

ANALIZA SZKODLIWYCH WPŁYWÓW DRGAŃ I HAŁASU OD ROBÓT BUDOWLANYCH PRZEKAZYWANYCH NA ISTNIEJĄCE BUDYNKI I OSOBY W NICH PRZEBYWAJĄCE

Ryszard Chmielewski¹, Andrzej Chyla², Leopold Kruszka¹✉

¹ Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

² Noise Arch, Warszawa

STRESZCZENIE

W pracy dokonano analizy diagnostycznej *in situ* szkodliwego wpływu zarówno drgań, jak i hałasu pochodzących od robót budowlanych związanych z głębokim fundamentowaniem posadowienia projektowanego budynku na sąsiadujące istniejące obiekty budowlane oraz na ludzi przebywający w tych budynkach. Drgania przekazywane były poprzez podłoże gruntowe, zaś hałas drogą powietrzną. Przed rozpoczęciem tych robót budowlanych przeprowadzono badania wstępne na terenie budowy w celu ustalenia tzw. wibroakustycznego tła otoczenia oraz przeanalizowania warunków wodno-gruntowych pod kątem propagacji fal w tym podłożu gruntowym. Ustalono metodą empiryczną zakresy dopuszczalnych wartości drgań i hałasu pochodzących od pracującego sprzętu budowlanego podczas robót ziemnych związanych z wykonywaniem ścianek szczelinowych na terenie budowy na pobliskie otoczenie.

Słowa kluczowe: drgania i hałas pochodzące z budowy, propagacja drgań w podłożu gruntowym, szkodliwość drgań i hałasu na otoczenie budowy

WSTĘP

W związku z wykorzystywaniem sprzętu budowlanego na budowach mogą zachodzić okresowe przekroczenia dopuszczalnych poziomów emisji hałasu i drgań do środowiska. Współczesny rozwój technologii budowlanych, w szczególności dotyczących fundamentowania i wzmacniania podłoża gruntowego, obejmuje również tzw. technologie dynamiczne lub wibracyjne. Charakteryzują się one licznymi zaletami, ale i też pewnymi mankamentami, ponieważ wykonywanym robotom budowlanym towarzyszą hałas i drgania. W związku z coraz mniejszą dostępnością terenów budowlanych, zwłaszcza na obszarach zurbanizowanych, zachodzi konieczność prowadzenia robót fundamentowych w sąsiedztwie istniejących

obiektów budowlanych, w tym w szczególności budynków mieszkalnych. Planując prowadzenie budowy z zastosowaniem metod powodujących drgania i hałas, należy uwzględnić ich wpływ na otoczenie, biorąc pod uwagę, iż bardziej uciążliwy jest dla ludzi hałas, szczególnie jego cykliczność. W przypadku drgań sytuacja jest nieco inna, ponieważ tolerancja ludzi na drgania jest zwykle większa niż na hałas (Rychlewski, 2015). Należy jednak na bieżąco kontrolować wpływ prowadzonych robót budowlanych na istniejące obiekty budowlane w bezpośrednim sąsiedztwie budowy łącznie z analizą szkodliwości wpływów drgań i hałasu na osoby przebywające w tych obiektach.

Do oceny wpływu szkodliwości drgań w tym pochodzących od robót budowlanych na obiekty budowlane w otoczeniu terenu budowy stosuje się

✉leopold.kruszka@wat.edu.pl

normę niemiecką lub polską. W normie niemieckiej DIN 4150-3 podano dopuszczalne prędkości drgań dla trzech kategorii obiektów budowlanych (obiekty przemysłowe; budynki mieszkalne i obiekty szczególnie wrażliwe; nieujęte w dwóch powyższych kategoriach) w zależności od częstotliwości drgań od 1 do 100 Hz, poprzez 10 i 50 Hz. Z kolei polska norma PN-B-02170:2016-12 wprowadza skale wpływów dynamicznych (SWD) dla dwóch rodzajów budynków: małych budynków, które cechuje zwartość planu i wysokość do dwóch kondygnacji wysokości (SWD-I), i do budynków o maksymalnej liczbie pięciu kondygnacji, których wysokość jest mniejsza od podwójnej szerokości (SWD-II). Na wykresie amplitudy przyspieszenia w zależności od częstotliwości wydzielono pięć stref szkodliwości:

- strefa I – drgania nieodczuwalne przez budynek,
- strefa II – drgania odczuwalne przez elementy wykończeniowe budynku (pierwsze rysy w wyprawach i tynkach) powodujące przyspieszone zużycie techniczne budynku, ale nieszkodliwe dla jego konstrukcji nośnej,
- strefa III – drgania szkodliwe dla konstrukcji nośnej budynku, powodujące miejscowe zarysowania i spękania elementów konstrukcyjno-budowlanych, łącznie z odpadaniem wypraw i tynków, osłabiające konstrukcję nośną, zmniejszające jej nośność oraz odporność na dalsze wpływy dynamiczne,
- strefa IV – drgania o dużej szkodliwości dla budynku, zagrażające bezpieczeństwu użytkowania przez ludzi, ponieważ powstają liczne spękania oraz miejscowe uszkodzenia, łącznie z procesem niszczenia przegród murowanych i innych pojedynczych elementów konstrukcyjno-budowlanych budynku; istnieje ryzyko spadania przedmiotów zawieszonych, odpadania fragmentów wypraw tynkarskich sufitów, a także wysuwania się belek stropowych z podparć itp.
- strefa V – drgania powodujące stan zagrożenia katastrofą budowlaną budynku: budynek nie może być użytkowany.

