

Wpływ modyfikacji warunków gruntowych na redukcję amplitudy drgań w podłożu gruntowym oraz zwiększenie wydajności podczas pograżania grodzic metodą wibracyjną

**Mgr inż. Artur Jaroń, dr hab. inż. Małgorzata Jastrzębska
Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa**

Grodzice (brusy, larseny) są zagłębiane w grunt jedną z następujących metod lub ich kombinacją: wbijanie młotami udarowymi, wwibrowywanie przy użyciu tzw. wibromłotów, wciskanie z użyciem pras hydraulicznych. Niejednokrotnie jest

konieczne użycie metod wspomagających pograżanie grodzic stalowych w gruncie, tj. przebijanie, odwiercanie i/lub podpłukiwanie [6, 10]. Praktycznie do dnia dzisiejszego najczęściej jest stosowana metoda wwibrowywania, której początki sięgają

1930 roku [8]. Powodem jej popularności są: wysoka wydajność w stosunku do prasy lub młotów udarowych, mniejszy hałas względem młotów udarowych, mniejsze uszkodzenia materiału, tj. grodzie, wbijanych i wyrzucanych w korzystnych przy tej technologii warunkach gruntowych, którymi są grunty niespoiste, zwłaszcza nawodnione [2]. Na rynku jest dostępne kilka rodzajów wibromłotów różnych producentów. Obecnie standardem technicznym instalacji grodzie stalowych jest wykorzystanie wibromłotów bezrezonansowych [6], których początek stosowania sięga lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia. Ich innowacyjność polega na możliwości zastosowania wibracji o wysokich częstotliwościach, tj. około 40 Hz bez przechodzenia przez stan pośredni, tj. od 0 Hz do 40 Hz podczas rozruchu i wyhamowania wibromłota. Pozwala to na uniknięcie szczególnie niebezpiecznego zjawiska, jakim jest wystąpienie rezonansu w podłożu gruntowym i w różnego rodzaju konstrukcjach będących w sąsiedztwie wykonywanych robót budowlanych [2]. Obecnie, bardziej niż w przeszłości, zwraca się więcej uwagi nie tylko na stan docelowy danej inwestycji, ale również na jej wpływ na środowisko i otoczenie w trakcie realizacji. Społeczeństwo bardziej świadome swoich praw i możliwości stara się o odszkodowania za naruszenie dóbr osobistych zwraca szczególną uwagę na wpływ inwestycji na środowisko, w którym żyjemy, a jakkolwiek degradacja tego środowiska napotyka coraz częściej na negatywną reakcję. Należy pamiętać, że społeczne progi akceptacji prowadzonych robót budowlanych są zwykle zdecydowanie niższe od technicznych i w znacznym stopniu zależne od czasu realizacji inwestycji [6]. Biorąc pod uwagę powyższe uwagi oraz konieczność wykonania zabezpieczeń wykopów niemal zawsze w zwartej zabudowie, inwestorzy kładą coraz większy nacisk nie tylko na koszty zabezpieczeń, ale także na sposób ich wykonania, który ma gwarantować bezpieczną i szybką instalację obudowy głębokiego wykopu.

Wyboru metody instalacji i usuwania grodzie dokonuje się głównie na podstawie mechanicznych parametrów gruntu oraz warunków lokalnych inwestycji. Analizie podlega moc wibromłota względem spodziewanego oporu gruntu, prędkość pogrążania brusa oraz ewentualne ryzyko uszkodzenia brusa podczas pogrążania. Firmy specjalistyczne z długoletnim doświadczeniem wykorzystują podobieństwo warunków geologicznych, w których pracowały dotychczas. Istotne, a czasem pierwszoplanowe, są aspekty środowiskowe, w których mieszczą się hałas, drgania w podłożu gruntowym oraz ewentualne spodziewane osiadania konstrukcji w sąsiedztwie instalowanych lub demontowanych grodzie.

Spośród wymienionych metod pogrążania grodzie „najmłodsza” jest metoda polegająca na statycznym wciskaniu grodzie. Niewątpliwą zaletą tej metody jest wyeliminowanie praktycznie całkowite negatywnych aspektów środowiskowych, tj. drgań oraz osiadań sąsiednich konstrukcji, a także znaczna redukcja hałasu [5]. Przez osiadania konstrukcji Autorzy rozumieją potencjalną możliwość osiadań spowodowanych instalacją zabezpieczenia wykopu, a nie jego pracą w późniejszych fazach robót ziemnych. Statyczne wciskanie grodzie jest trudne technicznie i mniej wydajne, przez co droższe od technologii wwibrowywania. O problematyce wciskania grodzie świadczy fakt, że pomimo niewątpliwych zalet tej metody nie wyparła ona całkowicie, a nawet częściowo wbijania udarowego oraz wwibrowywania brusów. Jest stosowana w ostateczności, w warun-

kach, gdzie wymienione aspekty środowiskowe są postawione na pierwszym miejscu i reżim dotyczący emisji hałasu i drgań lub obawa przed możliwością osiadania sąsiednich obiektów są na tyle rygorystyczne i prawdopodobne, że metody dynamiczne nie są w stanie sprostać wyzwaniu. Nie może zatem dziwić fakt, że technologia wciskania grodzie jest droższa od pozostałych. W związku z tym, biorąc pod uwagę wymienione wcześniej trudności związane z hydraulicznym wciskaniem grodzie oraz ciągłą popularność metody wwibrowywania, Autorzy przeanalizowali możliwość redukcji negatywnych aspektów tej ostatniej technologii poprzez zmianę parametrów gruntu, tzw. modyfikację warunków gruntowych.

