

Joanna Pieczyńska\*, Jarosław Rybak\*

## Perspektywy rozwoju aktywnego projektowania w oparciu o badania drgań w trakcie prowadzenia robót geotechnicznych

## Prospects for active design expansion owing to investigation of vibrations caused by geotechnical works

### 1. Wprowadzenie

Obserwowany w ostatnich latach postęp gospodarczy spowodował konieczność rozbudowy infrastruktury komunikacyjnej oraz wzrost zainteresowania terenami zlokalizowanymi w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących już budynków. Wzniesienie nowych obiektów wśród gęstej zabudowy miejskiej, nakłada na inwestorów obowiązek tworzenia określonej liczby miejsc parkingowych. Rozbudowa sieci dróg i autostrad wymaga zagospodarowywania terenów o skomplikowanej geologii, których wcześniejsze wykorzystanie nie było uzasadnione ekonomicznie. Powyższe aspekty powodują zapotrzebowanie na technologie pozwalające maksymalnie wykorzystać niewielkie, wolne przestrzenie miejskie czy posadawiać obiekty inżynierskie w prawie każdych warunkach grunto-wodnych.

Stare przysłowie mówiące, że potrzeba jest matką wynalazku sprawiło, iż na rynku pojawiło się wiele firm proponujących szeroki wachlarz technologii geotechnicznych. Intensywne prace budowlane prowadzone w sąsiedztwie, nie rzadko bardzo starych i wartościowych obiektów, mogą być powodem do zastanowienia, czy są bezpieczne, czy nie zagrażają zabytkowej zabudowie. Takie obawy sprawiły, że zaczęto rozwijać również sferę badawczą wpływu głębokiego fundamentowania na konstrukcje istniejących obiektów. Zły dobór technologii do warunków zabudowy, może prowadzić do problemów związanych z zarysowa-

### 1. Introduction

Economic progress observed in recent years triggered the need for the expansion of transportation infrastructure as well as the growing interest in the land located in close proximity to already existing buildings. Erecting new buildings within compact housing imposes on the investors the obligation to create a particular amount of parking places. The expansion of road and motorway network requires developing the areas with complex geology, whose use was previously economically unjustified. The above mentioned aspects cause the need for technologies that make it possible to take maximum advantage of small free city spaces or to found engineering structures almost in any possible geo-hydrological conditions.

As the old proverb says, necessity is the mother of invention; and so on the market appeared a lot of firms offering a wide array of geotechnical technologies. Intensive construction works carried out in the neighborhood of not infrequently old and valuable structures may potentially threaten the historic housing, hence their safety aspect should be thoroughly considered. That concern for the existing buildings of historical value stimulated the development also of the new research area, namely the impact of deep foundations on the structure of the existing buildings. Inappropriate selection of technology for particular development conditions may lead to such problems as cracking of the adjacent struc-

niami obiektów lub niewiadomego powodu osiadań. Można tego uniknąć prowadząc badanie drgań przed rozpoczęciem prac, w celu ustalenia tzw. „tła otoczenia”. Przy projektowaniu i zwłaszcza w fazie realizacji konstrukcji współpracujących z gruntem należy uwzględnić zakres dopuszczalnych częstotliwości drgań.

Wybrane aspekty aktywnego projektowania, przez zastosowanie badań wpływu drgań od wykonywania obudowy głębokich wykopów oraz wzmocnień podłoża dla posadowienia obiektów inżynierskich przedstawiono w niniejszej pracy.

## **2. Podstawa prawna do oceny wpływu drgań**

Społeczne progi akceptacji drgań wywołanych przez prowadzone roboty budowlane są zwykle zdecydowanie niższe od technicznych i w znacznym stopniu zależą od czasu realizacji inwestycji. Mieszkańcy czują się zagrożeni, gdy tylko „szklanka zadzwoni w komodzie”. Podczas gdy drgania tej częstotliwości nie stanowią dla konstrukcji większego zagrożenia. Znacznie groźniejsze są drgania nieodczuwalne przez człowieka, powodujące rezonans elementów konstrukcyjnych i zewnętrznych elementów wykończeniowych.

Warunkiem wyboru prawidłowej pod względem technicznym i ekonomicznym technologii fundamentowania jest nie tylko wiedza techniczna, ale również umiejętność oceny poprawności wykonania robót fundamentowych. Często decydenci dysponują niskim zasobem wiadomości na temat metod monitoringu i nadzoru robót. Co skutkuje wyborem najtańszej, lecz nie zawsze najlepszej metody. Odrębny problem stanowi brak świadomości realnych zagrożeń mieszkańców budynków zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie inwestycji. Właściwie prowadzona akcja informacyjna kosztuje, więc powinna być uwzględniana jako ekonomiczny element planowanego budżetu.