Skale SWD są przedstawiane w formie graficznej wraz z wynikami pomiarów jako łamane linie ciągle oznaczone literami A (dolna granica odczuwalności drgań przez budynek – poniżej tej granicy można nie uwzględniać wpływów dynamicznych), B (granica

sztwywności budynku oraz dolna granica powstania zarysowań i spękań w elementach konstrukcyjno-budowlanych), C (granica wytrzymałości materiału elementów konstrukcyjno-budowlanych i dolna granica ciężkich szkód budowlanych) i D (granica stateczności budynku, powyżej której może dojść do uszkodzenia całego obiektu budowlanego, łącznie z katastrofą budowlaną).

Z kolei wymagania akustyczne dotyczące dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku określa rozporządzenie ministra ochrony środowiska z 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku.

Problematyka szkodliwego wpływu drgań i hałasu pochodzących z prowadzonych budów przekazywanych z podłoża gruntowego na elementy konstrukcyjne i wykończeniowe budynków zarówno istniejących, jak i projektowanych była przedmiotem wielu badań (Kawecki i Stypuła, 2009; Bai i Zheng, 2012; Stypuła i Bohatkiewicz, 2013). Zakres występowania tych drgań i hałasu coraz bardziej powiększa się, ponieważ na obszarach zurbanizowanych zmniejsza się coraz bardziej dostępność terenów budowlanych, a także są budowane nowe drogi w miastach i na terenach wiejskich w celu poprawy komunikacji w ruchu lądowym.

Niniejsza praca obejmuje ocenę szkodliwości drgań i hałasu, dokonaną na podstawie pomiarów warunków wibroakustycznych panujących w rejonie budowy wybranego budynku użyteczności publicznej na terenie silnie zurbanizowanym na skrzyżowaniu ul. Obornickiej i dwujezdniowej arterii komunikacyjnej ul. Wiertniczej w Warszawie (rys. 1). Zakresem rzeczowym badań było określenie wartości drgań i hałasu pochodzącego z tej budowy oraz porównanie ich z wielkościami dopuszczalnymi. Prowadzone roboty budowlane na terenie budowy miały charakter okresowy z pobudzaniem impulsowym i związane były z drażnieniem szczeliny w podłożu gruntowym na potrzeby wykonania przegrody przeciwfiltracyjnej z wypełnieniem w postaci zawiesiny cementowo-be-tonitowej.

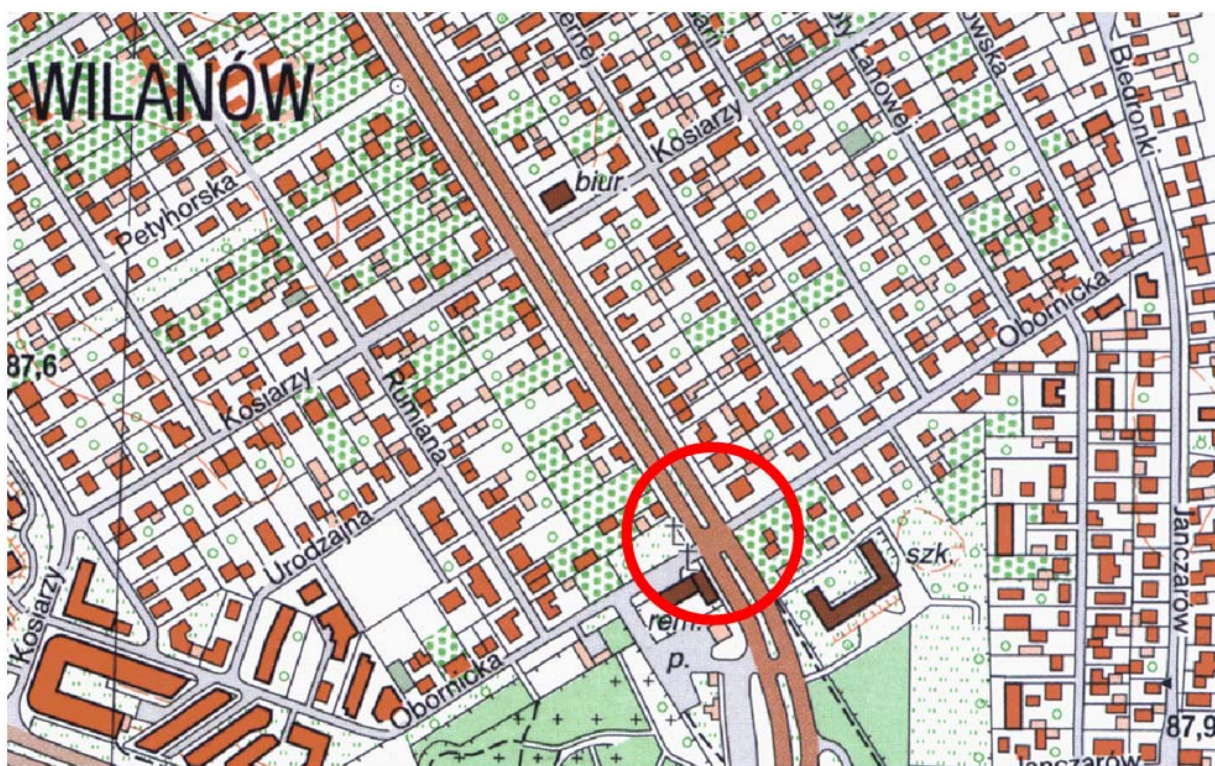
Opracowanie ma na celu ocenę zarówno wpływu drgań mechanicznych, jak i hałasu na sąsiadujące z terenem budowy budynki na podstawie normowych skal wpływów dynamicznych SWD-I i SWD-II oraz

dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku określonych osobnymi przepisami prawnymi, łącznie z oszacowaniem wartości parametrów drgań i poziomu hałasu w celu oceny szkodliwego oddziaływania tych czynników na pobliskie istniejące budynki: mieszkalny i szkolny. Teren budowy przedmiotowej inwestycji budowlanej położony jest w obszarze zabudowy mieszkaniowo-usługowej. Dla tego terenu, zgodnie z punktem 4 tabeli 1 cytowanego rozporządzenia, dopuszczalna wartość poziomu dźwięku A (zwanego potocznie poziomem hałasu związanego z jego odczuwaną głośnością) w środowisku dla pory dziennej (D – 6:00–22:00) określony wskaźnikami hałasu wynosi $L_{AeqD} = 55$ dB, zaś dla pory nocnej (N – 22:00–6:00) $L_{AeqN} = 45$ dB, przy czym dla terenów zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej obowiązuje dopuszczalny poziom dźwięku o wartości $L_{AeqD} = 50$ dB. Wartości dopuszczalne równoważnego poziomu dźwięku A dla pory dziennej dotyczą przedziału odniesienia równego najmniej korzystnym 8 h

dnia kolejno po sobie następującym, dla pory nocnej dotyczą 1 h. Źródłami analizowanych drgań mechanicznych oraz hałasu na rozpatrywanym terenie są roboty budowlane w trakcie pełnego cyklu drażenia szczeliny w podłożu gruntowym. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji i ustaleń stwierdzono, że oddziaływania drgań i dźwięku dotyczą także okresu przygotowawczych robót budowlanych oraz standardowego ruchu drogowego na pobliskiej ul. Wiertniczej.

BADANIA IN SITU

W celu wykonania badań wytypowano trzy punkty pomiarowe znajdujące się na zewnątrz obu posesji mieszkaniowej i szkolnej w sąsiedztwie terenu budowy, na której prowadzone są roboty budowlane, czyli na słupie nośnym w garażu budynku mieszkalnego (p.p.1), na fundamencie w piwnicy budynku szkoły (p.p.2) i na fundamencie ogrodzenia na granicy posesji i terenu budowy (p.p.3).



Rys. 1. Rejon lokalizacji terenu budowy (oznaczano okręgiem)

Fig. 1. Area of the construction site location (marked with circle)

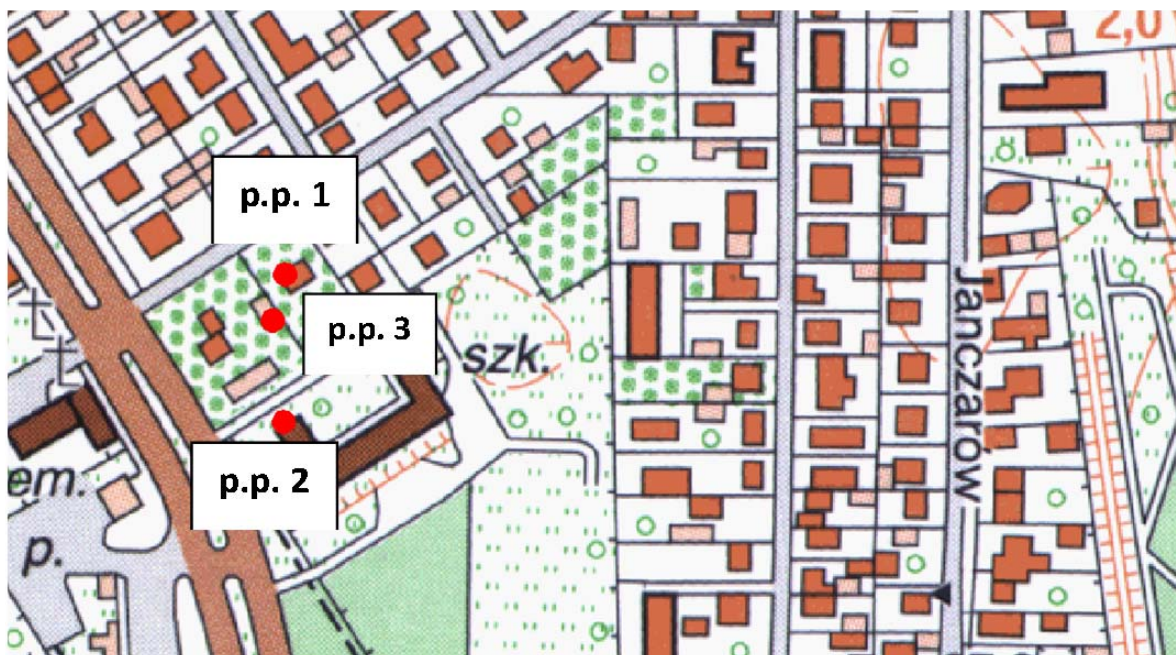
Rejon lokalizacji punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 2. Przy ich rozmieszczeniu uwzględniono charakterystyczne miejsca obiektów budowlanych, biorąc pod uwagę możliwość oddziaływania drgań mechanicznych przekazywanych za pośrednictwem podłoża gruntowego, czyli te punkty usytuowane były na elementach konstrukcji nośnych, zaś trójosiowe przetworniki drgań montowano na specjalnej płycie montażowej bezpośrednio na tych elementach konstrukcyjnych. Pomiarów sygnałów wibroakustycznych przeprowadzono w sposób ciągły, w tym przyspieszenie drgań w trzech prostokątnych osiach X , Y , Z (Z – kierunek pionowy, X – kierunek równoległy do ul. Wiertniczej, Y – kierunek prostopadły ul. Wiertniczej), zaś poziom ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych co 1 s.