Z technicznego punktu widzenia można przyjąć, że destrukcyjny wpływ drgań jest funkcją amplitud drgań (przyspieszeń, prędkości) oraz czasu, w jakim rejestruje się oddziaływanie [6]. Zatem jest kluczowe, aby doprowadzić do zminimalizowania amplitud drgań przy jednoczesnym zwiększeniu wydajności pogrążania grodzie.

METODY MODYFIKACJI WARUNKÓW GRUNTOWYCH

Podczas pogrążania grodzie stalowych, bez względu na metodę wbijania, występują trzy rodzaje oporu. Pierwszy, który pojawia się od samego początku, to opór gruntu pod podstawą grodzie. Kolejno pojawiają się opory na pobocznicach grodzie oraz opór w zamku, które to zwiększają się w miarę wbijania grodzie [8]. Praktycznie zdarzają się sytuacje, gdzie opór gruntu jest większy od siły urządzenia wbijającego, a w skrajnych przypadkach istnieje ryzyko uszkodzenia wbijanej grodzie poprzez na przykład zerwanie zamków grodzie lub wyboczenia profilu [7]. Należy zwrócić uwagę na taką możliwość w gruntach niespoistych zagęszczonych o stopniu zagęszczenia $I_D = 0,7$ lub większym, a także w gruntach spoistych w stanie zwartym. W takich warunkach gruntowych zasięg niekorzystnych oddziaływań dynamicznych jest zawsze większy, a czasokres pogrążania grodzie jest zawsze dłuższy niż ma to miejsce w gruntach o słabszych parametrach mechanicznych. W Polskiej Normie przewiduje się w takich sytuacjach możliwość modyfikowania warunków gruntowych poprzez, między innymi, podplukiwanie ciśnieniowe grodzie lub wykonanie poprzedzających otworów rozprężających [10] bez wynoszenia urobku ziemnego na powierzchnię.

Podplukiwanie ciśnieniowe grodzie polega na podaniu wody pod niskim lub wysokim ciśnieniem do podstawy grodzie. Generalnie przyjmuje się zasadę, że w gruntach niespoistych podaje się większą ilość wody z użyciem mniejszego ciśnienia. W gruntach spoistych odwrotnie [9]. Powodem takiego postępowania jest szybka dyssypacja ciśnienia wody w gruntach niespoistych oraz ich zdolność do powtórnego zagęszczenia się w warstwach powyżej podstawy brusa. Stąd ilość wody powinna być znacząca, aby efekty były zauważalne. Grunty spoiste natomiast pod wpływem zbyt dużej ilości wody mogą diametralnie zmienić (pogorszyć) swoje właściwości. Dlatego też istotne jest, aby użyć stosunkowo niewielkich ilości wody, ale odpowiednio ukierunkowanej i z odpowiednim ciśnieniem, aby zniszczyć strukturę gruntu wyprzedzająco tuż pod podstawą grodzie, a nie w znacznym obszarze dookoła [9].

Wykonanie odwiertów rozprężających jest technicznie prostsze od podpłukiwania grodzic. Istota tego rodzaju zabiegu polega na wykonaniu odwiertu w gruncie, np. z użyciem wiertła ślimakowego podobnego do formowania pali rodzaju CFA, ale bez wynoszenia urobku ziemnego na powierzchnię. Wykonanie takiego odwiertu powoduje zmianę parametrów mechanicznych gruntów i generalnie ich osłabienie.

