

WIARYGODNOŚĆ POMIARU DRGAŃ POWIERZCHNIOWYCH GRUNTU

Krzysztof R. Czech, Wojciech Gosk

Politechnika Białostocka, Białystok

Streszczenie. W pracy analizowano wpływ sposobu mocowania akcelerometrów na gruncie na poziom rejestrowanych wartości przyspieszeń drgań. Czujniki mocowano do podłoża na sześć sposobów: przy wykorzystaniu niekotwionej podstawy płytowej, kotwionej lub nie kotwionej podstawy płytowej z głowicą aluminiową w kształcie walca, podstawy pierścieniowej kotwionej w gruncie za pomocą trzech prętów, podstawy krzyżakowej kotwionej w gruncie za pomocą czterech prętów z głowicą aluminiową oraz umieszczonej na pewnej głębokości głowicy aluminiowej. Dla części podstaw pomiarowych badania przeprowadzono z wykorzystaniem dwóch typów czujników przyspieszeń. W wyniku przeprowadzonych badań wykazano, że sposób mocowania czujników do powierzchni terenu ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia wiarygodności realizowanych pomiarów. Wskazano najlepszy, zdaniem autorów, sposób zespolenia czujników z gruntem. Uzyskiwane wartości przyspieszeń drgań mogą stanowić podstawę do przeprowadzania wiarygodnych analiz propagacji drgań w podłożu gruntowym, a także służyć rozwojowi metod oceny sztywności podłoża przy wykorzystaniu sejsmiki powierzchniowej.

Słowa kluczowe: drgania powierzchniowe, ośrodek gruntowy, propagacja drgań, akcelerometr

WSTĘP

Eurokod 7 porusza tematykę analizy drgań w gruncie, odnosząc się do trzech kryteriów projektowych – nieprzekraczania nadmiernych wartości osiadań fundamentów pod wpływem drgań, unikania częstotliwości rezonansowych układu fundament-podłoże oraz możliwości upłynnienia gruntu. Problem jednakże w tym, iż ani Eurokod 7, ani inne unormowania i wytyczne do projektowania (zarówno krajowe, jak i zagraniczne) nie precyzują metodyki wiarygodnego sposobu prowadzenia pomiarów dynamicznych propagacji drgań powierzchniowych w ośrodku gruntowym.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Krzysztof R. Czech, Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Mechaniki Konstrukcji, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, e-mail: k.czech@pb.edu.pl

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2016

Zagadnienie jest szczególnie istotne w przypadku prognozowania wpływu (istniejącego lub hipotetycznego) źródła drgań przenoszonych drogą gruntową na budowlę, która ma powstać w danej lokalizacji, prognozowania wpływu drgań na maszyny i urządzenia pracujące wewnątrz budynku lub konieczności przeprowadzenia oceny szkodliwości drgań na jego przyszłych użytkowników.

Czujniki wykorzystywane do pomiarów drgań nie mogą w sposób bezpośredni być ustawiane na gruncie. Takie rozwiązanie, nawet w przypadku czujników pomiarowych, charakteryzujących się znacznymi masami, nie zapewnia odpowiedniego stopnia ich powiązania z ośrodkiem gruntowym. Również umieszczanie czujników pomiarowych na pewnej głębokości w gruncie ma swoje wady, gdyż wiąże się z istotnym naruszeniem pierwotnego stanu ośrodka gruntowego w miejscu przyjętego punktu pomiarowego oraz w jego bezpośrednim otoczeniu, co może mieć znaczący wpływ na poziom i rzeczywiste tłumienie rejestrowanych drgań. Z tego powodu w badaniach propagacji drgań w gruncie zwykle wykorzystywane są specjalnie konstruowane podstawy do mocowania czujników na gruncie z jednym lub kilkoma prętami zagłębianymi w ośrodku gruntowym. Pomimo licznych prac z zakresu propagacji drgań w gruncie (między innymi Athanasopoulos i Pelekis [2000], Hao i in. [2001], Maciąg i in. [2005], Cenek i Sutherland [2012], Kawecki i Stypuła [2013]) oraz unormowań (także krajowych [PN-85/B-02170, PN-88/B-02171]) brakuje opracowań, w których byłyby zawarte szczegółowe wytyczne dotyczące jednoznacznie poprawnego sposobu mocowania czujników na gruncie, lub prac, w których zamieszczono przydatne informacje o ewentualnym wpływie danego sposobu realizacji pomiarów na poziom rejestrowanych parametrów drgań ośrodka gruntowego. Brak wytycznych w tym zakresie może prowadzić do istotnych rozbieżności w wynikach pomiarów prowadzonych w porównywalnych warunkach (rodzaj i stan gruntu, jego wilgotność, temperatura powietrza itp.).