Z technologicznego punktu widzenia można przyjąć, że drgania są funkcją amplitud prędkości i przyspieszenia oraz czasu, w jakim rejestruje się oddziaływanie. Największe amplitudy można zaobserwować, gdy źródło drgań znajduje się blisko monitorowanego obiektu, a częstość robocza jest zbliżona do częstości drgań własnych obiektu. Wówczas w konstrukcji obiektu może dochodzić do niebezpiecznego rezonansu. Najprostszym rozwiązaniem jest odsunięcie źródła drgań od wrażliwej konstrukcji, jednak nie zawsze takie rozwiązanie jest możliwe.

Podstawę analizy wyników oraz określenia bezpiecznych poziomów wibracji stanowią zazwyczaj

tures or their settlement for unknown reasons. That can be avoided when the vibration is investigated before the construction works are initiated, in order to get the picture of the so called „environment background”. Then, in designing or carrying out construction works, the range of permissible vibration frequencies should be taken into account.

This work presents selected aspects of the active designing using the investigation of the impact of vibrations that occur during the construction of deep excavation supports, or the reinforcement under the foundations, on adjacent engineering structures.

## **2. Legal basis for vibration impact assessment**

Social thresholds of the acceptable vibrations are definitely lower than the technical ones and depend mainly on the duration of investment's execution works. Residents become anxious if only the “glasses rattle in the cupboard”, whereas vibration of such low frequency do not pose threat of any kind for the building's structure. Much more dangerous are the vibrations that are not sensed by humans, which cause the structural or finish elements to resonate.

In order to select an appropriate foundation technology, from the point of view both, technology and economy, one has to possess not only technical knowledge, but also the ability to assess the correctness of the foundation works execution. Frequently the decedents have very little knowledge on monitoring and works supervision methods, which results in the choice of the cheapest, but not always best of them. A separate problem is lack of consciousness of the real dangers on the part of the residents living in direct neighborhood of the investment. A properly organized information campaign costs money, and it should be taken into account as an economic element of the planned budget.

From the point of view of technology, it may be assumed that the vibrations are a function of speed and acceleration amplitudes, as well as of the time in which the interactions are registered. Largest amplitudes may be observed when the source of vibrations is near the monitored structure, and the working frequency is approximating the structure's natural vibration. That is when in the structural parts of the building resonance may occur. The simplest solution is to move away the source of vibration from the responsive structure; however, such solution is not always possible.

The basis for the result analysis and the assessment of safe vibration levels is typically constituted

normy: DIN 4150 „Erschutterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen” [4], Eurocode 3. Part 5 [5] oraz PN-85/B-02170 „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki” [2]. Definiują one, jakie mogą być długotrwałe oddziaływania dynamiczne na budynki kubaturowe o znacznym ciężarze, ich wyposażenia (maszyny i urządzenia) oraz przebywających w nich ludzi.

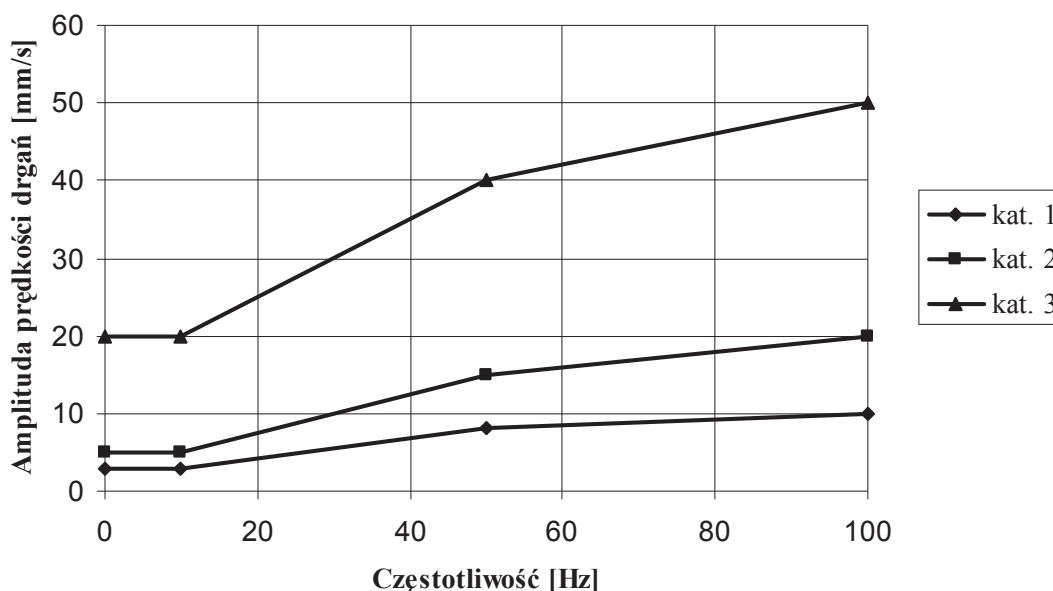
Według poniższego nomogramu z DIN 4150 wyróżnia się 3 kategorie obiektów:

- kategoria 1: szczególnie wrażliwe obiekty, które nie mogą być ujęte w dwóch poniższych kategoriach takie jak budowle objęte ochroną konserwatorską, obiekty wyposażone w specjalne urządzenia elektroniczne lub mechaniczne,
- kategoria 2: budynki mieszkalne,
- kategoria 3: obiekty przemysłowe i podobnego rodzaju.

by the following codes of practice: DIN 4150 „Erschutterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen” [4], Eurocode 3. Part 5 [5] and PN-85/B-02170 „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki” (“The Assessment of Harmful Impact Transmitted from the Subsoil to Buildings”) [2]. These documents define the allowable long-term dynamic impact on cubature buildings with considerable weight, their equipment (machines and appliances) and residents.

In accordance with the graph from DIN 4150 presented below, 3 categories may be distinguished:

- category 1: especially responsive structures that may be divided into two further categories of the structures under conservator’s protection and the objects equipped with electronic or mechanical appliances,
- category 2: residential houses,
- category 3: industrial facilities and similar.



Rys. 1. Skala do oceny szkodliwości drgań na podstawie amplitud prędkości (DIN 4150 [4])

Fig. 1. Scales for the assessment of harmful impact of vibration on the basis of velocity amplitudes (DIN [4])

Tab. 1. Skala oceny szkodliwości drgań na podstawie amplitud prędkości według Eurocode 3 tab. 12.3.6.2 [5]  
Scales for the assessment of harmful impact of vibration on the basis of velocity amplitudes EC3 [5]

| Typ obiektu<br><i>Type of property</i>                              | Amplituda prędkości drgań [mm/s]<br><i>Peak particle velocity [mm/s]</i> |   |
|---|--|---|
|   | Drgania ciągłe<br><i>Continuous vibration</i>                            | Drgania chwilowe<br><i>Transient vibrations</i> |
| Obiekty zabytkowe<br><i>Ruins, buildings of architectural merit</i> | 2  | 4   |
| Budynki mieszkalne<br><i>Residential</i>                            | 5  | 10  |
| Lekkie obiekty handlowe<br><i>Light commercial</i>                  | 10   | 20  |
| Ciężkie obiekty przemysłowe<br><i>Heavy industrial</i>              | 15   | 30  |
| Instalacje podziemne<br><i>Heavy industrial</i>                     | 25   | 40  |

W przedstawionej wyżej tabeli według EC3 podano dopuszczalne wartości prędkości drgań ciągłych (continuous) i krótkotrwałych (transient) w odniesieniu do różnych typów obiektów budowlanych. Celem prowadzonych badań jest porównanie poziomu oddziaływań dynamicznych prowadzonych robót (związanych z wibrowaniem lub/i wbijaniem grodzic lub palowaniem) z wartościami określonymi w normie DIN lub EC3 dla danego obiektu jako bezpieczne.

### 3. Sprzęt oraz metody pomiaru drgań

Techniki pomiarowe w budownictwie to prawdopodobnie najszybciej rozwijająca się dziedzina. Firmy realizujące roboty specjalistyczne, w tym roboty fundamentowe, wykonują obecnie pomiary wymagane kontraktem samodzielnie, wspomagają się jednostkami naukowo-badawczymi lub firmami specjalistycznymi.



Rys. 2. Zestaw do pomiaru prędkości drgań  
Fig. 2. Vibration speed measurement set

The above table (in line with EC3) presents the allowable values of continuous and transient vibration speed in relation to different building structures. The aim of the investigation is to compare the level of dynamic impact of ongoing works (connected with vibrating and/or driving sheet piles or piling) with the values defined as safe for a given structure in the DIN or EC3 codes of practice.

### 3. Equipment and methods of vibration measurement

Measurement techniques in construction industry are probably the area of largest expansion speed. The companies that carry out specialist works, including foundation works, perform at present the measurements included in the contract on their own, or with the help of scientific research institutes or specialist firms.



Rys 3. Rejestrator 4-kanalowy (drgania XYZ + hałas)  
Fig 3. 4-channel recording device (3D vibration + noise)

Na rynku dostępne są urządzenia pozwalające na pomiar i rejestrację drgań przekazywanych na otoczenie (rys. 2) oraz takie, które dodatkowo umożliwiają pomiar i rejestrację hałasu (rys. 3). Urządzenia pozwalają na stały pomiar drgań wywołanych różnymi czynnikami: ruchem ulicznym, pracami rozbiórkowymi czy w końcu robotami geotechnicznymi, tj. wbijanie pali.