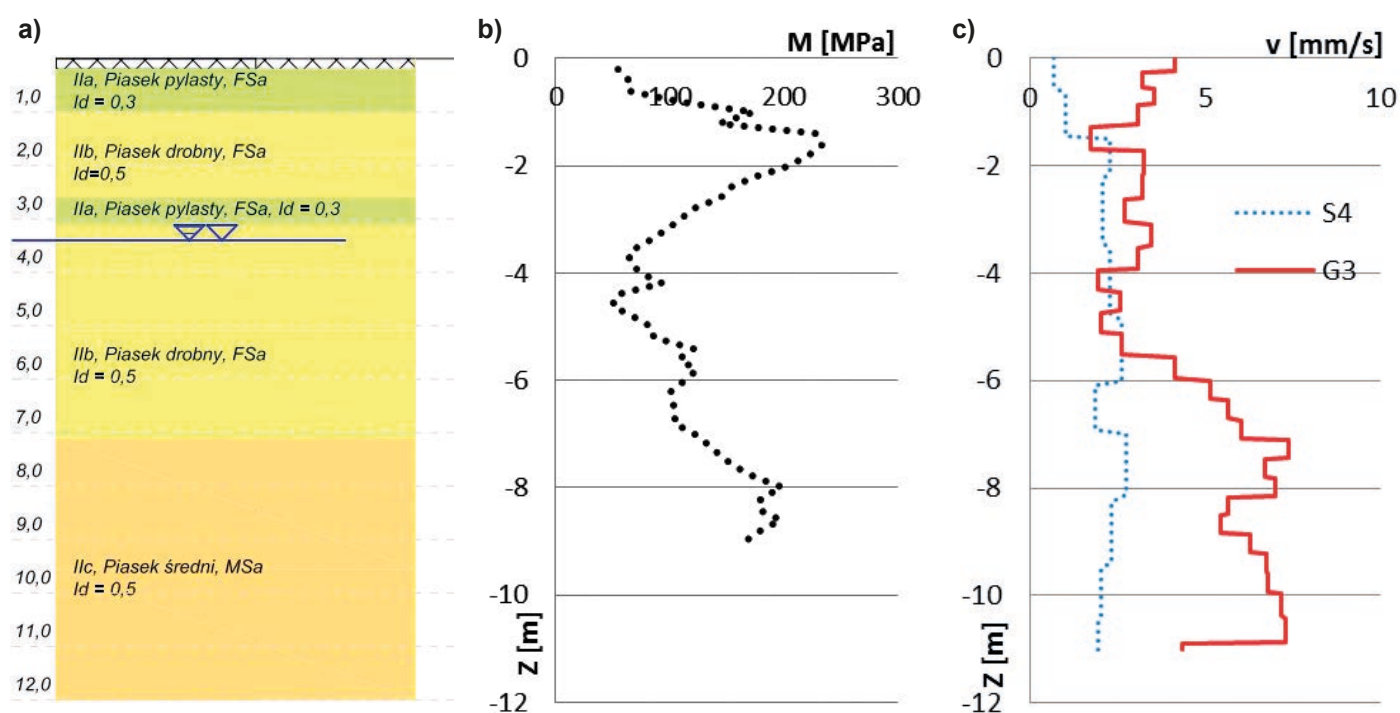
Przykłady zastosowania powyższych metod w praktyce na podstawie pomiarów własnych oraz osiągnięte rezultaty przedstawiono w kolejnych rozdziałach.

CIŚNIENIOWE PODPŁUKIWANIE GRODZIC NA PRZYKŁADZIE POGRAŻANIA GRODZIC NA POLETKU PRÓBNYM W BOJSZOWACH NOWYCH

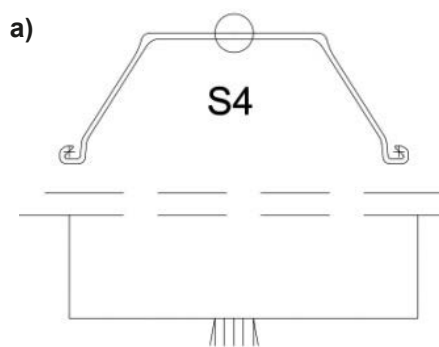
Pomiary przeprowadzono w październiku 2013 roku w Bojszowach Nowych (województwo śląskie). Warunki gruntowe są

znane na podstawie opracowań geotechnicznych sporządzonych w latach 2006-2008 na potrzeby analizy współpracy kolumn wykonanych techniką iniekcji strumieniowej z podłożem gruntowym [1]. Dodatkowo w listopadzie 2013 roku wykonano jeden kontrolny otwór badawczy, głównie z myślą o weryfikacji występowania poziomu wody gruntowej, który okazał się być na poziomie 3,4 m p.p.t. (wcześniej zaobserwowany poziom wody gruntowej wynosił $1,8 \div 2,3$ m p.p.t.) Dominującymi gruntami są niespoiste osady czwartorzędowe, zarówno piaski drobne, jak i pospółki. Przykładowy otwór geologiczny z wybranymi parametrami gruntu oraz rozkład zmiany modułu ścisłości M wraz z głębokością, wyznaczony sondą rodzaju DMT, przedstawiono na rys. 1a i b. Dodatkowo na rys. 1c zaprezentowano zmianę amplitudy drgań poziomych w kierunku poprzecznym do profilu pomiarowego w odległości 5 m w zależności od zagłębienia grodzicy.

Pomiary drgań przeprowadzono w trzech punktach pomiarowych w odległości 5, 10 i 15 m od pograżanych grodzic w kierunku prostym do linii wbijania ścianki na wysokości



Rys. 1. Przykładowe dane otrzymane na poletku doświadczalnym w Bojszowach Nowych
a) karta otworu geotechnicznego, b) rozkład z głębokością modułu ścisłości M , według formuły Marchietiego, c) wykres amplitudy drgań poziomych X w odległości 5 m



- c)
- Oznaczenie grodzicy: S4
 - Ciśnienie [MPa]: 8
 - Liczba otworów: 1
 - Średnica otworów [mm]: 20
 - Powierzchnia otworów [mm²]: 314

Rys. 2. Grodzica GU20N (S4)

a) przekrój grodzicy, b) widok podstawy grodzicy, c) podstawowe dane techniczne głowicy grodzicy

pogrążanego brusa. Do pomiaru drgań użyto geofonów umożliwiających pomiar prędkości w zakresie $0 \div 100$ mm/s i pomiar częstotliwości drgań w trzech kierunkach jednocześnie, tj. pionowym oraz dwóch poziomych: równoległym (Y) i poprzecznym (X) do profilu pomiarowego.