Celem niniejszej pracy jest ocena wpływu wybranych sposobów mocowania akcelerometrów na gruncie na poziom rejestrowanych przyspieszeń drgań powierzchniowych. Cel ten wynika z faktu, że autorzy pracy są zainteresowani wiarygodną oceną propagacji drgań w podłożu w zakresie oceny ich szkodliwości. Potrzebują również bardzo dokładnych wartości pomiarowych w kontekście rozwoju metod powierzchniowych oceny parametrów podłoża gruntowego.

METODYKA BADAŃ

Mocowanie czujników

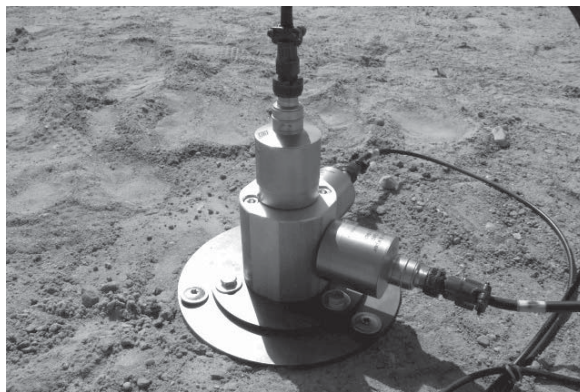
Wcześniejsze badania autorów [Czech i Gosk 2014] wykazały, że zarówno mocowanie czujników pomiarowych do pojedynczych prętów o przekroju kołowym uprzednio zagłębianych w gruncie, jak i mocowanie czujników do masywnych elementów betonowych umieszczanych bezpośrednio na gruncie nie mogą być uznane za poprawny sposób rejestracji drgań powierzchniowych ośrodka gruntowego. W pierwszym przypadku, niezależnie od długości prętów kotwiących oraz sposobu ich zagłębiania w gruncie, każdorazowo stwierdzono nieznaczną podatność podstawy na ruch w płaszczyźnie poziomej, co ewidentnie wskazuje na wzmiankowaną w pracy Maciąg i in. [2005] podatność tego

typu podstaw na drgania charakterystyczne dla elementów typu wspornikowego. W przypadku pomiarów drgań powierzchniowych realizowanych z wykorzystaniem czujników przyspieszeń mocowanych do masywnych elementów umieszczanych bezpośrednio na gruncie (w analizowanym przypadku była to betonowa płyta chodnikowa, tzw. trylinka), w zależności od intensywności i częstotliwości propagowanych drgań w gruncie, stwierdzono [Czech i Gosk 2014], iż tego typu podstawa może zarówno znacząco intensyfikować, jak i tłumić drgania. W związku z powyższym już na etapie planowania niniejszych badań wykluczono powyższe dwa sposoby realizacji pomiarów jako mało wiarygodne.

W pracy przyjęto, że pomiary i analiza wpływu sposobu mocowania czujników na gruncie na rejestrowane wartości przyspieszeń drgań powierzchniowych zostanie przeprowadzona dla:

- niekotwionej stalowej podstawy płytowej z miniaturowym trójosiowym czujnikiem przyspieszeń (sposób nr 1),
- niekotwionej stalowej podstawy płytowej z głowicą aluminiową w kształcie walca i trzech czujników jednoosiowych (sposób nr 2),
- trójpunktowo kotwionej w gruncie stalowej podstawy płytowej z głowicą aluminiową w kształcie walca i trzech czujników jednoosiowych (sposób nr 3 – rys. 1),
- trójpunktowo kotwionej w gruncie stalowej podstawy pierścieniowej i trzech czujników jednoosiowych (sposób nr 4 – rys. 2),
- czteropunktowo kotwionej w gruncie podstawy krzyżakowej z głowicą aluminiową w kształcie walca i trzech czujników jednoosiowych (sposób nr 5 – rys. 2),
- zakopanej w gruncie (na głębokości ok. 20 cm) aluminiowej głowicy w kształcie walca z przykręconymi trzema jednoosiowymi czujnikami przyspieszeń drgań (sposób nr 6 – rys. 3).