Do pomiaru drgań stosuje się równego rodzaju czujniki o częstości próbkowania z zakresu: granica dolna (-3dB): 0.8 Hz (12dB/oct.), granica górna (-3dB): 100 Hz (12 dB/oct.). Zakres prędkości: 0-100 mm/s. Urządzenie ma wbudowany rejestrator,

The equipment available on the market includes the devices that make it possible to measure and record the vibrations transmitted by the environment, as well as the ones that can additionally measure and record noise. The devices enable the constant recording of vibrations caused by various factors: traffic, demolition works, or, eventually, geotechnical works, i.e. pile driving.

For the purpose of vibration measurement various sensors are used, with the sampling frequency from the range of 0.8 Hz (12dB/oct.) – the lower boundary (-3dB), 100 Hz (12 dB/oct.) – the upper boundary (-3dB). The range of speed: 0-100 mm/s.



który pozwala zapisywać wartości maksymalnych prędkości drgań. Rejestracja obejmuje prędkości, przyspieszenia i częstotliwości drgań.

Pomiar odbywa się przez przymocowanie geofonu do monitorowanego obiektu, zaprogramowania systemu i rozpoczęciu pomiaru. Pomiar odbywa się we wszystkich trzech kierunkach: x, y, z, przez co otrzymuje się przestrzenną informację dotyczącą kierunku rozchodzenia się fali. Ponadto w chwili obecnej możliwy jest geodezyjny monitoring wpływów oddziaływań dynamicznych na warstwy podłoża pod budynkami w bezpośrednim sąsiedztwie robót. Pozwala on na bieżącą ocenę osiadań występujących w skutek dogęszczenia warstw pod budynkiem.

#### 4. Wybrany zakres przeprowadzonych badań

##### 4.1. Ogrodzenie Cmentarza Powązkowskiego [8]

W ramach budowy ściany oporowej RC22 P w wykopie łącznicy Ł2 przeprowadzono obserwację drgań ogrodzenia Cmentarza Powązkowskiego znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie prowadzonych robót (rys. 4). Pomiar drgań podyktowany był wykorzystaniem na budowie ciężkiego sprzętu, wibratora bezrezonansowego PVE40, o ciężarze całkowitym 10,45 t, ciężarze masy wibrującej 6,2 t, momencie 0-40 kGm oraz amplitudzie drgań 15 mm, 200 obr/min. Wibrator służył do pogrążania grodzic stalowych.

The apparatus has an in-built recorder which makes it possible to register the values of maximum vibration speed. The recording includes the values of speed, acceleration and frequency of vibration.

The measurement begins after the geophone is attached to the structure under monitoring and once the system is programmed. The measurement is carried out in all three directions: x, y, z, owing to which one obtains three-dimensional information on the propagation of waves. Moreover, at present it is possible to conduct geodetic monitoring of the dynamic impact on the layers of subsoil under the buildings located in the direct neighborhood of works. In this way, the settlement occurring as a result of compaction of subsoil layers may be systematically assessed.

#### 4. Selected extent of performed survey

##### 4.1. The Powązki Cemetery wall [8]

In course of the construction of a RC22 P retaining wall in the excavation of the Ł2 siding, the vibrations of The Powązki Cemetery (adjacent to the construction site) wall were measured. The measurement was justified by the fact, that in the construction site heavy equipment was used: the PVE40 High Frequency vibratory hammer, with the total weight of 10.45 t, vibrating weight of 6.2 t, momentum of 0-40 kGm and vibration amplitude of 15 mm, 200 t/min. The vibrator served the purpose of driving sheet piles.



Rys. 4. Obserwacja drgań na ogrodzeniu cmentarza. Lokalizacja czujników drgań  
Fig. 4. Monitoring of vibrations on the cemetery wall – sensor locations

Do pomiaru wykorzystano czujniki Vibra firmy Profound. Częstość próbkowania czujnika wynosiła 1024 Hz. W pamięci urządzenia rejestrowano wartości maksymalne pomierzone w ciągu kolejnych 15 s trwania pomiaru o wartościach prędkości większych od 0,1 mm/s.

Pomiary prowadzono przy użyciu dwóch czujników umiejscowionych na prefabrykowanym ogrodzeniu cmentarza w odległości 15 m oraz 50 m od miejsca prowadzonych robót. W trakcie pracy wibrator przemieszczał się kierunku czujnika ustawionego początkowo w odległości 50 m. Czujniki umiejscowione były nad poziomem terenu. Dokładną lokalizację czujników w trakcie prowadzonych robót przedstawia rys. 4.

