

Mgr inż. PAWEŁ OKROJ (ORCID 0009-0009-9607-2458)

Wibro-Projekt Tychy

Prof. dr hab. inż. JACEK HULIMKA (ORCID 0000-0002-7798-4277)

Politechnika Śląska

Wydział Budownictwa

Analiza numeryczna odpowiedzi podłoża budowlanego w warunkach wymuszeń dynamicznych od ruchu pojazdów

Numerical analysis of the response of building subsoil under dynamic loads caused by vehicle traffic

STRESZCZENIE: Jednym z wymuszeń w budownictwie jest efekt ruchu ciężkich pojazdów w sąsiedztwie budynków lub budowli. Zagadnienie jest szerokie, a nawiązujący do niego poniższy tekst porusza jedynie jego fragment, mianowicie analizę numeryczną zachowania się modelu gruntu przy takim obciążeniu. W szczególności rozważono efekty dynamicznej odpowiedzi modelu gruntu w zależności od uwzględnienia/pominięcia tłumienia w gruncie, uwzględnienia/pominięcia obciążenia modelu gruntu obiektem budowlanym oraz od wystąpienia/niewystąpienia rezonansu wymuszenia z drganiami własnymi modelu masywu gruntu. Na tej podstawie sformułowano wnioski jakościowe, odnosząc je do praktyki.

Słowa kluczowe: drgania gruntu, wymuszenie dynamiczne, tłumienie, rezonans, analiza MES, wibrogram.

ABSTRACT: One of the forces in structural engineering is the effect of heavy vehicle traffic in the vicinity of buildings or structures. The topic is broad, and the following text only addresses one aspect of it, namely the numerical analysis of the behaviour of a subsoil model under this type of loading. In particular, the effects of the dynamic response of the subsoil model were analysed depending on the inclusion/exclusion of soil damping, the inclusion/exclusion of the load of the soil model by a building structure, and the occurrence/non-occurrence of resonance of the forcing with the natural vibrations of the soil mass model. On this basis, conclusions were formulated, primarily of a qualitative nature, and related to practice.

Keywords: ground vibration, dynamic actions, damping, resonance, FEM analysis, vibrograph.

Ruch ciężkich pojazdów, zwłaszcza w przypadku pogorszonego ich stanu technicznego, dodatkowo po nawierzchni o wątpliwej jakości, może być przyczyną znacznych oddziaływań mechanicznych przekazywanych przez koła na podbudowę drogi lub podtorze [1]. Oddziaływania te rozprzestrzeniają się w warstwach przypowierzchniowych sąsiadującego podłoża gruntowego w postaci fal mechanicznych [2], o atrybutach będących funkcją cech tego podłoża, cech pojazdu i jego prędkości. Mechanizm taki powoduje powstawanie drgań gruntu i posadowionych na nim lub osadzonych w nim obiektów. Wiedza o wspomnianym wyżej efekcie spowodowała konieczność powstania i stosowania normowej oceny wpływu drgań komunikacyjnych na obiekty im podlegające oraz na przebywających tam ludzi i znajdujące się mienie. Tryb dokonania tej oceny zależy od stanu, w jakim w chwili przystąpienia do rozważań znaj-

duje się jednocześnie źródło drgań i obiekt odbierający drgania. Spośród możliwych przypadków jednoczesnego stanu obydwu tych elementów [12], w niniejszym artykule omówiono podjęcie analiz, gdy źródło drgań już jest eksploatowane, a obiekt odbierający drgania znajduje się dopiero w fazie projektu. Przyjmując powyższe założenia, w przypadku wymuszeń dynamicznych od ruchu pojazdów postawiono pytanie o warunki odmienności odpowiedzi dynamicznej gruntu nieobciążonego obiektem budowlanym w stosunku do gruntu obciążonego nim. To pytanie uzupełniono drugim, dotyczącym możliwości szacowania odpowiedzi dynamicznej gruntu obciążonego obiektem budowlanym, bazując na pomiarze drgań in situ gruntu pozbawionego tego obciążenia, wspomagając się odpowiednio prowadzoną analizą numeryczną MES obydwu modeli. Niniejszy tekst jest próbą odpowiedzi na powyższe pytania.

Opis proponowanej metody

W celu udzielenia odpowiedzi na postawione wyżej pytania utworzono plik obliczeniowy typu MES, obejmujący trzy powiązane ze sobą, przedstawione niżej modele.

Pierwszym jest model masywu gruntowego wraz z wydzielonym fragmentem jego powierzchni, do którego aplikowane będą obciążenia ruchome, przy poniższych założeniach.