W przypadku podstawy płytowej pręty kotwiące wkręcano w grunt. W pozostałych przypadkach pręty zagłębiano w gruncie poprzez ich wbijanie. Pręty kotwiące, niezależnie od sposobu ich zagłębiania w gruncie, miały jednakową długość ($L = 30$ cm).



Rys. 1. Trójpunktowo kotwiona podstawa płytowa z głowicą aluminiową (sposób nr 3) z zamontowanymi czujnikami typu 8340 firmy Brüel & Kjær

Fig. 1. The three-point anchored base plate with aluminum head (method No. 3) with sensors from Brüel & Kjær type 8340

W przypadku podstaw pomiarowych nr 3 i 4 pomiary realizowano przy wykorzystaniu dwóch typów czujników jednoosiowych – zróżnicowanych zarówno pod względem masy, jak i zakresu rejestrowanych parametrów drgań. Wybrane sposoby realizacji pomiaru drgań powierzchniowych pokazano na rysunkach od 1 do 4.



Rys. 2. Trójpunktowo kotwiona podstawa pierścieniowa (sposób nr 4) z czujnikami typu 8340 firmy Brüel & Kjær
Fig. 2. The three-point anchored base ring (method No. 4) with mounted Brüel & Kjær sensors type 8340



Rys. 3. Czteropunktowo kotwiona podstawa krzyżakowa (sposób nr 5) z czujnikami typu 8340 firmy Brüel & Kjær
Fig. 3. The four-point anchored cross-base (method No. 5) with mounted Brüel & Kjær sensors type 8340



Rys. 4. Czujniki jednoosiowe typu 8340 firmy Brüel & Kjær przykręcone do aluminiowej głowicy i zakopane w gruncie (sposób nr 6)
Fig. 4. The uniaxial Brüel & Kjær sensors type 8340 bolted to the aluminum head and buried in ground (method No. 6)

Lokalizacja pomiarowa

Planowany zakres badań wymagał przyjęcia lokalizacji pomiarowej charakteryzującej się dużą jednorodnością rodzaju i stanu gruntu, bez widocznych przewarstwień czy innego rodzaju wtrąceń. Odpowiednie warunki gruntowe (mało wilgotne piaski fSa/siSa (P_d/P_π) w stanie średnio zagęszczonym, o dużej jednorodności do głębokości dwóch metrów) reprezentuje poletko doświadczalne na terenie kopalni odkrywkowej zlokalizowanej w województwie podlaskim, w pobliżu miejscowości Bobrowa. Na terenie kopalni na głębokości 2,0 m zalega swobodne zwierciadło wody gruntowej. Nie stwierdzono występowania jakichkolwiek przewarstwień ani wtrąceń.

Aparatura badawcza oraz profil pomiarowy

Wiarygodność rejestrowanych sygnałów podczas badań zapewniono dzięki wykorzystaniu układu pomiarowego typu LAN-XI firmy Brüel & Kjær, złożonego z dwóch 6-kanałowych, 24-bitowych modułów pomiarowych typu 3050-B-060 z dynamiką wejść na poziomie 160 dB, pięciomodułowej kasety typu 3660C, dwóch modułów baterii typu 2831-A oraz komputera przenośnego typu notebook z zainstalowanym oprogramowaniem rejestratora sygnałów i oprogramowaniem do analiz w czasie rzeczywistym (PULSE i REFLEX).