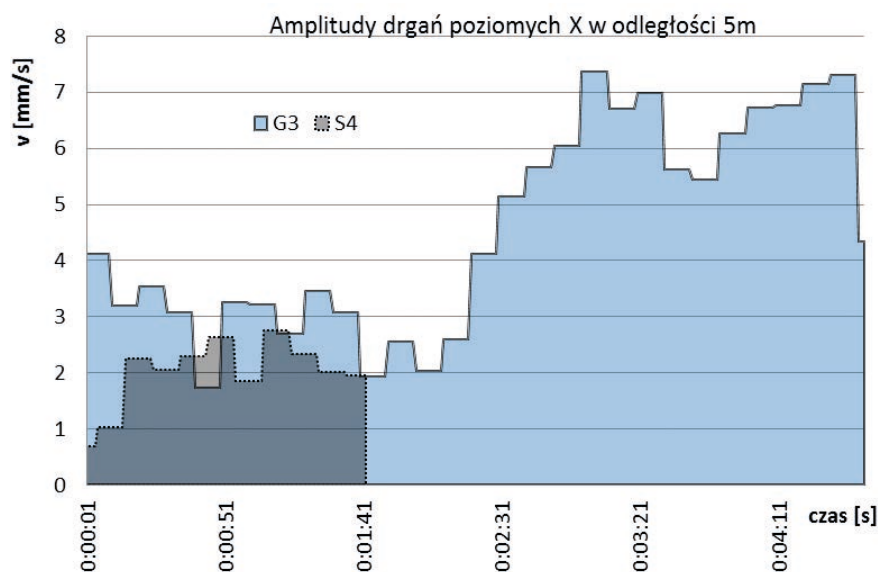
Omawiane urządzenia są wyposażone również w rejestrator zapisujący wartości prędkości i częstotliwości drgań, a także oprogramowanie umożliwiające archiwizowanie danych na komputerze i ich eksport do arkusza kalkulacyjnego, pozwalając na edycję danych.

Prace pomiarowe polegały na rejestracji wartości prędkości drgań na powierzchni gruntu w trakcie pogrążania grodzic. W tym celu wbito łącznie 13 grodzic – w tym 4 sztuki z zastosowaniem ciśnieniowego podplukiwania. Ze względu na obszerną bazę wyników [3] w pracy zaprezentowano tylko kilka przykładowych (rys. 1c i 3). W przedstawionych badaniach wykorzystano

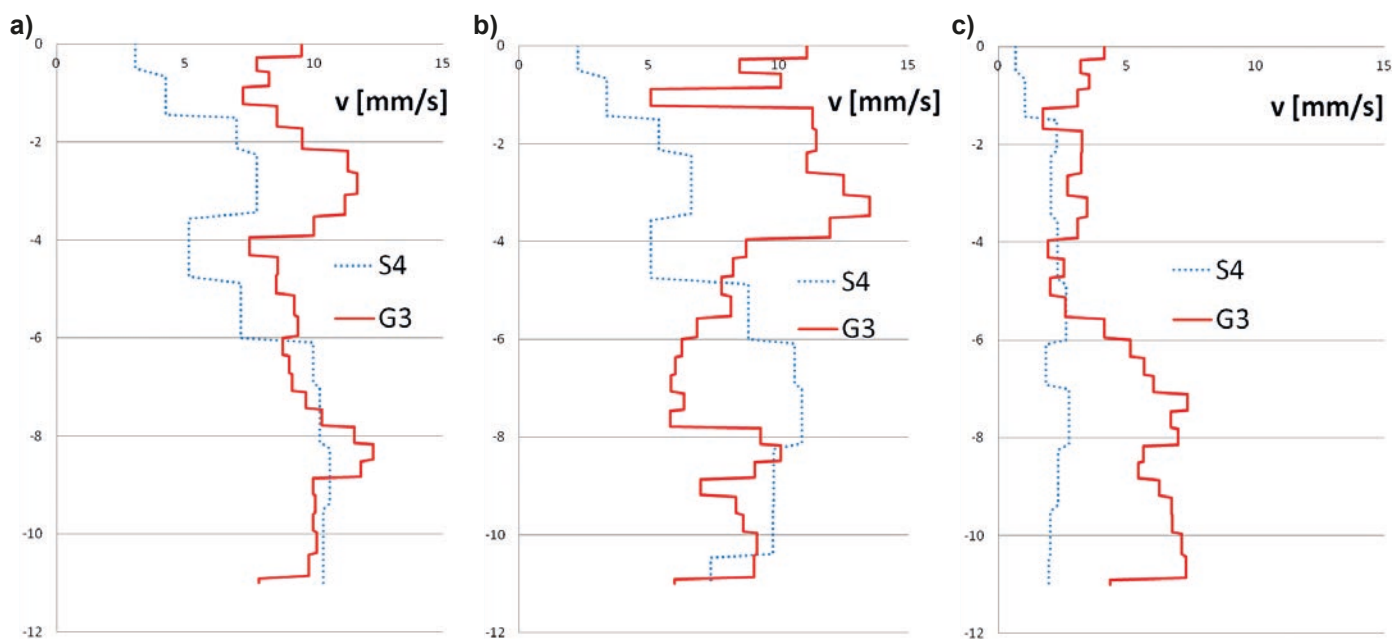
nowe grodzice rodzaju GU20N (rys. 2) o długości 12 m, masie 81,1 kg/mb i polu przekroju 103,2 cm². Pogrążano je wibromłotem rodzaju ICE 28 RF o częstotliwości drgań 38 Hz i amplitudzie drgań 11 mm. Grodzice były łączone na zamki bez użycia jakichkolwiek preparatów. Wyniki przedstawione na rys. 1c, 3 i 4 reprezentują efekty wbijania nowych grodzic GU20N oznaczonych symbolami G3 (bez modyfikacji) i S4 (z modyfikacją).