Badania prowadzono przed rozpoczęciem specjalistycznych prac fundamentowych, w celu określenia poziomu wibracji działających na ogrodzenie. Następnie w dniach 29 – 30. maja 2009 roku przeprowadzono badania drgań tła oraz spowodowanych pracami budowlanymi. W efekcie stwierdzono, że stosunkowo niewielkie poziomy wibracji ogrodzenia są spowodowane wzbudzeniem ścianek szczelnych.

- Rozruch wibratora nie miał znaczącego wpływu na poziom obserwowanych wibracji.
- Poziom wibracji szybko malał w miarę oddalania się od miejsca prowadzenia robót.
- Poziom wibracji ogrodzenia obserwowany w odległości 15 m od miejsca instalacji grodzic był porównywalny z wibracjami wywołanymi uderzeniami pięścią w element ogrodzenia.
- Generowane w trakcie instalacji grodzic drgania dla wybranego elementu prefabrykowanego ogrodzenia miały charakter krótkotrwały.
- Obserwowany poziom wibracji nie stanowi zagrożenia dla konstrukcji ogrodzenia i sąsiadujących z nim nagrobków.

Niestety w cytowanych powyżej normach brak odniesienia do lekkich konstrukcji budowlanych, takich jak ogrodzenia, nagrobki, postumenty itp. Praca wibratora przebiegała w zakresie rejestrowanych częstości rzędu 36 Hz, co przekracza znacznie typowe częstości drgań własnych dla gruntów i obiektów budowlanych. Zatem nie zachodziło ryzyko niebezpiecznego rezonansu.

#### **4.2. Posadowienie obiektu mostowego w miejscowości Lubsza koło Brzegu, woj. opolskie [9]**

Zadanie polegało na obserwacji drgań przekazywanych na konstrukcję budynków mieszkalnych znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie prowadzonych robót budowlanych. Prowadzone prace obejmowały wzbudzenie grodzic stalowych zabez-

As measuring tools the Vibra sensors, manufactured by Profound BV, were used. The frequency of sampling was 1024 Hz. The stored values in the device's memory were the maximum values measured in consecutive 15 s of the measurement time, with the speed values exceeding 0.1 mm/s.

The measurement was carried out by means of two sensors located on a precast concrete wall of the cemetery, at the distance of 15 and 50 m from the construction works. While working, the vibrator moved towards the sensor that was initially 50 m away. The sensors were situated above the ground surface. Detailed location of the sensors during the on-going construction works is shown in fig. 4.

The investigation was carried out before the exact specialist foundation works began, in order to determine the level of vibrations acting on the wall. Then on 29 – 30th May 2009, the measurement of the „background's” vibrations and the vibrations caused by the construction works themselves took place. In effect, it was observed that relatively low vibration levels of the wall are caused by the process of sheet pile wall installation.

- The starting of the vibrator had no significant impact on the level of the observed vibration.
- The level of vibrations decreased quickly as the distance from the construction works increased.
- The level of vibrations observed at the distance of 15 m from the sheet piles installation was comparable with the vibration caused by hitting the wall element with the fist.
- Vibrations generated in course of the installation of sheet piles were short-term (for a selected precast concrete element of the wall).
- The observed level of vibrations poses threat neither to the wall's structure, nor to the nearby gravestones.

Unfortunately, in the afore-mentioned codes of practice there is no reference to light structures, such as fencing walls, gravestones or pedestals etc. The recorded frequency of the vibrator's operation stayed within the range of 36 Hz, which significantly exceeds the typical frequency of natural vibrations for grounds and building structures. Therefore, there was no risk of dangerous resonance.

#### **4.2. Foundation of bridge in the town Lubsza near Brzeg, Opole Province [9]**

The task consisted in the observation of vibrations transmitted to residential houses in the direct neighborhood of the on-going construction works. The works included vibrating steel sheet piles into the ground in order to support the road bridge



pieczających przyczółki mostu drogowego w miejscowości Lubsza, w ciągu drogi krajowej nr 39.

Monitoring obejmujący pomiar drgań i obserwacje stanu technicznego podyktowany był wykorzystaniem na budowie wibratora bezrezonansowego PVE2316. Wibrator ten zastosowano do pograżania grodzic stalowych. Obserwacje prowadzono w dniach 18.06 – 1.07.2009 r. przy użyciu czujnika opisanego w punkcie 4.1. Badaniu poddano dwa budynki mieszkalne:

- budynek przy ul. Brzeskiej nr 12 wykonany w technologii tradycyjnej z cegły pełnej (budynek sprzed II wojny światowej),
- nowy budynek (usytuowany po drugiej stronie ulicy) wykonany w technologii tradycyjnej (bloczki + ocieplenie).

abutments in the town of Lubsza, at the line of the road no. 39.