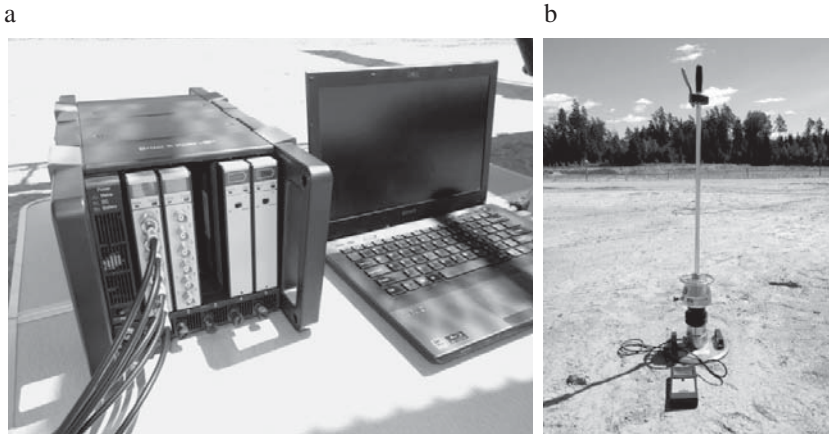
W pomiarach wykorzystano trzy typy czujników:

- jednoosiowe, niskoczęstotliwościowe piezoelektryczne przetworniki przyspieszeń drgań typu 8340 firmy Brüel & Kjær o czułości $10 \text{ V}\cdot\text{g}^{-1}$, zakresie pomiarowym $\pm 0,5 \text{ g}$ w przedziale częstotliwości $0,1\div 1500 \text{ Hz}$ ($\pm 10\%$) i masie 775 g,
- jednoosiowe piezoelektryczne przetworniki przyspieszeń drgań typu 3187D firmy Dytran o czułości $0,5 \text{ V}\cdot\text{g}^{-1}$, zakresie pomiarowym $\pm 10 \text{ g}$ w przedziale częstotliwości $0,48\div 1000 \text{ Hz}$ ($\pm 5\%$) i masie 122 g,
- trójosiowy piezoelektryczny przetwornik przyspieszeń drgań typu 356B18 firmy PCB o czułości $1,0 \text{ V}\cdot\text{g}^{-1}$, zakresie pomiarowym $\pm 5 \text{ g}$ w przedziale częstotliwości $0,5\div 3000 \text{ Hz}$ ($\pm 5\%$) i masie 25 g.

Jako źródło drgań zastosowano lekką płytę dynamiczną typu ZFG-01 (zwaną również lekkim ugięciomierzem udarowym), generującą pojedyncze impulsy w wyniku kontrolowanego spadku masy 10 kg z wysokości 0,83 m. Tego typu urządzenia są powszechnie wykorzystywane w badaniach modułu odkształcenia podłoża gruntowego (E_{vd}) i kontroli zagęszczenia nasypów oraz stanowią odpowiednio stabilne i powtarzalne źródło drgań impulsowych. Układ pomiarowy oraz wykorzystywane w badaniach powtarzalne źródło drgań pokazano na rysunku 5.

Przyjęto, że podstawy pomiarowe będą rozmieszczone promieniście w dwóch punktach pomiarowych (p.p.) oddalonych odpowiednio o 5,0 m (1 p.p.) i 10,0 m (2 p.p.) od powtarzalnego źródła drgań, a drgania będą rejestrowane w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach: poprzecznym (x – prostopadłym do przyjętego profilu pomiarowego), radialnym (y – w kierunku przyjętego profilu pomiarowego) oraz pionowym (z).

W związku z impulsowym charakterem generowanych drgań rejestrację sygnałów każdorazowo prowadzono z rozdzielczością 4096 próbek na sekundę.



Rys. 5. Układ pomiarowy typu LAN-XI firmy Brüel & Kjær (a) i lekka płyta dynamiczna typu ZFG-01 (b)

Fig. 5. The measurement system from Brüel & Kjær type LAN-XI (a) and light falling weight deflectometer type ZFG-01 (b)

WYNIKI BADAŃ

W przypadku każdego z analizowanych w pracy sposobów realizacji pomiarów drgań powierzchniowych propagowanych w ośrodku gruntowym rejestrowano po 6 niezależnych przebiegów czasowych przyspieszeń drgań generowanych pojedynczymi impulsami z lekkiej płyty dynamicznej (tab. 1 i 2). Na potrzeby niniejszej pracy łącznie zarejestrowano ponad 270 akcelerogramów.

