowane w odpowiednich miejscach, pozwalają na szybkie i łatwe uzyskanie informacji na temat przemieszczeń gruntu wokół kolumny. Analogiczne zastosowania inklinometrów do badań gruntu w sąsiedztwie kolumn piaskowych oraz kolumn Geopier zostały opisane odpowiednio w [2] i [3]. W artykule przedstawiono program badań inklinometrycznych oraz wybrane wyniki pomiarów, uzyskane w trakcie kształtowania pojedynczej kolumny kamiennej.

### Program badań

Badania przeprowadzono na poletku o wymiarach  $14 \times 14$  m, zlokalizowanym w południowo-wschodniej części Polski. Po usunięciu warstwy humusu w centralnej części poletka wytyczono miejsce wykonania kolumny kamiennej. W celu identyfikacji warunków gruntowo-wodnych wykonano sondowania statyczne typu CPTU oraz analizę makroskopową (podczas wiercenia otworów w miejscach instalacji inklinometrów). Stwierdzono, że podłoże do 7,5 m budują utwory czwartorzędowe. Do głębokości ok. 5,0 m zalegają pyły i pyły piaszczyste o średnim stopniu plastyczności  $I_L = 0,43$  przewarstwione piaskami pylastymi i drobnymi, natomiast poniżej występują średnio zagęszczone piaski drobne i średnie ( $I_D \approx 0,57$ ). Nawierczone zwierciadło wody gruntowej znajdowało się na poziomie 5,0 m p.p.t., a ustabilizowane na głębokości 3,0 m p.p.t.

Na poletku doświadczalnym zainstalowano sześć inklinometrów, każdy długości 7,5 m. Usytuowanie inklinometrów w dwóch wzajemnie do siebie prostopadłych osiach pokazano na fotografii. Ich odległość od osi kolumny była zmienna i wynosiła  $0,75 \div 3$  krotności zakładanej średnicy kolumny  $D$ . Za pomocą wiertnicy H25SG wywiercono otwory o średnicy 150 mm, a następnie umieszczono w nich rury inklinometryczne o wewnętrznej średnicy 71 mm. Rury inklinometryczne składały się z trzech odcinków połączonych za pomocą nakładki przykręcanej śrubami do każdej łączonej części. Połączenie było uszczelnione silikonem oraz owinięte samouszczelniającą się taśmą. Przestrzeń między rurą a otworem wypełniono zaczynem cementowo-gruntowym. Dno rury zabezpieczono korkiem, a górę inklinometru zamykaną rurą stalową.



Schemat rozmieszczenia inklinometrów

Sonda inklinometryczna prowadzona była podczas pomiaru w wyprofilowanych rynienkach, rozmieszczonych pod  $90^\circ$ . Spuszczano ją wzdłuż rynienek na spód rury, rejestrowano wynik, a następnie wyciągano i odczytywano wychylenia sondy od pionu co 0,5 m. Odczytane wychylenia kątowe zostały przeliczone (przez program, a następnie dla sprawdzenia arkuszem kalkulacyjnym) na przemieszczenie poziome. Łącznie dla każdej kolumny inklinometrycznej wykonano pięć serii pomiarów: pierwsza seria przed rozpoczęciem wbijania kolumny, kolejne po każdym z trzech etapów jej formowania, a ostatnia po 30 dniach od chwili uformowania kolumny.

### Kształtowanie kolumny

Formowanie kolumny, ubijakiem o masie 12 t i średnicy 1,0 m, podzielono na trzy etapy (w przybliżeniu do 1/3, 2/3 i 3/3 jej wysokości). W pierwszym i trzecim etapie przy odpowiednio: sześciu i pięciu zasypach materiału grubookruchowego, zrzucano ubijak z różnej wysokości ( $5 \div 15$  oraz  $15 \div 2$  m), w drugim etapie przy czterech zasypach, z wysokości stałej (15 m). Za takim formowaniem kolumny przemawiają dotychczasowe doświadczenia [1].