The reason behind the monitoring, which entailed vibration measurement and technical condition investigation, was the use of the PVE2316 High Frequency vibratory hammer at the construction site, for the purpose of pile driving. The observations were made on 18.06.-1.07.2009, by means of the sensor described in 4.1. Two residential houses were subject to investigation.

- building at 12 Brzeska Street, made in traditional technology of solid brick (the house dating back to pre-World War II times),
- A new building (situated on the other side of the street), made in traditional technology (blocks + insulation).



Rys. 5. Lokalizacja czujnika  
Fig. 5. Geophone location



Rys. 6. Monitorowany stary budynek  
Fig. 6. Monitored old building



Rys. 7. Monitorowany nowy budynek  
Fig. 7. Monitored new building



Rys.8. Czujnik zamocowany do ławy żelbetowej  
Fig. 8. Geophone location

Czujniki zamontowano na czas prowadzenia obserwacji do ceglanej ściany budynku nr 12 oraz do żelbetowej ławy fundamentowej budynku „nowego”.

For the time of observations, the sensors were attached to the brick wall of the building no. 12, and to the reinforced concrete foundation strip of

Lokalizacja czujników na załączonych fotografiach powyżej. Procedura prowadzonych prac obejmowała badanie drgań tła, które miały miejsce przed prowadzeniem prac geotechnicznych oraz w trakcie prowadzenia prac w celu określenia poziomu drgań wywoływanych przez pracujący wibrator. Badania wykazały, iż oba budynki zlokalizowane przy trasie o średnio intensywnym ruchu pojazdów o masie przekraczającej 20 t, narażone są na drgania wywołane hamowaniem ciężkich pojazdów. Szczególnie odczuwalne były one w przypadku budynku nr 12, który znajduje się bliżej drogi. Wpływ ciężkiego sprzętu podobnie jak prac geotechnicznych nie ma charakteru oddziaływań długotrwałych. Ponadto poziom wibracji obserwowany i rejestrowany na obydwu budynkach nie przekraczał wielkości określanych przez normy [4] i [5] jako bezpieczne dla obiektów budowlanych. Podczas prowadzenia robót budowlanych nie zaobserwowano również jakichkolwiek oznak bieżącego, negatywnego oddziaływania drgań na obiekty w sąsiedztwie.

Należy zauważyć, że praca wibratora w obserwowanym etapie prowadzonych robót przebiegała w zakresie rejestrowanych częstości rzędu 30-40 Hz, co podobnie jak w przypadku monitoringu cementarza przekracza znacznie typowe częstości drgań własnych dla gruntów i obiektów budowlanych.

#### **4.3. Posadowienie obiektu mostowego w miejscowości Koźle, woj. opolskie [10]**

W przypadku poniższej inwestycji obserwowany był wpływ drgań pochodzących od robót fundamentowych polegających na dynamicznej wymianie gruntu. Badania były prowadzone w dniu 10.08.2009 r. Monitoringowi poddano obiekt wykonany w technologii tradycyjnej oraz fundament budowanego przyczółka. Czujniki były zlokalizowane na obiektach w sposób przedstawiony na poniższych fotografiach (rys. 10 i rys. 11).

Maksymalny poziom wibracji (w wymiarze prędkości drgań) obserwowany i rejestrowany na obydwu obiektach w końcowej fazie formowania każdej z kolumn wynosił 0,9 do 1,5 mm/s i nie przekraczał wielkości 5,0 mm/s określonej przez normę [4] jako bezpieczne dla obiektów budowlanych. Raporty dzienne z badań przedstawiono na rys. 9 i rys. 12.

W trakcie badania nie zaobserwowano jakichkolwiek oznak odczuwalnego, negatywnego oddziaływania drgań na obiekty w sąsiedztwie. Autorzy powyższą sytuację tłumaczą między innymi znaczną odległością monitorowanych obiektów od źródła drgań.

the “new” building. The location of the sensors is presented in the photographs above. The procedure of the survey entailed the investigation of the vibrations of the background, i.e. the ones that were present before the geotechnical works began, and then after they started, in order to analyze level of vibrations generated by the vibrating hammer. The investigation showed that both buildings located near the road with the traffic of medium intensity (the vehicles whose mass exceeded 20T) are subject to vibrations occurring when heavy vehicles brake. The vibrations were especially palpable in the case of the building no. 12, which is situated closer to the road. The influence of heavy equipment, as well as of geotechnical works, did not represent a long-term impact. Moreover, the level of vibrations observed and recorded on both buildings did not exceed the values defined in the code of practice [4], [5] as safe for adjacent structures. In course of the construction works there were no symptoms of negative impact of the vibrations on structures in the neighborhood.