Tabela 1. Trójpunktowo kotwiona w gruncie stalowa podstawa płytowa z głowicą aluminiową i trzema czujnikami jednoosiowymi firmy Dytran typu 3187D – sposób nr 3A [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$]

Table 1. The three-point anchored in the ground steel base plate with aluminum head and three uniaxial sensors from Dytran type 3187D – method No. 3A [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$]

Lp. No.	$L_1 = 5,0 \text{ m}$ (1 p.p. – MP1)			$L_2 = 10,0 \text{ m}$ (2 p.p. – MP2)		
	x	y	z	x	y	z
1	295	717	442	176	455	299
2	279	707	464	200	507	327
3	352	573	469	200	488	299
4	435	674	483	216	485	284
5	467	657	469	222	495	298
6	455	677	484	194	485	280
Średnia arytmetyczna Arithmetic average	381	668	469	201	486	298
Odchylenie standardowe Standard deviation	83	51	15	16	17	17

Dla każdego z zarejestrowanych akcelerogramów wyznaczono szczytowe wartości przyspieszeń drgań i zestawiono w formie tabelarycznej dla każdego z analizowanych kierunków pomiarowych (x , y i z) w funkcji odległości od źródła drgań ($L_1 = 5 \text{ m} - 1 \text{ p.p.}$ i $L_2 = 10 \text{ m} - 2 \text{ p.p.}$). Dane w ramach poszczególnych serii pomiarowych (z sześciu pomiarów) uśredniono oraz wyznaczono odpowiadające im odchylenia standardowe, które najlepiej obrazują rozrzuty zarejestrowanych wartości wokół wartości średnich. Przykładowe zestawienia uzyskanych wartości szczytowych przyspieszeń drgań zamieszczono w tabelach 1 i 2.

Tabela 2. Zakopana w gruncie aluminiowa głowica z trzema jednoosiowymi czujnikami przyspieszeń firmy B&K typu 8340 – sposób nr 6 [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$]

Table 2. The aluminum measurement head buried in the ground with three uniaxial sensors from B&K type 8340 – method No. 6 [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$]

Lp. No.	$L_1 = 5,0 \text{ m (1 p.p.)} - (\text{MP1})$			$L_2 = 10,0 \text{ m (2 p.p.)} - (\text{MP2})$		
	x	y	z	x	y	z
1	233	291	633	203	193	325
2	284	324	630	203	197	355
3	416	315	670	303	204	352
4	355	314	650	215	198	347
5	256	330	660	235	198	349
6	428	318	652	286	200	337
Średnia arytmetyczna Arithmetic average	329	315	649	241	198	344
Odchylenie standardowe Standard deviation	83	13	15	44	4	11

DYSKUSJA

Pomimo dużej powtarzalności uzyskanych wartości szczytowych przyspieszeń drgań w ramach poszczególnych serii pomiarowych (na co wskazują małe wartości odchyżeń standardowych w stosunku do wartości średnich) wyniki badań wskazują na znaczne ich zróżnicowanie. Wartości zarejestrowanych amplitud przyspieszeń drgań wydają się zależeć zarówno od tego, czy podstawa była kotwiona, czy też nie, liczby zastosowanych prętów kotwiących, jak i typu zastosowanych czujników. Zwierciadło wody gruntowej w kontekście prowadzonych badań, zdaniem autorów, ma niewielki wpływ na poziom rejestrowanych drgań, gdyż dominujące w przypadku drgań powierzchniowych amplitudy fal Rayleigha (zarówno poziome, jak i pionowe) zanikają bardzo szybko wraz z głębokością.

W celu przeprowadzenia analizy porównawczej i wyboru sposobu rejestracji przyspieszeń drgań powierzchniowych, najkorzystniejszego pod względem wiarygodności rejestrowanych danych, niezbędne było przyjęcie odpowiedniego kryterium porównawczego. W związku z bardzo niskim poziomem tłumienia materiałowego podstaw pomiarowych (stal, aluminium) i równie niskim poziomem tłumienia konstrukcyjnego, których

całkowite tłumienie nie może przekraczać kilku procent, oraz tendencją podstaw pomiarowych sztywno połączonych z prętami kotwiącymi w gruncie do intensyfikacji drgań (charakterystycznej dla układów wspornikowych) za najbardziej wiarygodne uznano najmniejsze zarejestrowane wartości szczytowe przyspieszeń drgań. Powyższe założenie wydaje się być zasadne pod warunkiem zapewnienia odpowiedniego stopnia „związania” podstaw pomiarowych z ośrodkiem gruntowym, co z pewnością miało miejsce w przypadku podstaw kotwionych w gruncie za pomocą trzech lub czterech prętów.