- Bazując na zapisach w Instrukcji [3]: *W ośrodku gruntowym zachodzi silna nieliniowość modułu odkształcenia, w zależności od poziomu odkształcenia. W obiektach, gdzie do współpracy włączone są duże obszary gruntów, a odkształcenia w nich są małe, poprawna prognoza zachowania (przemieszczeń) wymaga wyznaczania wartości modułów w zakresie sprężystym*, zaakceptowano przyjęcie modelu konstytutywnego gruntu jako sprężystego. Takie założenie pozwala na prowadzenie analiz obliczeniowych w trybie liniowym.

- Geotechniczne parametry charakterystyczne poszczególnych warstw w niniejszym przypadku mogą być pozyskane z literatury, przykładowo z pozycji [4]. W celu uproszczenia budowy modelu zasugerowano przyjęcie tu ujednoliconej wartości modułu sztywności dla zasadniczego masywu gruntowego. Dodatkowo zaproponowano przyjęcie tej wartości jako stosunkowo małej, by zachować wyraźne jej zróżnicowanie w stosunku do znacznie większej wartości modułu sztywności warstwy nawierzchni.

- Podparcie masywu powinno wykluczyć przemieszczenia pionowe oraz poziome, uwzględniając pochłanianie „uciekających” sygnałów na granicy jego podparć.

Drugim jest model obejmujący ruchome obciążenie dynamiczne.

- Przez określenie „ruchome wymuszenie dynamiczne” rozumie się tu jadący pojazd (pociąg, tramwaj, samochód). Podczas jego ruchu można ogólnie wyróżnić trzy istotne fazy: przyspieszanie, ruch jednostajny oraz hamowanie, mające wpływ na kierunki i wartości składowych sił generowanych tym ruchem. W tekście skupiono się na zwykle najbardziej istotnym elemencie wspomnianego ruchu, czyli na ruchu jednostajnym, wywołującym wpływy pionowe, pomijając przy tym oddziaływania w pozostałych kierunkach.

- Uznano, że do spełnienia celu niniejszego opracowania wystarczająca będzie aplikacja dwóch niezależnych modeli „jeżdżących”, prostych układów dwuosiowych. Ustalono, że prędkość obydwu układów będzie identyczna, natomiast widmo sygnału generowanego przez nie – odmienne, przy czym jedno z nich powinno być porównywalne z widmem zasadniczej pionowej formy własnej masywu gruntowego. Modele te będą się przemieszczać po modelu nawierzchni wbudowanym w model masywu gruntowego.

Trzecim jest model obejmujący obiekt odbierający drgania.

- Przyjęcie jako obiektu odbierającego drgania modelu obiektu budowlanego (czyli wywołującego obciążenia o istotnym ciężarze) na gruncie, znacznie zmieni w nim dotychczasowy stan naprężenia, lokalnie zwiększając jego sztywność, co oczywiście wywoła zmienną w stosunku do dotychczasowej odpowiedź dynamiczną gruntu na wymuszenie kinematyczne. Z racji obszerności tematu związanego z zachowaniem się gruntu, na potrzeby niniejszego artykułu zdecydowano się na maksymalne uproszczenie modelu obiektu odbierającego drgania. Sprowadzono więc jego atrybuty do układu o jednym stopniu swobody dynamicznej, cechującego się masą, a także sztywnością pionową i współczynnikiem tłumienia w funkcji atrybutów gruntu, (...) *mogącego być najprostszym modelem obiektu (budowlanego) (...) [11]*, aplikowanego do pojedynczego węzła wierzchniej płaszczyzny masywu gruntu.

- Wartość masy modelu obiektu odbierającego drgania dobrano tak, by widmo jej pionowej formy własnej było zgodne z widmem zasadniczej pionowej formy własnej masywu gruntowego.

- Lokalizację masy przyjęto w centralnym punkcie rzutu masywu gruntowego.

Wariacje atrybutów przyjętych wyżej trzech modeli: masywu gruntowego, ruchomego wymuszenia dynamicznego i obiektu odbierającego drgania pozwoliły na przeprowadzenie stosownych analiz obliczeniowych, umożliwiających diagnozę modalną modelu gruntu nieobciążonego i gruntu obciążonego, a także określenie odpowiedzi dynamicznej obydwu tych modeli od zadanego wymuszenia dynamicznego, dla następujących wymogów:

- przy występowaniu przyjętego kompletu tłumienia, a także przy jego zupełnym braku;
- przy występowaniu rezonansu między gruntem i ruchomym wymuszeniem dynamicznym, a także przy braku tego rezonansu.