W trakcie prowadzonej ciągłej rejestracji przyspieszeń drgań na słupie nośnym w budynku mieszkalnego oraz na fundamencie budynku szkolnego uwzględniono pełen cykl głębenia szczeliny w podłożu gruntowym podczas wykonania przegrody przeciwfiltracyjnej przez kolejne warstwy: ły, piasek, żwir, piaski zagęszczone.

Do pomiarów i analizy drgań i hałasu wykorzystano następującą aparaturę pomiarowo-rejestrującą: miernik SVAN 948 wraz z pamięcią cyfrową, wzorcowy wzbudnik drgań, przetwornik drgań DYTRAN 3023A, mikrofon pomiarowy GRASS 40AN, program obliczeniowy do analizy dynamicznej SVAN_PC ver. 2.19. Użyte w badaniach mierniki miały aktualne świadectwa wzorcowania zgodnie z ustawą z 2001 r. Prawo o miarach. Warunki meteorologiczne jak panowały w dniu pomiarów były następujące: temperatura minimalna 2°C, temperatura maksymalna 4°C, ciśnienie atmosferyczne 1019 hPa i wilgotność względna powietrza 58%.

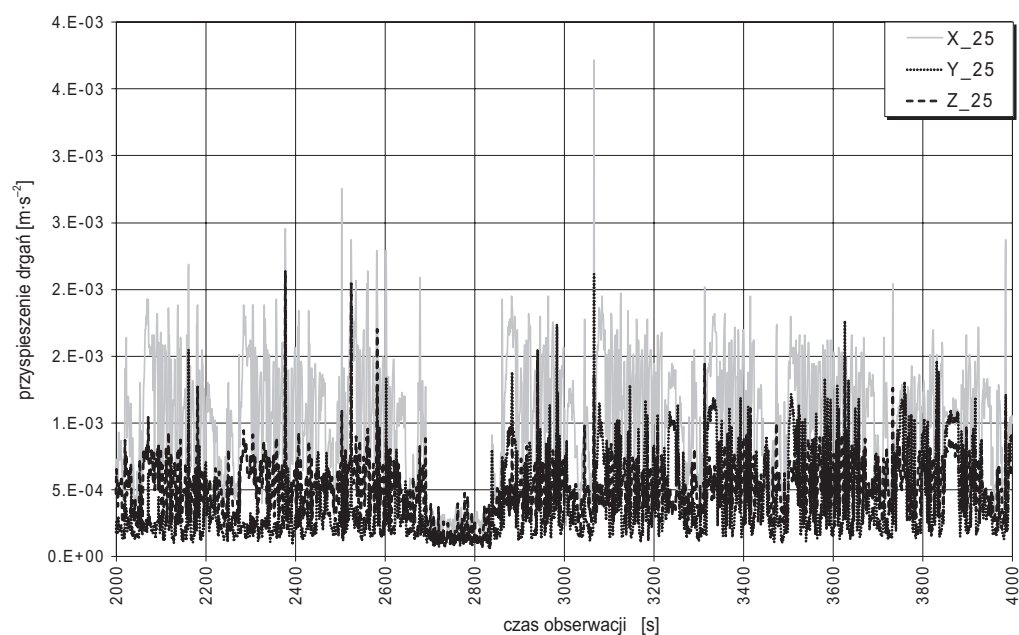
Wielkościami mierzonymi były przyspieszenia drgań w pasmach tercjowych w zakresie częstotliwości od 0,8 do 100 Hz oraz poziom hałasu zarówno tła jak i podczas robót budowlanych. Zmierzone wielkości były automatycznie zapisywane w pamięci mierników. Wyniki wybranych zarejestrowanych pomiarów przedstawiono na rysunkach 3–6.

W trakcie prowadzonych pomiarów stwierdzono, że w rozpatrywanym rejonie występuje wysokie tło sygnału wibroakustycznego związanego z intensywnym ruchem drogowym (szczególnie pojazdów ciężkich)



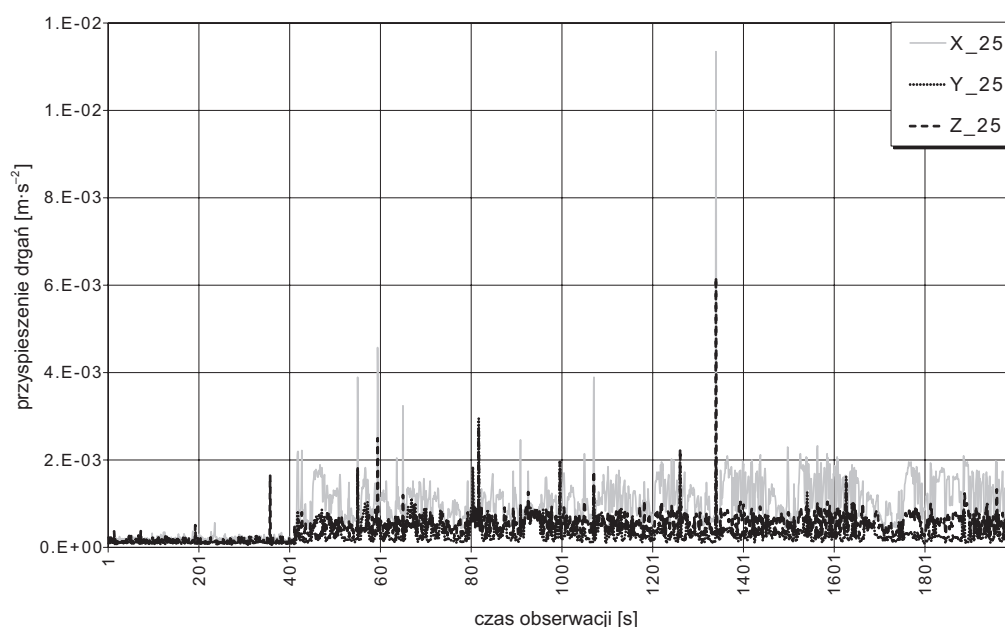
Rys. 2. Schemat rozmieszczenia wytypowanych punktów pomiarowych