Za poziom odniesienia przyjęto uśrednione wartości szczytowe przyspieszeń drgań ze wszystkich przeprowadzonych pomiarów (z ośmiu serii pomiarowych). W wyniku porównania uśrednionych wartości szczytowych przyspieszeń drgań zarejestrowanych w ramach poszczególnych serii pomiarowych z przyjętym poziomem odniesienia wyznaczono wyrażone w procentach przyrosty (+) lub spadki (–) wartości szczytowych względem poziomu odniesienia niezależnie dla każdego z analizowanych w pracy kierunków i punktów pomiarowych. Szczegółowe wyniki porównania zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Porównanie wartości szczytowych przyspieszeń drgań z poszczególnych serii pomiarowych z przyjętym poziomem odniesienia

Table 3. The comparison of peak accelerations from the individual measurement series with the accepted reference level

Rodzaj podstawy i typ czujników The type of bases and sensors	Przyrost (+) / spadek (–) wartości [%] Increase (+) / decrease (–) of values [%]					
	$L_1 = 5,0$ m (1 p.p. – MP1)			$L_2 = 10,0$ m (2 p.p. – MP2)		
	x	y	z	x	y	z
1	+54%	+54%	+90%	–	–	–
2	–4%	–6%	+60%	–20%	+25%	+25%
3A	–14%	+6%	–32%	–16%	+30%	–6%
3B	–27%	+38%	–26%	+22%	+51%	–5%
4A	–30%	–43%	–31%	–8%	–25%	–1%
4B	–19%	–48%	–28%	+19%	–7%	–2%
5	+66%	+49%	–29%	+2%	–26%	–20%
6	–26%	–50%	–5%	+1%	–47%	+9%
Uśrednione wartości szczytowe przyspieszeń drgań [mm·s ^{–2}] Average values of peak accelerations [mm·s ^{–2}]	442	630	685	239	374	317
Uśrednione odchylenia standardowe [mm·s ^{–2}] Average standard deviations [mm·s ^{–2}]	86	37	34	21	12	14

Jak wynika z prezentowanego w tabeli 3 zestawienia, w przypadku niekotwionej i praktycznie nieobciążonej płyty stalowej (sposób nr 1) uzyskano wartości szczytowe przyspieszeń drgań większe nawet o 90% od przyjętego poziomu odniesienia w kierunku pionowym (z) oraz o ponad 54% w płaszczyźnie poziomej, co praktycznie dyskwalifikuje możliwość wykorzystania tego sposobu rejestracji drgań powierzchniowych w badaniach *in situ*. W przypadku znacznie cięższego układu pomiarowego w postaci niekotwionej płyty stalowej z głowicą aluminiową i trzema masywnymi przetwornikami (sposób nr 2) również nie zapewniono odpowiedniego stopnia „związania” podstawy pomiarowej z gruntem, na co wskazują wartości szczytowe przyspieszeń drgań wyznaczone w kierunku pionowym (od 25 do 60% większe od przyjętego poziomu odniesienia). W pozostałych przypadkach praktycznie każdorazowo mamy do czynienia z wartościami szczytowymi przyspieszeń drgań propagowanych w gruncie (w dalszej części pracy w uproszczeniu zwanych przyspieszeniami) w kierunku pionowym (z) poniżej przyjętego poziomu odniesienia. Wyjątkiem są przyspieszenia rejestrowane przy wykorzystaniu niekotwionej podstawy pomiarowej z czujnikami zakopanymi w gruncie (sposób nr 6) w drugim punkcie pomiarowym (2 p.p. – $L_2 = 10$ m), w którym to przypadku odnotowano nieznaczny wzrost przyspieszeń (+9%) w stosunku do przyjętego poziomu odniesienia. Konieczność umieszczenia podstawy pomiarowej z czujnikami na pewnej głębokości w gruncie i późniejsze ręczne zagęszczanie gruntu (ryzyko uszkodzenia czujników i okablowania) także może mieć wpływ na poziom rejestrowanych przyspieszeń. Niewłaściwie zagęszczony grunt w bezpośrednim otoczeniu czujników może skutkować znacznie większym tłumieniem drgań w gruncie i w konsekwencji przyczynić się do rejestracji drgań o znacznie mniejszej intensywności niż drgania rzeczywiście propagowane w ośrodku gruntowym. Najprawdopodobniej właśnie zwiększonym tłumieniem niedostatecznie zagęszczonego gruntu należy tłumaczyć najmniejsze wartości przyspieszeń drgań propagowanych w kierunku radialnym w przypadku tego typu podstaw pomiarowych (sposób nr 6).