W celu prowadzenia obliczeń wymagane jest dotrzymanie opisanych niżej reżimów.

- Konsekwentnie do przyjętego modelu konstytutywnego (sprężystego), akceptuje się prowadzenie analiz obliczeniowych w trybie liniowym.

- Tłumienie w modelu należy deklarować poprzez kombinację liniową macierzy mas oraz macierzy sztywności, zgodnie z [5]: (...) *wykorzystano tłumienie Rayleigha opisane wzorem: $C = \alpha[M] + \beta[K]$, w którym C oznacza macierz tłumienia, $[M]$ macierz masową, $[K]$ macierz sztywności. Współczynniki α i β są określane dla danego materiału na podstawie danych literaturowych*. Należy tu zdawać sobie sprawę z faktu, że stosowany algorytm macierzy tłumienia dopuszcza niedokładności podczas obliczania tłumienia modalnego [6], są one jednak, przy innych zastosowanych niedokładnościach, akceptowalne.

- Biorąc po uwagę atrybuty modalne modeli zabudowanych w pliku, sugeruje się, by obliczenia były prowadzone metodą całkowania bezpośredniego – przykładowo metodą Newmarka [7], bazującą na całkowaniu równania ruchu krok po kroku, zakładając, że spełnione będzie ono w wybranych chwilach, przy podanym kroku całkowania.

- W ramach analiz szacowana powinna być propagacja parasejsmiczna fal w gruncie, charakteryzowana za [8] jako: *prędkość [m/s] rozchodzenia się fal poprzecznych w gruncie*. Jest to słuszne założenie, co potwierdzono w [9]: (...) *prędkość drgań w punkcie stanowi jedno z podstawowych kryteriów propagacji drgań*.

Program obliczeniowy musi być tak dobrany, aby umożliwiać:

- realizację sprecyzowanych powyżej założeń;
- budowę całego modelu zgodnie z założeniami metody elementów skończonych [10], a także zastąpienie zaproponowanego modelu ciągłego modelem dyskretnym (skupienie wielkości fizycznych modelu w podobszarach powstałych podczas dyskretyzacji modelu ciągłego), co znacznie upraszcza zamierzone obliczenia.

Przykład obliczeniowy

Zdecydowano, że obliczenia będą prowadzone przy użyciu licencjonowanej wersji programu MIDAS GTS NX, bazującego na metodzie elementów skończonych (MES), przeznaczonego dla zaawansowanych zagadnień geotechnicznych. Zbudowano opisany poniżej model 3D.

- Model masywu gruntowego ma znaczne rozmiary oraz strukturę materiału o modelu konstytutywnym sprężystym i ujednocionym, o stosunkowo niewielkim module sztywności $50\,000\text{ kN/m}^2$, ciężarze objętościowym $15,1\text{ kN/m}^3$ i współczynniku Poissona $0,23$. Wzdłuż osi X układu współrzędnych wykonano w masywie wnękę i wypełniono ją materiałem o modelu konstytutywnym sprężystym i ujednocionym, o module sztywności $200\,000\text{ kN/m}^2$ (kilkukrotnie większym niż w całym masywie), ciężarze objętościowym $18,5\text{ kN/m}^3$ i współczynniku Poissona $0,20$, markującym podbudowę drogi.

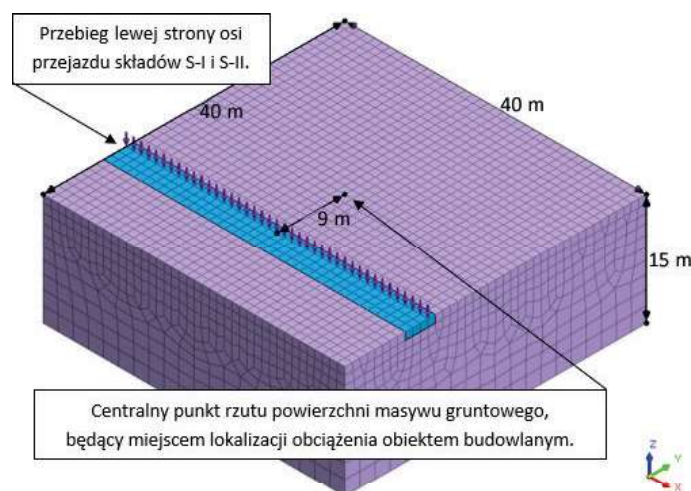
- Zasadniczy masyw gruntowy podparto sprężystością na dolnej oraz bocznych płaszczyznach, z możliwością tłumienia docierających tam fal.