It has to be noticed that the recorded frequencies of the vibrating hammer’s operation (at the stage of works under survey) ranged from 30-40 Hz, which, as in the case of the cemetery monitoring, does not exceed natural vibrations for grounds and structures.

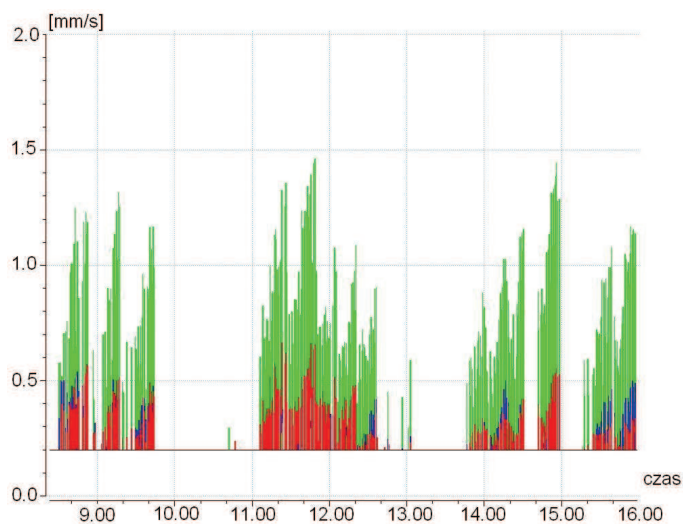
#### **4.3. Bridge foundation in the town of Koźle, Opole Province [10]**

In the investment described below, the object of investigation was the influence of foundation works consisting in a dynamic subsoil exchange. The examination was carried out on 10.08.2009. The monitored structures were: a building made in traditional technology and the foundation of bridge abutment under construction. The sensors were located as presented in the photographs below (fig. 10 and fig. 11).

The maximum level of vibrations (from the point of view of vibration speed) observed and recorded on both structures, at the final stage of each of the bridge columns formation, varied between 0.9 and 1.5 mm/s and did not exceed the limit of 5.0 mm/s defined by the code of practice [4] as safe for structures.

The investigation did not reveal any symptoms of sensible negative impact of the vibrations on neighboring structures. In the authors’ opinion the reason behind those results is the considerable distance between the monitored structures and the source of vibrations.





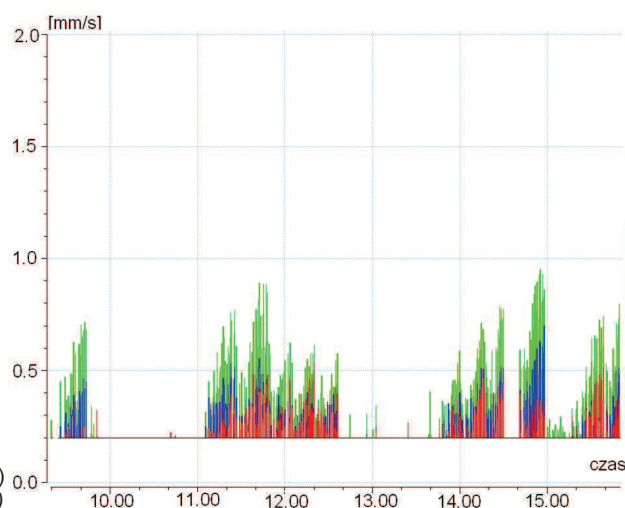
Rys. 9. Wykres prędkości drgań w skali czasu (budynek mieszkalny)  
Fig 9. Velocity – Time graph (residential house)



Rys. 10. Czujnik na budynku mieszkalnym  
Fig 10. Sensor on the residential house



Rys 11 Czujnik na fundamencie przyczółka  
Fig. 11. Sensors on the bridge abutment



Rys. 12. Wykres prędkości drgań w skali czasu (fundament przyczółka)  
Fig 12. Velocity – Time graph (bridge abutment)

Poziom drgań rejestrowany na fundamencie przyczółka nie stanowił również podstaw do obaw o warunki technologiczne po zabetonowaniu ściany.

Powyższe przypadki obejmowały sytuację, w której po doborze technologii oraz rozpoczęciu prac dokonywano badania w celu określenia czy dana technologia może być w dalszym ciągu wykonywana czy należy ją zamienić na inną. Działanie pasywne ze strony inwestorów oraz wykonawców owocuje przestojami i kosztami ewentualnych zmian technologicznych. Podczas gdy przy niewielkim koszcie badań można zaoszczędzić: czas i pieniądze.

## 5. Podsumowanie

Nowoczesne wibromłoty umożliwiają w pewnym lub całym zakresie pracy zmianę częstości roboczej. Zabieg taki zastosowany na budowie ścian oporowych tunelu przy ogrodzeniu Cmentarza Woj-

The case studies above presented situations in which only after the technology was selected and the works – begun, the investigation was carried out in order to determine whether the technology may be further applied or whether it should be switched to some other. Passive attitude on the part of investors and contractors results often in a standstill and costs of potential technology changes, while – with a small cost of the survey, both might be saved: time and money.