Po pierwszym etapie formowania pomiar w rurze nr 4 okazał się niemożliwy ze względu na jej zbyt duże deformacje, a po kolejnym etapie w inklinometrze pojawiła się woda. Podobnie było w inklinometrze nr 1, z tą różnicą, że po pierwszym etapie udało się wykonać odczyt. Rura przestała być drożna podczas etapu drugiego, a woda pojawiła się w niej na etapie trzecim. Zniszczenie inklinometrów nr 1 i 4 wskazuje, że zamontowano je zbyt blisko kolumny. Do pomiarów przemieszczeń w odległościach do 2 m od osi kolumny (przy średnicy kolumny  $D = 2,0$  m) należałoby posłużyć się inną metodą (np. metodą geofizyczną). Odczytów z inklinometru nr 1 i 4 nie przedstawiono w artykule.

\* Politechnika Śląska

### Wyniki pomiarów

Wyniki wybranych pomiarów, dla poszczególnych etapów formowania kolumny, przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Analizując wyniki pomiarów, zaobserwowano, że charakter przemieszczeń inklinometrów nr 2 i nr 5 (zlokalizowanych bliżej kolumny) jest inny niż inklinometrów najdalej położonych (nr 3 i nr 6). W przypadku dwóch pierwszych inklinometrów (nr 2 i nr 5) maksymalne przemieszczenia gruntu w pobliżu kolumny, na każdym etapie jej formowania, zmierzono na głębokości 2 m. Korespondują one z określonym podczas odkrytki kształtem kolumny. Na tej bowiem głębokości zmierzono jej największą średnicę. W przypadku dwóch najbardziej oddalonych od kolumny kamiennej inklinometrów (nr 3 i nr 6) największe przemieszczenia były blisko powierzchni terenu.

Zauważono, że zasięg oddziaływania procesu formowania kolumny jest większy niż 6 m (3D), mierząc od jej osi. Inklinometr nr 3 wbudowany w tej odległości wykazał bowiem po uformowaniu kolumny przemieszczenia przy powierzchni 1,2 cm (rysunek 1).

Uwagę zwraca również duże przemieszczenie poziome przy powierzchni terenu (maksymalnie 13,6 cm) inklinometru nr 6, oddalonego od osi kolumny kamiennej o 3,5 m (1,75D). Ta odległość jest często przyjmowanym przez projektantów rozstawem osiowym kolumn. Oznacza to, że kolejna w serii kolumna będzie wbijana w mocno odkształcony przez wcześniej wykonane kolumny grunt. Potwierdzają to doświadczenia wykonawców kolumn wskazujące na dużo większe opory wbijania podczas formowania kolumny w sąsiedztwie już istniejącej.

Podczas formowania kolumny dodatkowo sprawdzano poziom góry inklinometrów. Położone najdalej od kolumny nie zo-

stały wyniesione przez wypiętrzający się grunt. Góra inklinometrów bliższych kolumnie (nr 2 i nr 5) podniosła się odpowiednio o 3 i 10 cm. Wartości te są niewiele mniejsze od przemieszczeń poziomych, mierzonych we wspomnianych inklinometrach, przy powierzchni terenu (wynoszących odpowiednio 4 i 14 cm). Naszym zdaniem, wytłumaczenia opisanych faktów należy dopatrywać się w różnym charakterze rozchodzenia się fal wglębnych i powierzchniowych. Fale powierzchniowe obejmują większy obszar, zaś fale wglębne powodują większe przemieszczenia blisko kolumny, jednocześnie szybciej zanikając.

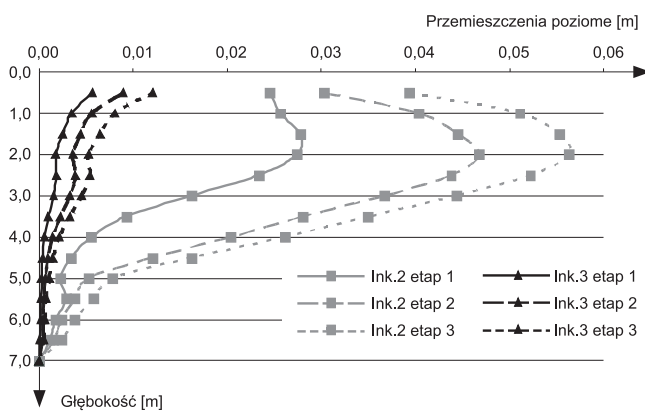
Istotny jest brak symetrii przemieszczeń inklinometrów w obu osiach pomiarowych. Już wyniki pomiarów z etapu pierwszego formowania wskazują na tę tendencję. Sądzymy, że wynika to z niejednorodnej budowy podłoża, co skutkuje niesymetrycznym „rozchodzeniem się” wbijanego materiału.