Fig. 2. Scheme of the distribution of selected measuring points



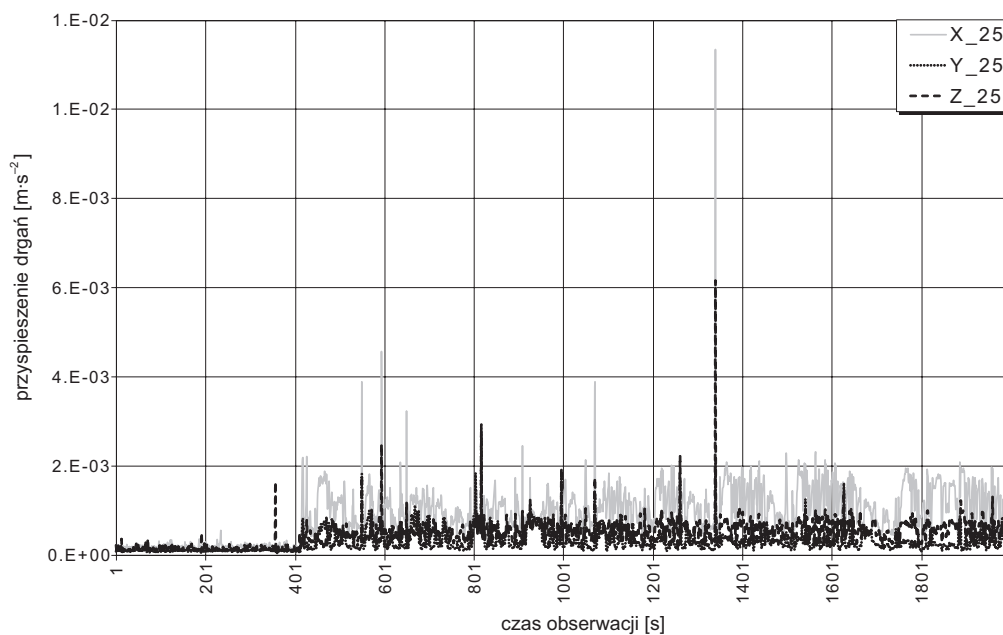
Rys. 3. Przebieg czasowy przyspieszenia drgań na słupie nośnym w garażu budynku mieszkalnego w trakcie robót budowlanych w p.p.1 (X, Y, Z) – sygnał w paśmie 25 Hz

Fig. 3. Time course of vibration acceleration at the supporting column in the garage of the residential building during construction works in the point p.p.1 (X, Y, Z) – the signal in the 25 Hz band



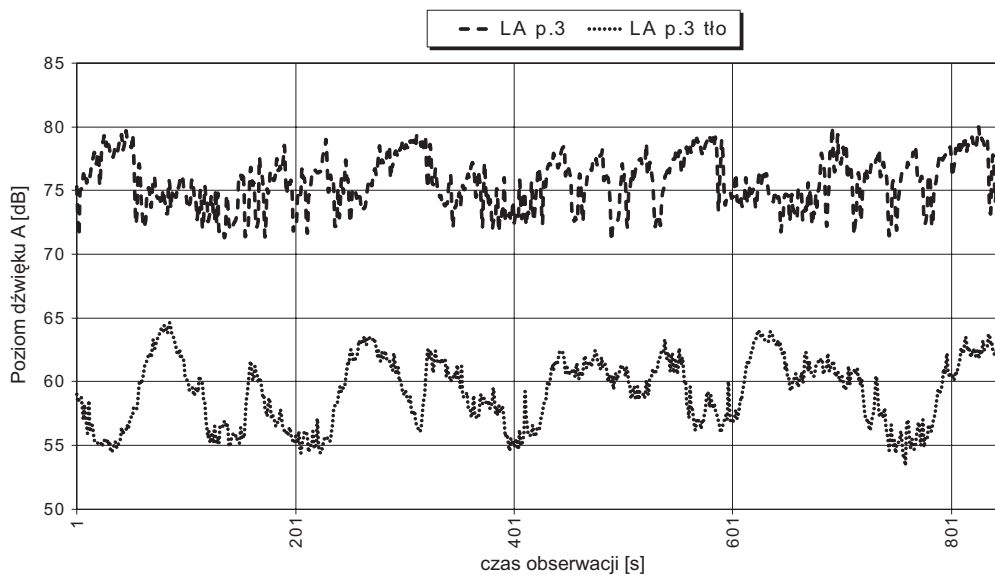
Rys. 4. Przebieg czasowy przyspieszenia drgań na słupie nośnym w garażu budynku mieszkalnego pomiar tła w p.p.1 (X, Y, Z) – sygnał w paśmie 25 Hz