- W ramach przykładanych oddziaływań przewidziano:
 - obciążenie ciężarem własnym masywu gruntowego oraz ciężarem własnym nawierzchni pod obciążeniem ruchomym;

- obciążenie opcjonalnym ciężarem zmiennym długotrwałym, markującym tzw. obciążenie gruntu obiektem budowlanym, zlokalizowanym na powierzchni zasadniczego masywu gruntowego, w centralnym jego punkcie; masę modelu tego obiektu budowlanego tak dobrano do warunków jego podparcia, by widmo zasadniczej pionowej jego formy własnej ($2,78/2,94\text{ Hz}$) lokowało się w rejonie za-

sadniczej pionowej formy własnej masywu gruntowego ($2,89\text{ Hz}$); uwaga – podane wartości liczbowe zostały ustalone podczas analiz modalnych, przedstawionych w dalszej części tekstu;

- ruchome obciążenie dynamiczne w postaci wpływu od opcjonalnego przejazdu dwóch składów po modelu wbudowanej nawierzchni; ich ustalona prędkość przejazdu jest równa sobie i wynosi 80 km/h , natomiast generują one znacznie zróżnicowany poziom częstotliwościowy wymuszenia: S-I ($11,11\text{ Hz}$ – widmo wymuszenia nieporównywalne z widmem zasadniczej pionowej formy własnej nieobciążonego masywu gruntowego, a także nieporównywalne z widmem zasadniczej formy własnej modelu obciążenia gruntu) oraz S-II ($2,78\text{ Hz}$ – widmo wymuszenia porównywalne z widmem zasadniczej pionowej formy własnej nieobciążonego masywu gruntowego, a także porównywalne z widmem zasadniczej formy własnej modelu obciążenia gruntu); dla uproszczenia analizy wędrówki sygnałów w gruncie przyjęto, że rozważany będzie wpływ kompletu kół tylko z jednej (lewej, w stosunku do kierunku przejazdu) strony osi, przy minimalnej jej odległości od miejsca badania sygnału równej 9 m (rys. 1). W ramach obliczeń uwzględniono tylko składową pionową wymuszenia dla każdego koła składowego.

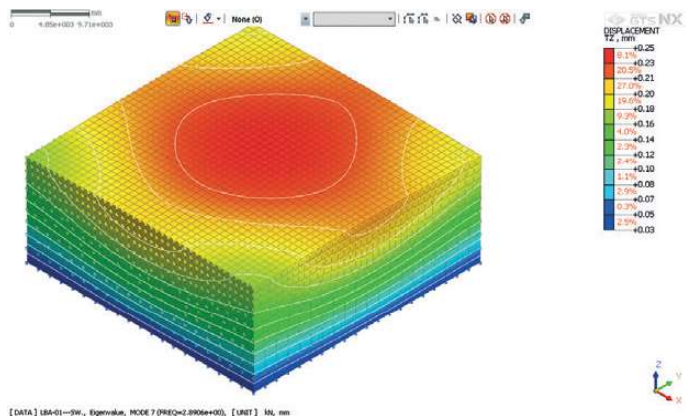


Rys. 1. Model MES

Dla tak przyjętego modelu wykonano cykl numerycznych analiz modalnych oraz analiz dynamicznych (całkowań równań ruchu) niezależnie dla obydwu przejazdów S-I i S-II – w opcjach gruntu nieobciążonego i obciążonego oraz z tłumieniem i bez tłumienia.

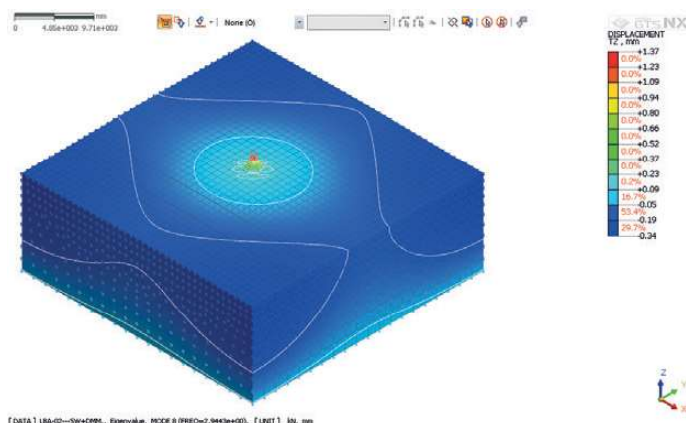
Wyniki – analizy modalne

W przypadku gruntu nieobciążonego, po określeniu postaci własnych gromadzących rząd ponad 96% mas drgających w kierunku pionowym ustalono, że dominująca pionowa postać nr 7 ($87,0\%$ masy modalnej) charakteryzuje się widmem $2,89\text{ Hz}$ (rys. 2).