WYKONANIE ODWIERTÓW ROZPRĘŻAJĄCYCH GRUNT NA PRZYKŁADZIE BUDOWY W WARSZAWIE

Pomiary przeprowadzono bezpośrednio na placu budowy. Warunki gruntowe w tej lokalizacji można określić jako złożone. Według [11] wydzielono aż 8 warstw gruntu do głębokości 14 m składających się zarówno z gruntów niespoistych (warstwy



Rys. 3. Prędkości drgań w zależności od czasu zarejestrowane w kierunku X, w odległości 5 m, podczas wbijania grodzic G3 i S4 do głębokości 11 m



Rys. 4. Wykres zmiany amplitudy prędkości drgań w kierunku Z, Y i X (od lewej) wraz z głębokością w odległości 5 m

III, IV), jak i spoistych (warstwy II, V-VIII), przy jednoczesnym występowaniu trzech poziomów wodonośnych. Na rys. 5a, b i c przedstawiono przekrój geotechniczny z wybranymi parametrami gruntu oraz zmianę oporu stożka q_c i tarcia na tulei cierniej f_s sondy CPTU wraz z głębokością w rejonie, w sąsiedztwie którego wbijano grodzicę. Jednocześnie na rys. 5d i 6 zaprezentowano poziomy głębokości w [m], na których znajdowała się podstawa grodzicy w momencie pomiaru i odpowiadające im wartości prędkości amplitud drgań wyrażone w [mm/s]. Pomiary wykonano przy użyciu jednego geofonu zlokalizowanego w odległości 10 m od miejsca wbijania grodzic w kierunku prostopadłym do linii wbijania ścianki na wysokości pogrążanego brusa. Podczas pomiarów wbito łącznie 5 grodzic rodzaju GU16-400 długości 11 m, masie 62 kg/mb i polu przekroju 78,9 cm². Grodzice były wielokrotnie stosowane na innych budowach. Pierwszą - oznaczoną symbolem G, pogrążano bez wcześniejszego wykonania odwiertów rozprężających, a kolejne cztery (oznaczone symbolami GM1 ÷ GM4) w uprzednio wykonanych odwiertach o średnicy 500 mm w rozstawie co 1 m. Grodzice były łączone na zamki bez użycia jakichkolwiek preparatów. Do wbijania wykorzystano wibromłot ICE 32 Rf o częstotliwości drgań 33 Hz i amplitudzie 12,5 mm. Na rys. 7 przedstawiono przykładową zależność prędkości drgań od czasu zarejestrowaną w kierunku X (poprzednim do profilu pomiarowego) w odległości 10 m podczas wbijania grodzic G1 i GM1 do głębokości 11 m.