## 5. Final remarks

Modern vibrating hammers make it possible to change the operating frequency for some part or whole of the works. Such policy was applied during the installation of retaining walls of the tunnel near the wall of The Powązki Cemetery in Warsaw

skowego na Powązkach w Warszawie pozwolił na znaczne ograniczenie amplitud drgań rejestrowanych na obiektach chronionych cmentarza. Należy jednak pamiętać, że „przeestrojenie” wibratora może ograniczyć efektywność pograżanie grodzic i wydłużyć czas prowadzonych robót lub wręcz uniemożliwić ich kontynuację w technologii wibrowania.

Analiza drgań tła stale wpływającego na obserwowane obiekty pozwala ustalić precyzyjnie dopuszczalne częstotliwości drgań a tym samym umożliwia w kalkulowanie ewentualnych zmniejszonych efektywności prac. W praktyce możliwa jest realizacja bardzo różnych i skomplikowanych programów monitoringu towarzyszącego prowadzonym robotom. Trudność polega na ustaleniu właściwych proporcji pomiędzy rzeczywistymi potrzebami, odpowiednim zakresem monitoringu i możliwościami inwestora, który takie badania ostatecznie finansuje. Warto podkreślić, że koszty takich badań są bardzo małe w stosunku do wartości prowadzonych robót oraz skutków uszkodzeń, których przy ich zastosowaniu można uniknąć.

and made it possible to reduce considerably the amplitudes of vibrations observed on the cemetery's structures under conservator's protection. However, it must be remembered that the “switching” of the vibrator may limit the efficiency of sheet pile driving and prolong the time of works or even lead to the eventual exclusion of vibrating technology from further works.

The analysis of vibrations of the background that permanently influences the monitored structures makes it possible to determine precisely the permissible frequency of vibrations and thus to take into account lower efficiency of works in calculating overall costs. Although the monitoring programs may be in practice diversified, complex and perfectly adjusted to even very demanding construction technologies, the difficulty lies in the assessment of the proportions between the real needs, the proper monitoring scope and the financial resources of the investor, who, in the end, pays for such investigation. It is however worth emphasizing that the costs of such examination are much lower than the potential damages that may be thus avoided.

## Literatura • References

- [1] PN-82/N-01350 Drgania. Terminologia.
- [2] PN-85/B-02170 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki. Komentarz do normy PN-85/B-02170 opracowany w COBPBO 1990.
- [3] PN-91/N-01352 Drgania. Zasady wykonywania pomiarów na stanowisku pracy.
- [4] DIN 4150 „Erschutterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen”.
- [5] ENV 1993-5 Eurocode 3: Design of steel structures – part 5. Piling. January 1998.
- [6] PN-EN 1993-5:2007 (U) „Eurokod 3 – Projektowanie konstrukcji stalowych.
- [7] Instrukcja ITB nr 348/98 Diagnostyka dynamiczna i zabezpieczenia istniejących budynków przed szkodliwym działaniem drgań na właściwości użytkowe budynków.
- [8] Raporty Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej serii U nr 340, 349 i 356.
- [9] Raport Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej serii U nr 407.
- [10] Raport Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej serii U nr 411.

---

\* Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska  
Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

## Streszczenie

W pracy przedstawiono wybrane aspekty aktywnego projektowania, przez zastosowanie badań wpływu drgań od wykonywania obudowy głębokich wykopów oraz wzmocnień podłoża dla posadowienia obiektów inżynierskich. W praktyce możliwa jest realizacja bardzo różnych i skomplikowanych programów monitoringu towarzyszącego prowadzonym robotom. Trudność polega na ustaleniu właściwych proporcji pomiędzy rzeczywistymi potrzebami, odpowiednim zakresem monitoringu i możliwościami inwestora, który takie badania ostatecznie finansuje. Warto podkreślić, że koszty takich badań są bardzo małe w stosunku do wartości prowadzonych robót oraz skutków uszkodzeń, których przy ich zastosowaniu można uniknąć.

## Abstract

This work presents selected aspects of the active designing using the investigation of the impact of vibrations that occur during the construction of deep excavation supports, or the reinforcement under the foundations, on adjacent engineering structures. Although the monitoring programs may be in practice diversified, complex and perfectly adjusted to even very demanding construction technologies, the difficulty lies in the assessment of the proportions between the real needs, the proper monitoring scope and the financial resources of the investor, who, in the end, pays for such investigation. It is however worth emphasizing that the costs of such examination are much lower than the potential damages that may be thus avoided.