Analiza porównawcza wartości szczytowych przyspieszeń drgań zarejestrowanych przy wykorzystaniu podstawy krzyżakowej z głowicą aluminiową i kotwionej czterema prętami (sposób nr 5) wskazuje, że ten sposób pomiaru zapewnia praktycznie najlepsze „związanie” podstawy pomiarowej z gruntem w kierunku pionowym (z), co jest szczególnie widoczne w przypadku przyspieszeń drgań rejestrowanych w drugim punkcie pomiarowym (wartości przyspieszeń drgań mniejsze nawet o 20% od przyjętego poziomu odniesienia). Jednakże w tym przypadku stwierdzono także znacznie zawyżone wartości przyspieszeń drgań propagowanych w płaszczyźnie poziomej, zwłaszcza w punkcie pomiarowym oddalonym o 5 m od źródła drgań (od 49 do 66% większe od przyjętego poziomu odniesienia). Zdaniem autorów niniejszej pracy może to być spowodowane niewystarczająco sztywnym (jednopunktowym) połączeniem podstawy krzyżakowej z głowicą, do której przykręcono czujniki pomiarowe oraz zbyt dużym wyniesieniem nad poziom gruntu środka ciężkości układu trzech masywnych czujników jednoosiowych przykręconych do głowicy, które pomimo dużej sztywności całego układu pomiarowego najwyraźniej podlegały drganiom charakterystycznym dla układów wspornikowych.

Porównanie wartości szczytowych przyspieszeń drgań zarejestrowanych przy wykorzystaniu podstaw pomiarowych nr 3 i 4 wskazuje, że w przypadku masywnych czujników sejsmicznych typu 8340 firmy B&K (wykorzystywanych w seriach pomiarowych nr 3B i 4B) zazwyczaj mamy do czynienia z większymi wartościami przyspieszeń drgań propagowanych w płaszczyźnie poziomej niż w przypadku pomiarów prowadzonych

z wykorzystaniem tego samego typu podstaw z zamontowanymi lżejszymi (ponad sześciokrotnie) czujnikami typu 3187D firmy Dytran (serie pomiarowe nr 3A i 4A). Masa czujników wydaje się nie mieć natomiast znaczenia w przypadku wartości szczytowych przyspieszeń drgań rejestrowanych w kierunku pionowym (z) przy wykorzystaniu trójpunktowo kotwionych podstaw pomiarowych.

Największe różnice w poziomie drgań rejestrowanych przy wykorzystaniu podstaw pomiarowych nr 3 i 4 występują w kierunku radialnym y . W przypadku podstawy pomiarowej nr 3 (trójpunktowo kotwiona płyta stalowa z głowicą aluminiową) wartości przyspieszeń drgań wydają się być znacznie zawyżone względem przyjętego poziomu odniesienia. Może to być również spowodowane większą bezwładnością wystającej ponad poziom gruntu głowicy aluminiowej z przykręconymi do niej czujnikami (podobnie jak w przypadku podstawy krzyżakowej).

Mając na względzie bardzo dobre „zespole” układu pomiarowego z ośrodkiem gruntowym oraz biorąc pod uwagę wartości szczytowe rejestrowanych przyspieszeń drgań na jednym z najniższych poziomów, należy uznać, iż sposób pomiaru nr 4A (trójpunktowo kotwiona podstawa pierścieniowa z czujnikami typu 3187D firmy Dytran) jest najbardziej wiarygodnym sposobem rejestracji drgań w zakresie realizacji pomiarów opisanych w niniejszej pracy.