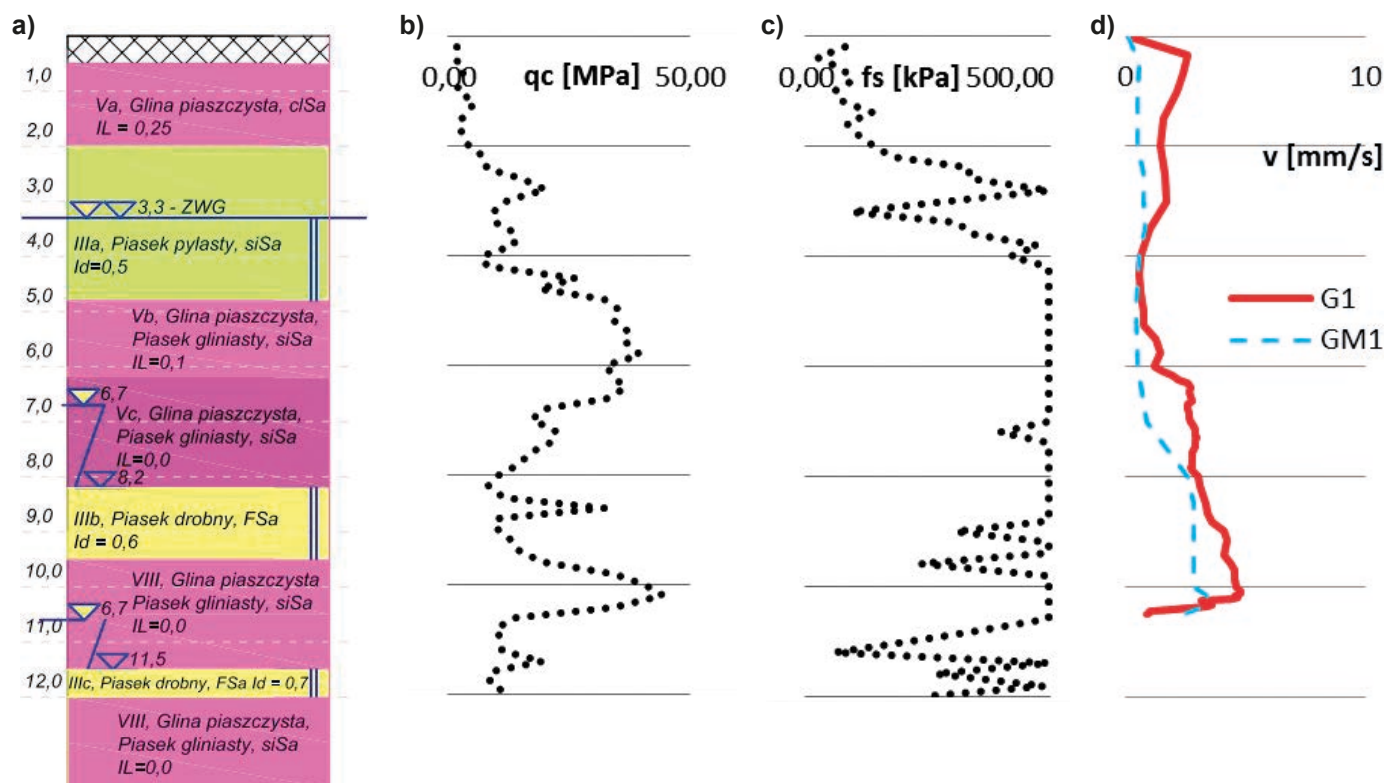
ANALIZA OTRZYMANYCH REZULTATÓW I WNIOSKI

Dotychczasowe pomiary własne Autorów świadczą jednoznacznie o znaczącej redukcji czasu wbijania grodzic stalowych

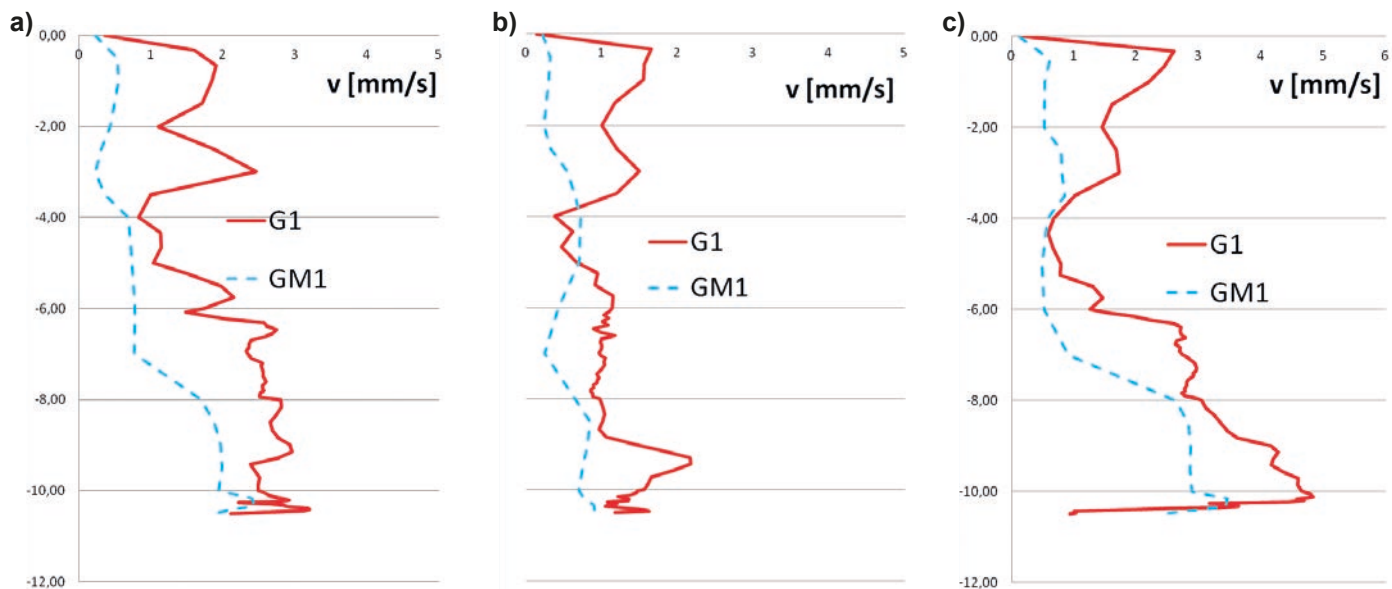
podczas ich pogrążania z zastosowaniem zabiegu podpłukiwania lub wcześniejszym wykonaniem odwiertów wstępnych oraz w ogóle możliwość ich wbicia w skrajnych przypadkach. Przekłada się to bezpośrednio na czas realizacji zadania oraz zmniejszenie uciążliwości robót budowlanych mogących mieć negatywny wpływ na otoczenie [3, 4].