Fig. 4. Time course of vibration acceleration at the supporting column in the garage of the residential building – background in the point p.p.1 (X, Y, Z) – the signal in the 25 Hz band



Rys. 5. Przebieg czasowy przyspieszenia drgań na ścianie nośnej szkoły – w trakcie robót budowlanych w p.p.2 (X, Y, Z) – sygnał w paśmie 25 Hz

Fig. 5. Time course of vibration acceleration at the supporting wall of the school – during construction works in the point p.p.2 (X, Y, Z) – signal in the 25 Hz band



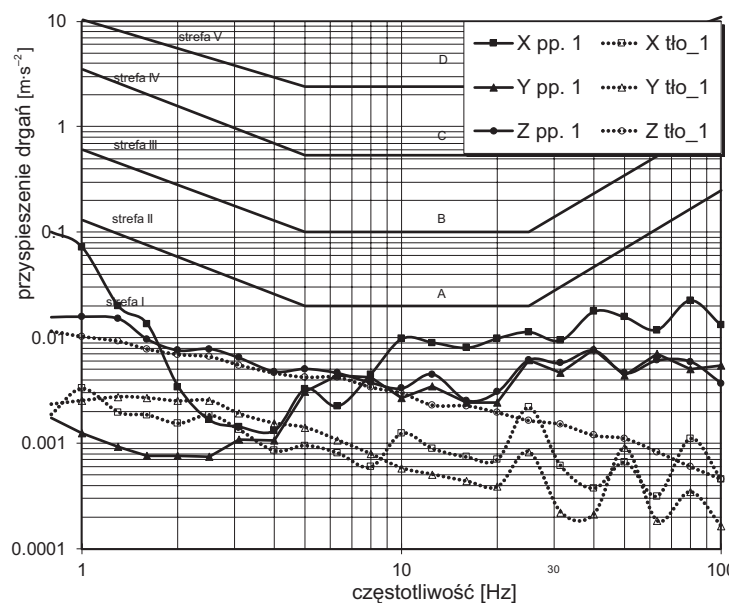
Rys. 6. Przebieg czasowy poziomu dźwięku A: pomiar tła oraz w trakcie prowadzonych robót budowlanych w p.p.3

Fig. 6. Time course of sound level A: background measurement and during construction works in the point p.p.3

odbywającym się ul. Wiertniczą. Maksymalne przyspieszenia drgań osiągają wartości $0,03 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-2}$. Podczas głębenia szczelin zlokalizowanych najbliżej sąsiednich posesji przyspieszenia drgań nie przekraczają wartości $0,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

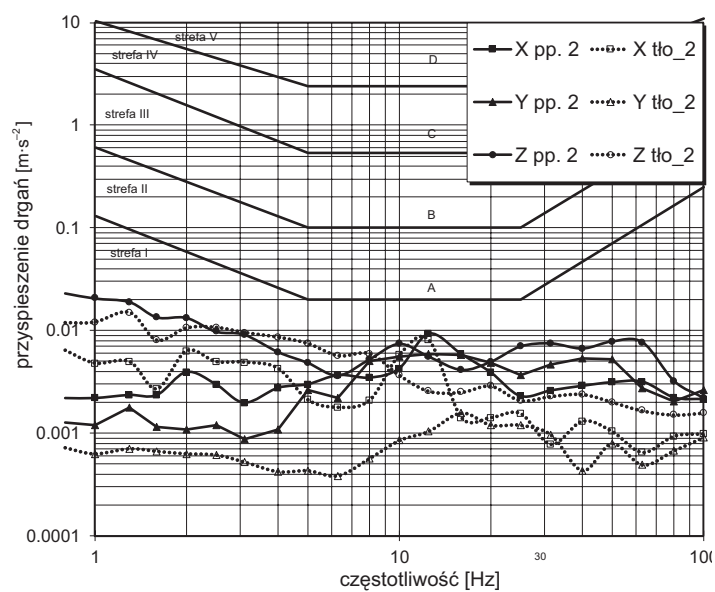
WYNIKI

Zbiorcze wyniki diagnostyki dynamicznej dla poszczególnych punktów pomiarowych od p.p.1 do p.p.3 podano na rysunkach 7–9, które przedstawiają warto-



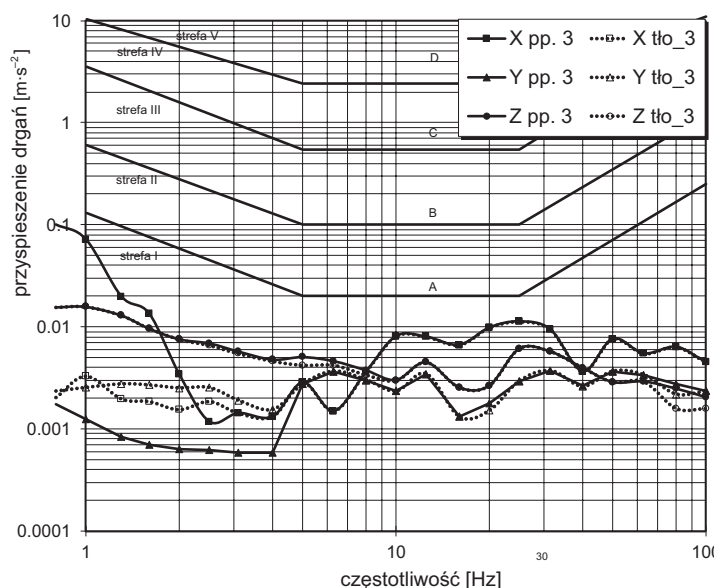
Rys. 7. Wyniki pomiaru widma drgań na słupie nośnym w garażu w p.p.1 (X, Y, Z)