PODSUMOWANIE

Opisane w niniejszej pracy badania i analizy porównawcze zarejestrowanych wartości szczytowych przyspieszeń drgań powierzchniowych generowanych w ośrodku gruntowym pojedynczym udarem i rejestrowanych na kilka różnych sposobów w dwóch punktach pomiarowych (promieniście oddalonych od źródła drgań odpowiednio o 5,0 i 10,0 m) oraz w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach (x , y i z), w sposób ewidentny wskazują na znaczne rozbieżności wyników, zwłaszcza w przypadku wartości przyspieszeń drgań rejestrowanych w płaszczyźnie poziomej w kierunkach x i y , które są najistotniejsze z punktu widzenia ewentualnego wpływu drgań przenoszonych drogą gruntową na budynki.

Szczegółowa analiza szczytowych wartości przyspieszeń drgań, rozpatrywanych niezależnie dla każdego z przyjętych kierunków pomiarowych, wskazuje na największą wiarygodność danych zarejestrowanych przy wykorzystaniu trójpunktowo kotwionej podstawy pierścieniowej z zamontowanymi akcelerometrami typu 3187D firmy Dytran (sposób pomiaru nr 4A).

Przeprowadzone analizy porównawcze nie obejmowały jednakże analiz rozkładów częstotliwościowych rejestrowanych sygnałów, które wymagają osobnego opracowania przy znacznie zawężonym zakresie danych (dla wybranych typów podstaw pomiarowych). Niniejsza praca wskazuje na konieczność prowadzenia dalszych, zakrojonych na szerszą skalę badań związanych z zagadnieniem wpływu sposobu realizacji pomiarów na wiarygodność rejestrowanych parametrów przyspieszeń drgań powierzchniowych propagowanych w ośrodku gruntowym. Dalsze prace badawcze nad powyższym zagadnieniem powinny uwzględniać optymalizację proporcji w zakresie wymiarów i mas elementów składowych odpowiedniej „kotwy” gruntowej, jak również opracowanie rozwiązania charakteryzującego się stosunkowo prostym i jednocześnie precyzyjnym sposobem montażu podstaw pomiarowych na gruncie.

PIŚMIENNICTWO

- Athanasopoulos, G.A., Pelekis, P.C. (2000). Ground vibrations from sheetpile driving in urban environment: measurements, analysis and effects on buildings and occupants. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, 371–387.
- Cenek, P.D., Sutherland, A.J. (2012). Ground vibration from road construction. New Zealand Transport Agency Research, Report 485.
- Czech, K.R., Gosk, W. (2014). Wpływ sposobu mocowania akcelerometrów na poziom rejestrowanych drgań powierzchniowych ośrodka gruntowego. *Biuletyn WAT*, 63, 3, 65–78.
- Hao, H., Ang, T.C., Shen, J. (2001). Building vibration to traffic-induced ground motion. *Building and Environment*, 36, 321–336.
- Kawecki, J., Stypuła, K. (2013). Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne. Politechnika Krakowska, Kraków.
- Maciąg, E., Tatar, T., Chełmecki, J. (2005). Badania drgań gruntu i niskich budynków od wpływu komunikacji miejskiej. *Inżynieria i Budownictwo*, 3, 135–140.
- PN-85/B-02170. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
- PN-88/B-02171. Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.

ADNOTACJA

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WBiIŚ/5/2013 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

THE CREDIBILITY OF MEASUREMENT OF SURFACE VIBRATIONS

Abstract. The influence of the method of attachment of accelerometers to the ground on the recorded level of vibration accelerations is analyzed in the paper. Transducers were mounted to the ground in six different ways – using measuring bases in shape of a plate without any anchoring, anchored or not plate bases with an aluminum cylindrical heads, metal base rings with three pins, cross-bases with four pins and aluminum cylindrical heads and aluminum cylindrical heads buried at a certain depth in ground as well. In case of few measuring bases measurements were conducted using two types of accelerometers. The studies demonstrated that the method of attaching of accelerometers to the ground is crucial for the credibility of measurements. The best way of interconnecting transducers with the ground was shown in the paper. The resulting values of vibration acceleration may constitute a basis for a reliable analysis of the propagation of vibration in the subsoil, as well as support the development of methods of estimation of subsoil stiffness using surface seismic data.

Key words: surface vibrations, subsoil, propagation of vibrations, subsoil, propagation of vibrations, accelerometer

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 12.06.2016

Cytowanie: Czech, K.R., Gosk, W. (2016). Wiarygodność pomiaru drgań powierzchniowych gruntu. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 15 (2), 79–89.