Grodzicę oznaczoną symbolem S4, w przypadku której zastosowano zabieg podpłukiwania (rys. 2), pogrążono w czasie 102 s, podczas gdy grodzicę bez podpłukiwania oznaczoną symbolem G3 w czasie 282 s. Widać zatem wyraźnie, że podpłukiwanie w tym konkretnym przypadku prawie trzykrotnie przyspieszyło pogrążanie grodzicy (rys. 3). Jednocześnie zaobserwowano znaczną redukcję drgań podłoża gruntowego podczas pogrążania grodzicy S4 względem grodzicy G3 (rys. 3 i 4). Iloczyn pola powierzchni wykresu (rys. 4) przedstawiającego wartości prędkości drgań wraz z głębokością wbijanej grodzicy podpłukiwanej (S4) do pola powierzchni wykresu grodzicy G3 pogrążanej bez wspomagania wynosi 45%, 86% i 84% w kierunku odpowiednio X, Y, Z.

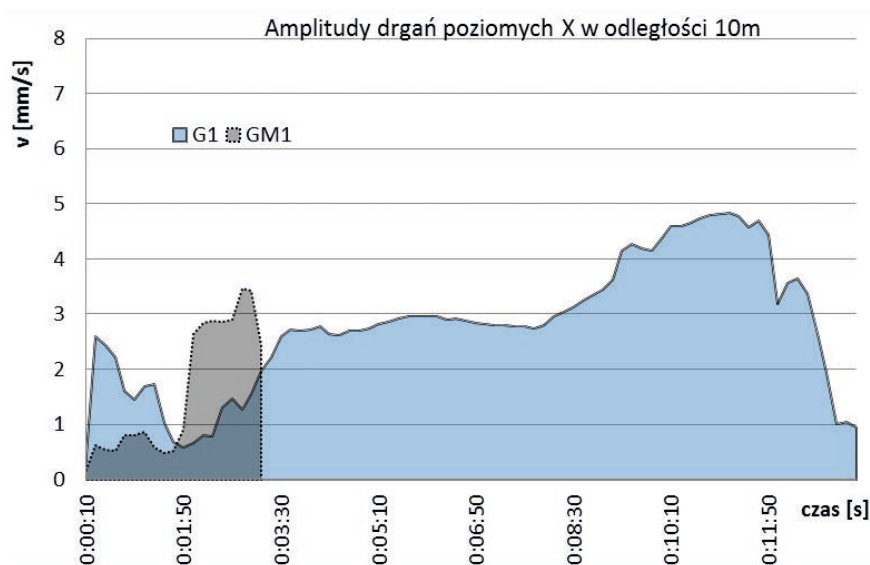
Grodzicę oznaczoną symbolem GM1, w przypadku której zastosowano zabieg odwiertów poprzedzających wbijanie, pogrążono w czasie 190 s, podczas gdy grodzicę bez stosowania odwiertów oznaczoną symbolem G1 w czasie 800 s, a zatem w tym konkretnym przypadku czterokrotnie wolniej (rys. 7). Zaobserwowano jednocześnie znaczną redukcję drgań podłoża gruntowego podczas pogrążania grodzicy GM1 względem grodzicy G1. Iloczyn pola powierzchni wykresu (rys. 6) przedstawiającego zmianę wartości prędkości drgań wraz z głębokością wbijanej grodzicy GM1 w miejscu odwiertu do pola powierzchni wykresu grodzicy G1 wynosi 57%, 50% i 49% w kierunku odpowiednio X, Y, Z.



Rys. 5. Przykładowe dane otrzymane na placu budowy w Warszawie: a) karta otworu geotechnicznego, b) rozkład oporu stożka q_c wraz z głębokością, c) rozkład tarcia na tulei cierniej f_s wraz z głębokością, d) wykres zmiany amplitudy drgań poziomych X wraz z głębokością w odległości 10 m



Rys. 6. Wykres zmiany amplitudy prędkości drgań w kierunku Z, Y i X (od lewej) wraz z głębokością w odległości 10 m



Rys. 7. Prędkości drgań w zależności od czasu zarejestrowane w kierunku X w odległości 10 m podczas wbijania grodzic G1 i GM1 do głębokości 11 m

W przypadku uzasadnionych wątpliwości, co do możliwości negatywnych oddziaływań wpływów dynamicznych podczas pograżania grodzic stalowych, zaleca się wykonanie monitoringu drgań sąsiedniej zabudowy i / lub pomiarów geodezyjnych tych obiektów lub samej zabudowy już w trakcie realizacji robót ziemnych.