Rys. 2. Mapa przemieszczeń pionowych gruntu nieobciążonego, w formie własnej 2,89 Hz

W przypadku gruntu obciążonego modelem obiektu budowlanego, po określeniu postaci własnych gromadzących rząd ponad 96% mas drgających w kierunku pionowym ustalono, że dominująca postać nr 8 (53,6% masy modalnej) charakteryzuje się widmem 2,94 Hz (rys. 3), a sąsiadująca, istotna postać nr 7 (31,9% masy modalnej) charakteryzuje się widmem 2,78 Hz.



Rys. 3. Mapa przemieszczeń pionowych gruntu obciążonego, w formie własnej 2,94 Hz

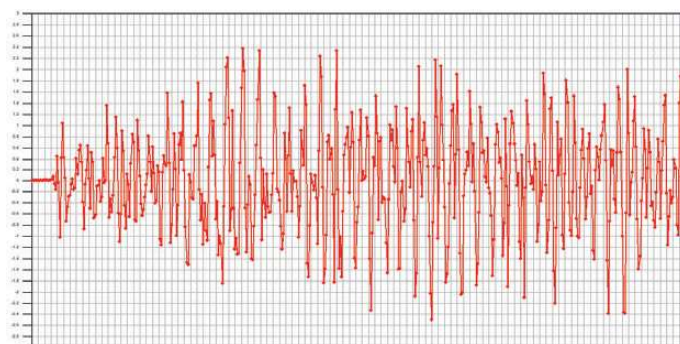
Wyniki – analizy dynamiczne (wibrogramy)

Założenia

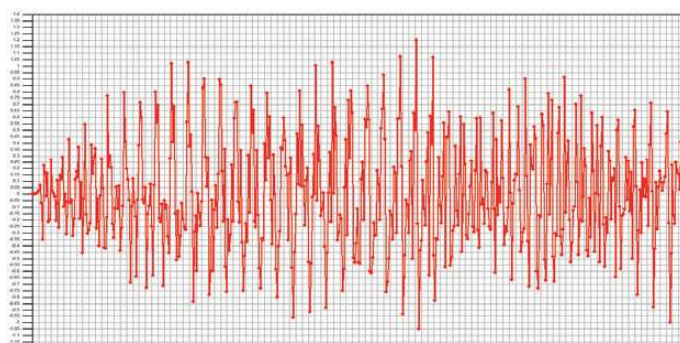
- Przedstawione wibrogramy są monitorowane na powierzchni masywu gruntowego, w centralnym punkcie jego rzutu.
- Czas trwania wibrogramów dla przejazdu S-I wynosi 3,0 s, a dla S-II – 14,4 s.

Wibrogramy

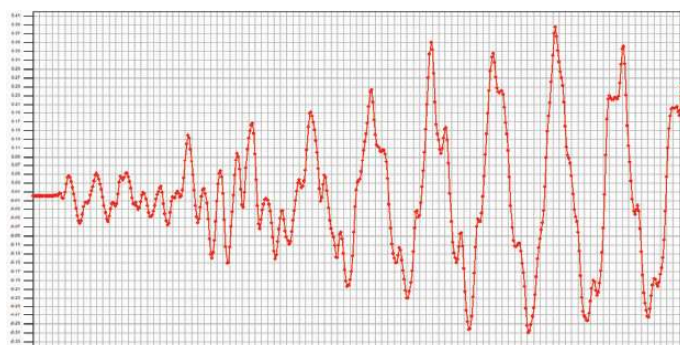
- Pominięcie tłumienia. Grunt nieobciążony (rys. 4, 5).
- Pominięcie tłumienia. Grunt obciążony (rys. 6, 7).
- Uwzględnienie tłumienia. Grunt nieobciążony (rys. 8, 9).
- Uwzględnienie tłumienia. Grunt obciążony (rys. 10, 11).