Ostatnie odczyty inklinometryczne (nieprzedstawione na rysunkach 1 i 2) wykonano po 30 dniach od uformowania kolumny, po jej próbnym obciążeniu. W przypadku wszystkich inklinometrów zaobserwowano przemieszczenia przypowierzchniowych warstw gruntu w stronę kolumny (maksymalne wyniosło 7 mm). Wykluczono wpływ próbnego obciążenia na otrzymane wyniki. Uważamy, że wytłumaczenia wyniku należy dopatrywać się w dwóch zjawiskach. Po pierwsze, tworzywowe rury inklinometryczne otoczone cementogruntem wykazują właściwości sprężyste i naprężone podczas ubijania z czasem mogły spowodować ruch w stronę kolumny. Po drugie, przez 30 dni następowały zmiany ciśnienia porowego w gruncie, masyw mógł ulec odprężeniu i cofnąć się w stronę kolumny.

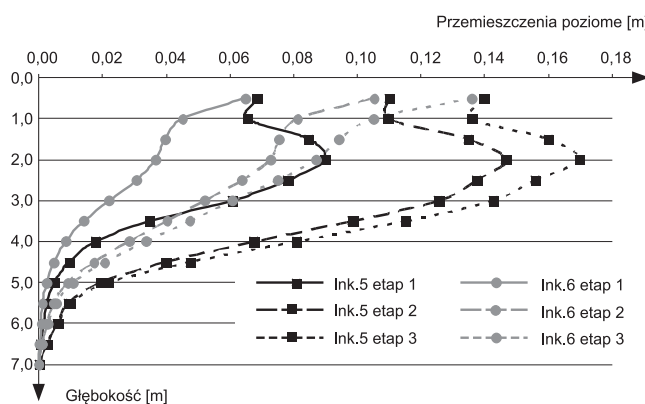
### Podsumowanie

Wykonane pomiary doprowadziły do następujących spostrzeżeń:

- określono zasięg wpływu formowania kolumny kamiennej na deformację jej otoczenia (dla warunków gruntowych występujących podczas badania);
- odczyty z inklinometrów położonych najbliżej kolumny wskazują, że deformacje przyległego gruntu korespondują z kształtem kolumny kamiennej;
- inklinometry położone dalej niż 3,5 m od osi kolumny wykazały największe przemieszczenia przy powierzchni terenu. Rury bliższe kolumnie wykazały maksymalne przemieszczenia na głębokości 2 m;
- odczyt wykonany po upływie 30 dni od dnia ukształtowania kolumny kamiennej wykazał przemieszczenia inklinometrów w stronę kolumny.



Rys. 1. Przemieszczenia poziome inklinometrów nr 2 i nr 3



Rys. 2. Przemieszczenia poziome inklinometrów nr 5 i nr 6

Analizy wykonano w ramach projektu badawczego nr 1989/B/T02/2011/40 sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Praca była współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Projektu „SWIFT (Stypendia Wspomagające Innowacyjne Forum Technologii)” POKL 08.02.01-24-005/10.

### Literatura

- [1] Kwiecień S., Sękowski J.: Wymiana dynamiczna. Praktyczne aspekty zastosowania metody w budownictwie drogowym. Magazyn Autostrady 10/2010, s. 124-128.
- [2] Stinnette P. i inni: A quality control programme for performance evaluation of dynamic replacement of organic soil deposits. Geotechnical and Geological Engineering, 1997, 15, p. 283-302.
- [3] John M. Pitt i inni: Highway applications for rammed aggregate piers in low soils. Raport z projektu Iowa DOT Project TR-443, CTRE Project 00-60.