Modyfikacja warunków gruntowych, pomimo oczywistych zalet, powinna być stosowana racjonalnie, z uwzględnieniem późniejszego sposobu pracy grodzic. Nie jest wskazane modyfikowanie warunków gruntowych w przypadku, gdy grodzice mają pełnić rolę posadowienia pośredniego budowli. Pogorszenie parametrów mechanicznych gruntu spowoduje jednoczesną redukcję nośności podłoża. W przypadku zastosowania ścianki z grodzic jako zabezpieczenia wykopu należy zwrócić szczególną uwagę na strefę zakotwienia ścianki, zwłaszcza jeżeli jest to ścianka wspornikowa. Nie zaleca się modyfikacji gruntu poniżej punktu zakotwienia ścianki wspornikowej, ponieważ taki zabieg zmniejszy wartość oporu gruntu i może spowodować nadmierne ugięcie ścianki z grodzic, a w skrajnym przypadku awarię

zabezpieczenia wykopu. W przypadku wykonania odwiertów należy wykonywać je etapowo, np. w sposób analogiczny do sekcji ścian szczelinowych. Niedopuszczalne jest wykonanie odwiertów na całej długości planowanego zabezpieczenia, zwłaszcza w przypadku bliskiego sąsiedztwa obiektów budowlanych. Może to spowodować przemieszczenie boczne masywu gruntowego lub wysypanie się gruntu spod fundamentu istniejącej konstrukcji, zanim zostanie wykonane zabezpieczenie wykopu w miejscu wcześniejszych odwiertów.

PODSUMOWANIE

Badania przeprowadzone przez autorów przedstawione w pracy wskazują jednoznacznie na możliwości znacznego zwiększenia wydajności robót polegających na wbijaniu grodzic metodą wibracyjną dzięki zastosowaniu modyfikacji gruntu. Zabieg ten polegający na ciśnieniowym podplukiwaniu podstawy

grodzicy lub wykonaniu odwiertów wstępnych zmniejsza jednocześnie niekorzystne wpływy drgań na otoczenie zarówno poprzez zredukowanie samej amplitudy drgań, jak i znaczące zredukowanie czasu pograżania grodzic.

LITERATURA

1. Bzówka J.: Współpraca kolumn wykonywanych techniką iniekcji strumieniowej z podłożem gruntowym. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
2. Holeyman A. E.: Soil behaviour under Vibratory Driving. Vibratory Pile Driving and Deep Soil Compaction – Transvib 2002, 3-19.
3. Jaroń A.: Analiza wpływu wplukiwania grodzic stalowych w gruntach niespoistych na wartość amplitudy drgań na powierzchni gruntu. XIV Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziału Budownictwa, Szczyrk, 8-9 maja 2014.
4. Jastrzębska M., Łupieżowiec M., Uliniarz R., Jaroń A.: Analysis of the vibration propagation in the subsoil. *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. XXXVI, No. 3, 9-18 (DOI: 10.2478/sgem-2014-0023), 2014.
5. Rockhill D. J., Bolton M. D., White D. J.: Ground – borne vibrations due to press – in piling operations. Cambridge University Engineering Department, British Geotechnical Association International Conference on Foundations, Dundee, UK, 2003.
6. Rybak J.: Stalowe ścianki szczelne. KURS PZWFS „Głębokie wykopy w zwartej zabudowie i ich obudowa” Miedzeszyn, listopad 2009, 38-59.
7. Sobala D.: Trwałe zabezpieczenia wykopów przy użyciu palisad stalowych, Seminarium IBDiM I PZWFS – Warszawa, marzec 2013, Głębokie Wykopy wrzesień 2013, 67-84.
8. Viking, K.: Vibro – Driveability – a field study of vibratory driven sheet piles in non-cohesive soils, Ph.D. Thesis 2002, Div. of Soil and Rock Mechanics, Royal Inst. of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
9. Zeilinger H.: The Vibro-jetting driving method, International Foundation, Congress and Equipment Expo, „Contemporary Topics in Deep Foundations”, Publications (GSP) 18, ASCE, 2009, 311-319.
10. PN-EN 12063 Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych Ścianki szczelne, luty 2001.
11. Dokumentacja geologiczno-inżynierska ustalająca geotechniczne warunki posadowienia budynków biurowych przy ul. Konstruktorskiej 10 na terenie Dzielnicy Mokotów m. st. Warszawy, Zakład Badań Geotechnicznych „Geotest”, Warszawa grudzień 2010.

**Badania przeprowadzono dzięki współpracy z firmą Zakład Robót Inżynierskich Henryk Chrobok i Hubert Chrobok sp. j.
Autor na łamach niniejszego artykułu składa podziękowanie i wdzięczność za umożliwienie przeprowadzenia badań.**