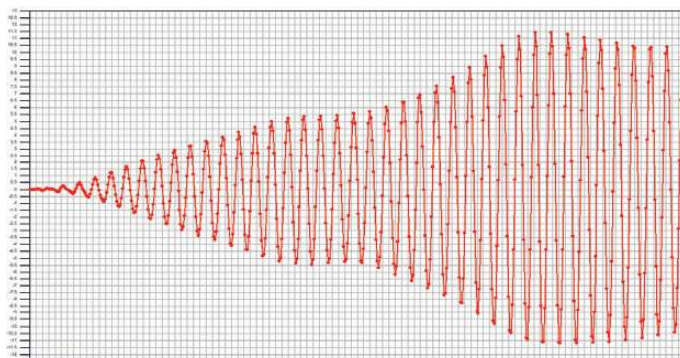
Rys. 4. Wibrogram odpowiedzi dynamicznej gruntu od przejazdu S-I (widmo wymuszenia nieporównywalne z widmem zasadniczej pionowej formy własnej modelu masywu gruntu); amplitudy: $+2,40 \div -2,50$ mm/s



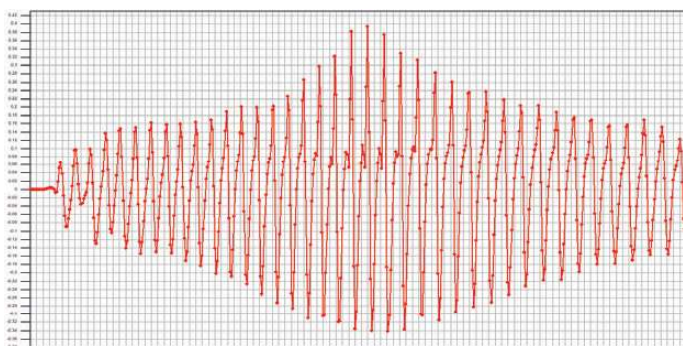
Rys. 5. Wibrogram odpowiedzi dynamicznej gruntu od przejazdu S-II (widmo wymuszenia porównywalne z widmem zasadniczej pionowej formy własnej modelu masywu gruntu); amplitudy: $+1,20 \div -1,10$ mm/s



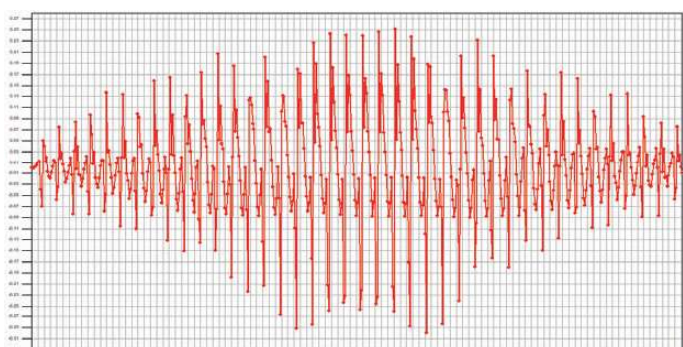
Rys. 6. Wibrogram odpowiedzi dynamicznej gruntu od przejazdu S-I (widmo wymuszenia nieporównywalne z widmem zasadniczej pionowej formy własnej modelu masywu gruntu); amplitudy: $+0,39 \div -0,31$ mm/s



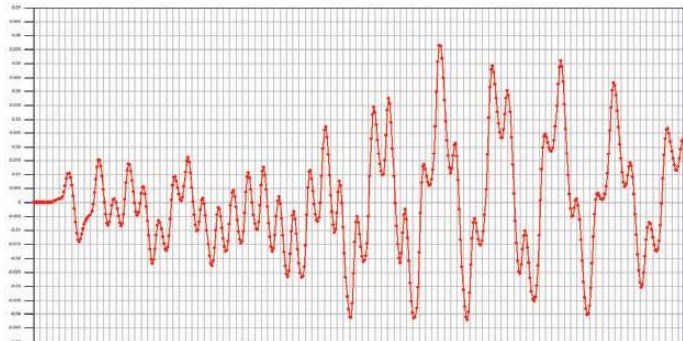
Rys. 7. Wibrogram odpowiedzi dynamicznej gruntu od przejazdu S-II (widmo wymuszenia porównywalne z widmem zasadniczej pionowej formy własnej modelu masywu gruntu); amplitudy: $+11,50 \div -11,50$ mm/s



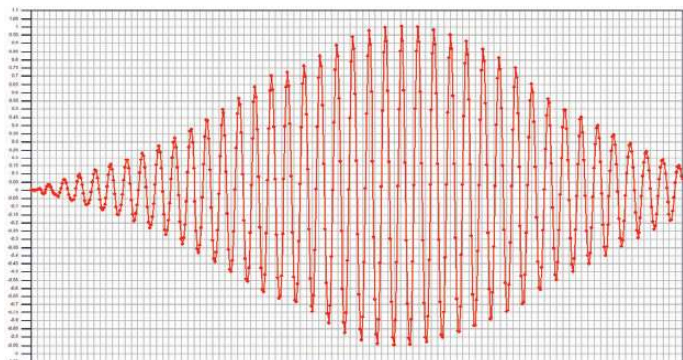
Rys. 8. Wibrogram odpowiedzi dynamicznej gruntu od przejazdu S-I (widmo wymuszenia nieporównywalne z widmem zasadniczej pionowej formy własnej modelu masywu gruntu); amplitudy: $+0,40 \div -0,34$ mm/s