Fig. 7. Results of the vibration spectrum measurement at the supporting column in the garage in the point p.p.1 (X, Y, Z)



Rys. 8. Wyniki pomiaru widma drgań na ścianie nośnej szkoły w p.p.2 (X, Y, Z)

Fig. 8. Results of the vibration spectrum measurement at the school supporting wall in the point p.p.2 (X, Y, Z)

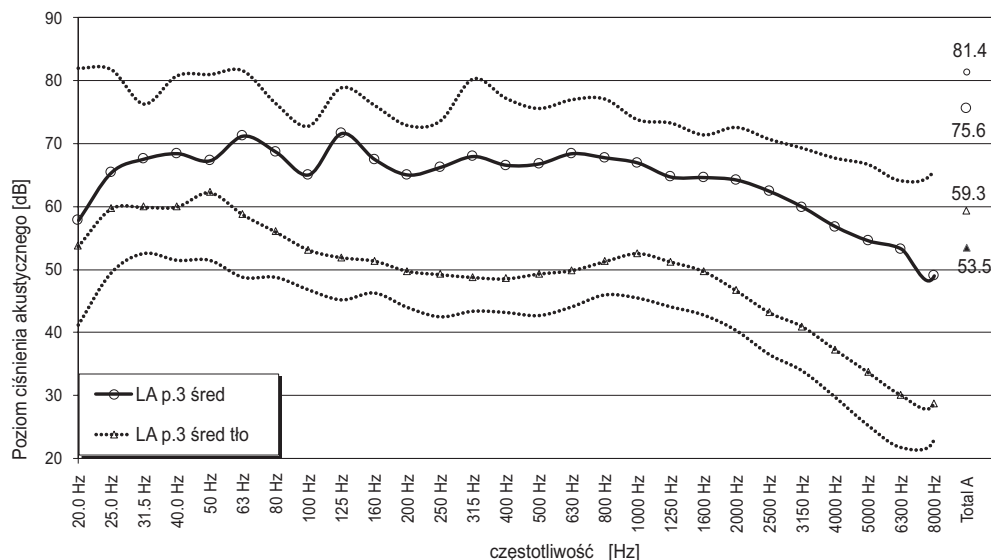


Rys. 9. Wyniki pomiaru widma drgań na fundamencie ogrodzenia w p.p.3 (X, Y, Z)

Fig. 9. Results of the vibration spectrum measurement at the fencing foundation in the point p.p.3 (X, Y, Z)

ści przyspieszeń w kierunkach osi X, Y, Z w pasmach oktauwowych z naniesionymi skalami dopuszczalnych poziomów drgań. W celu określenia wpływu prowadzonych robót budowlanych na parametry tzw.

klimatu akustycznego w środowisku w p.p.3 równocześnie z pomiarami drgań zarejestrowano sygnał akustyczny (rys. 10). Na tej podstawie określono ekspozycyjny poziom dźwięku (L_{AE}) dla gęłbienia



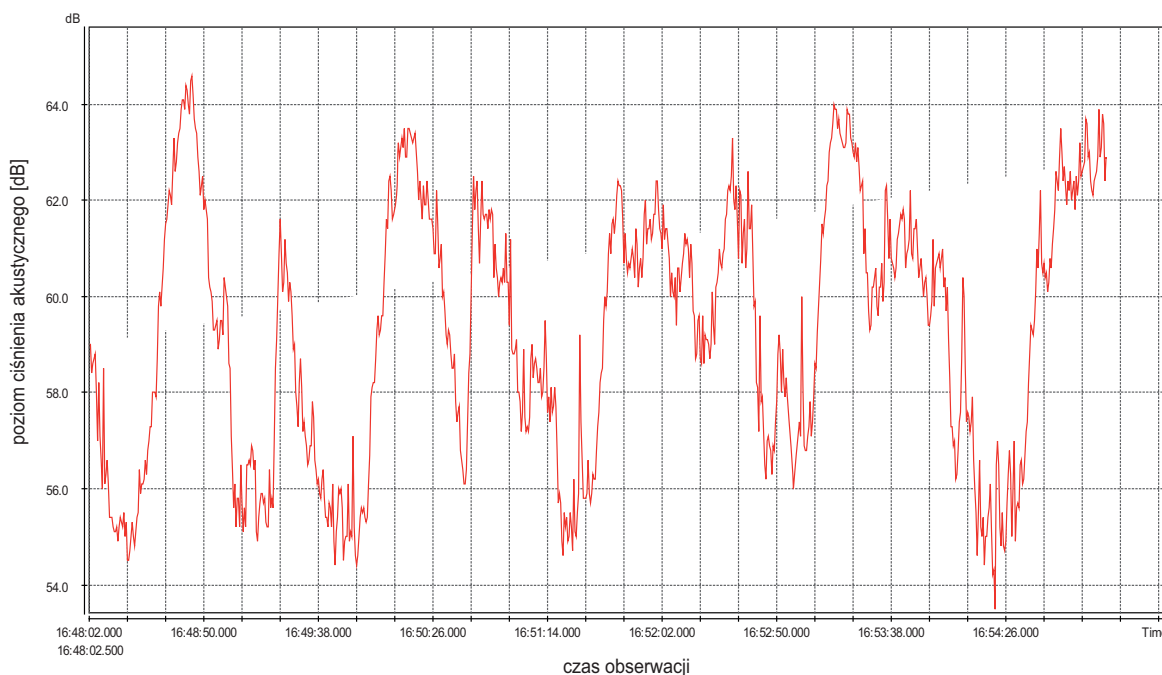
Rys. 10. Widmo poziomu ciśnienia akustycznego: tła oraz w trakcie prowadzonych robót budowlanych na granicy posesji w p.p.3