Rys. 9. Wibrogram odpowiedzi dynamicznej gruntu od przejazdu S-II (widmo wymuszenia porównywalne z widmem zasadniczej pionowej formy własnej modelu masywu gruntu); amplitudy: $+0,25 \div -0,30$ mm/s



Rys. 10. Wibrogram odpowiedzi dynamicznej gruntu od przejazdu S-I (widmo wymuszenia nieporównywalne z widmem zasadniczej pionowej formy własnej modelu masywu gruntu); amplitudy: $+0,06 \div -0,04$ mm/s



Rys. 11. Wibrogram odpowiedzi dynamicznej gruntu od przejazdu S-II (widmo wymuszenia porównywalne z widmem zasadniczej pionowej formy własnej modelu masywu gruntu); amplitudy: $+1,00 \div -0,95$ mm/s

Komentarz do zebranych wyników

Wzajemne porównanie wytypowanych wibrogramów pozwala na sformułowanie przedstawionych niżej wniosków.

- Bazując na rys. 4 i rys. 8, stwierdzono, że w przypadku jednoczesnego uwzględnienia braku tłumienia i braku obciążenia gruntu wyniki analizy (rys. 4) nie mogą być podstawą do ustalenia charakteru występującego wymuszenia i jego wartości. Natomiast uwzględnienie występowania tłumienia nawet przy braku obciążenia gruntu (rys. 8) pozwala, w trybie ustalonym wymuszenia, na oszacowanie atrybutów sygnału drganiowego co do widma. Dodatkowo, **uzupełniając założenia**, przy których uzyskano wyniki na rys. 8 o obciążenie gruntu (rys. 10), można określić atrybuty sygnału drganiowego w świetle drgań własnych masywu gruntu.

- Bazując na rys. 4 i na rys. 5, stwierdzono, że w przypadku jednoczesnego uwzględnienia braku tłumienia i braku obciążenia gruntu wyniki analizy nie mogą być podstawą do pełnej diagnozy o wystąpieniu rezonansu lub jego braku. Dodatkowo, bazując jednocześnie na rys. 5 i rys. 9, stwierdzono, że w przypadku jednoczesnego uwzględnienia występowania tłumienia i braku obciążenia gruntu wyniki w trybie ustalonym wymuszenia mogą być podstawą do szacowania przybliżonego kształtu sygnału drganiowego w obliczu rezonansu. Dodatkowo, uzupełniając założenia, przy których uzyskano wyniki na rys. 9 o obciążenie gruntu (rys. 11), można określić atrybuty sygnału drganiowego w obliczu rezonansu.

Adaptacja wyników analiz modeli obliczeniowych z obydwu powyższych grup do celów interpretacji wibrogramów pozyskiwanych w ramach pomiaru drgań in situ jest już uproszczona, z racji każdorazowego występowania tłumienia w wibrogramie, jako że pomiar drgań nie jest w stanie wyeliminować cechy fizycznej realnych struktur, jaką jest tłumienie. Zatem:

- przy braku rezonansu:
 - w przypadku braku obciążenia gruntu jest możliwe w trybie ustalonym wymuszenia jedynie oszacowanie atrybutów sygnału drganiowego co do widma,
 - w przypadku występowania obciążenia gruntu jest podstawa do pełnego określenia atrybutów sygnału drganiowego w świetle drgań własnych masywu gruntu;
- przy występowaniu rezonansu:
 - w przypadku braku obciążenia gruntu jest możliwe w trybie ustalonym wymuszenia jedynie oszacowanie przybliżonego kształtu sygnału drgań,
 - w przypadku występowania obciążenia gruntu jest podstawa do pełnego określenia atrybutów sygnału drgań.

Po urealnieniu (przez uwzględnienie tłumienia) wyników analizy numerycznej MES widać, że wibrogramy sygnałów drganiowych pozyskanych przy braku obciążenia

gruntu będą, w pewnych aspektach, odmienne od odpowiednich wibrogramów pozyskanych na etapie występowania obciążenia. Jednocześnie jednak, po prawidłowym uwierzytelnieniu modelu MES gruntu, komplet miarodajnych wtedy wyników uzyskanych na drodze analizy numerycznej, w połączeniu z wynikami in situ sygnałów drganiowych pozyskanych nawet na etapie braku obciążenia gruntu, może już stanowić wystarczającą prognozę przyszłego faktycznego sygnału drganiowego w gruncie.

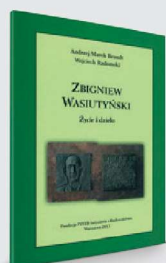
Podsumowanie

W artykule przedstawiono autorską metodykę wstępu do prognozowania odpowiedzi dynamicznej gruntu przeznaczoną do obciążenia obiektem budowlanym, w przypadku tymczasowego braku tego obiektu, przy jednoczesnym istnieniu tytułowego wymuszenia, bazując na pomiarach drgań in situ oraz analizach numerycznych MES uwierzytelnianego modelu gruntu. Tym samym wykazano możliwość oceny odpowiedzi dynamicznej podłoża już na etapie projektowania obiektu budowlanego, pod warunkiem wykalibrowania modelu MES na podstawie pomiarów drgań podłoża przed jego obciążeniem obiektem.

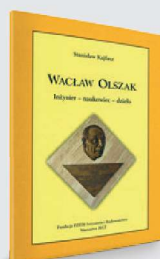
PIŚMIENNICTWO

- [1] Ciesielski R., Maciąg E., Drgania drogowe i ich wpływ na budynki, WKŁ, Warszawa, 1990.
- [2] Ciesielski R., Kwiecień A., Stypuła K., Propagacja drgań w warstwach przypowierzchniowych podłoża gruntowego: badania doświadczalne in situ, Monografia 263, Politechnika Krakowska, Kraków, 1999.
- [3] Godlewski T., Szczepański T., Metody określania sztywności gruntów w badaniach geotechnicznych, Instrukcje, Wytyczne, Poradniki, 494/2015, ITB, Warszawa, 2015.
- [4] Wiłun Z., Zarys geotechniki, WKŁ, Warszawa, 1987.
- [5] Bednarz J., Modelowanie propagacji fali drganiowej w podłożu, Technika Transportu Szynowego, 10/2013, s. 2295-2304.
- [6] Hoszwa K., Osiński J., Osipiak M., Zach P., Rozszerzenie możliwości zastosowania tłumienia modalnego w diagnostyce dużych obiektów, Diagnostyka, 1(37)/2006, s. 23-30.
- [7] Lewandowski R., Dynamika konstrukcji budowlanych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2006.
- [8] Kogut J., Propagacja w podłożu drgań generowanych przez koleje dużych prędkości, Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK w Krakowie, 2(101)/2013, s. 189-200.
- [9] Modrzejewski Sz., Prędkość drgań jako wskaźnik propagacji parasejsmicznej, Górnictwo i Geoinżynieria, 3/1, 2004, s. 361-372.
- [10] Gawroński W. i in.: Metoda elementów skończonych w dynamice konstrukcji, Arkady, Warszawa, 1984.
- [11] Gromysz K., Dynamika budowli. Obliczenia układów prętowych oraz o masach skupionych, PWN, Warszawa, 2017.
- [12] Kawecki J., Stypuła K., Kozioł K., Ochrona budynków przed drganiami komunikacyjnymi, XXX Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 2015.

Serdecznie zapraszamy do zakupu naszych wydawnictw.



Zbigniew
Wasiutyński
Życie i dzieło

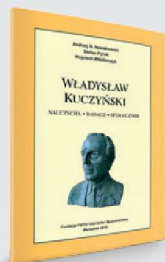


Wacław Olszak
Inżynier
- naukowiec - dzieło



Gdańskie Inwestycje
Komunalne
Historia i dokonania

Władysław Kuczyński
Nauczyciel ·
badacz · społecznik



Absolwenci Politechniki Gdańskiej
i ich osiągnięcia w dziedzinie



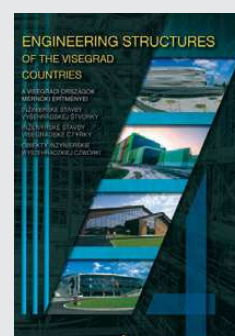
architektury i budownictwa



mechaniki i okrętownictwa



Zabytki techniki krajów
Wyszehradzkiej czwórki
- podsumowanie



Obiekty Inżynierskie
Wyszehradzkiej czwórki
- Tom 4

Zamówienie prosimy kierować na adres e-mail: apoteranska@zgpszitb.org.pl