Fig. 10. Spectrum of the sound pressure level: background and during construction works at the property boundary in the point p.p.3

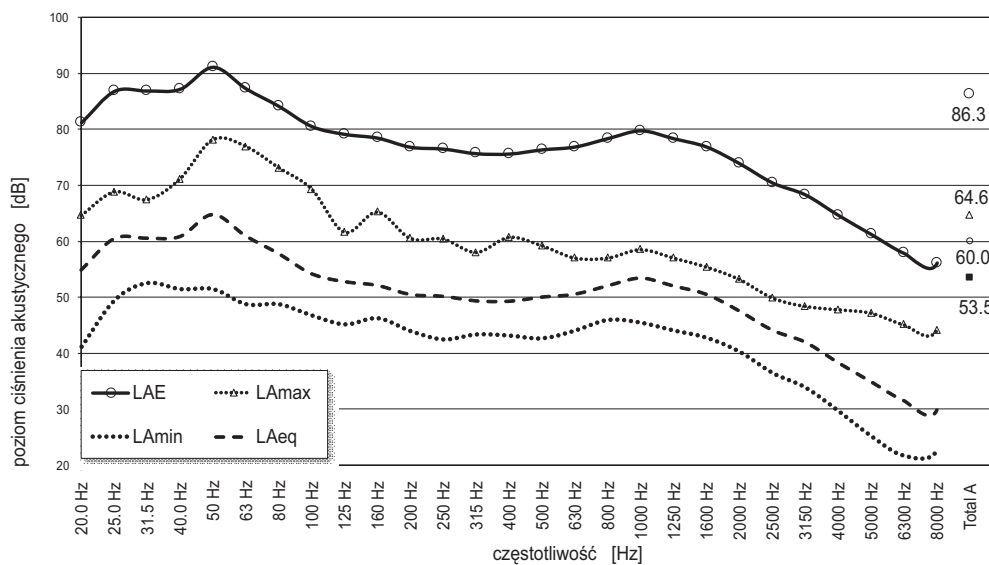
pojedynczej szczeliny w podłożu gruntowym podczas wykonywania przegrody przeciwfiltacyjnej. Na tej podstawie można wyznaczyć liczbę tego rodzaju głębień w trakcie 8 h pory dziennej, która nie

spowoduje przekroczenia dopuszczalnego poziomu dźwięku (L_{AeqD}).

Wyniki pomiaru w trakcie pojedynczej czynności głębenia przedstawiono na rysunkach 11 i 12.



Rys. 11. Wyniki rejestracji poziomu dźwięku w trakcie głębenia pojedynczej szczeliny w podłożu gruntowym
Fig. 11. Results of the sound level recording during the digging of a single diaphragm wall in the subsoil



Rys. 12. Określenie parametrów akustycznych podczas głębenia pojedynczej ścianki szczelinowej w podłożu gruntowym
Fig. 12. Determination of acoustic parameters during digging of a single diaphragm wall in the subsoil

PODSUMOWANIE

W niniejszej pracy przedstawiono analizę wpływu drgań mechanicznych przekazywanych z podłoża na sąsiadujące budynki za pomocą skal SWD, zgodnie z wymaganiami normy PN-B-02170:2016-12, w pasmach tercjowych w zakresie od 8 do 100 Hz. W trakcie prowadzonych robót budowlanych (głębienia w podłożu gruntowym szczelin dla wykonania przegród przeciwfiltracyjnych) nie wystąpiły przyspieszenia drgań w żadnym obszarze stref szkodliwości. Maksymalne wartości przyspieszeń wystąpiły w paśmie 25 Hz i były spowodowane uderzeniami obejmujące urządzenia o metalowe przegrody. W trakcie całego cyklu głębienia przegrody przeciwfiltracyjnej przyspieszenia drgań nie przekroczyły wartości dopuszczalnych w każdej z prostopadłych osi X , Y i Z .

Stwierdzono stosunkowo wysoki poziom drgań mechanicznych związanych z intensywnym ruchem drogowym przy ul. Wiertniczej. Charakter zarejestrowanego sygnału tła wykazuje jego wysoki poziom w zakresie częstotliwości poniżej 10 Hz. W przypadku drgań zarejestrowanych w trakcie prowadzonych robót budowlanych ich wzrost wystąpił powyżej częstotliwości 10 Hz. Zmierzone wartości nie przekraczają strefy I, w której drgania są nieodczuwalne przez budynek, a nawet poniżej dolnej granicy A odczuwalności drgań przez budynek. Oznacza to, że nie uwzględnia się tych oddziaływań dynamicznych jako szkodliwe dla sąsiadujących obiektów budowlanych.

W trakcie prowadzonych pomiarów stwierdzono także, że w rozpatrywanym rejonie budowy występuje wysoki poziom tła akustycznego związanego z intensywnym ruchem drogowym przy ul. Wiertniczej. W związku z tym na podstawie wykonanych pomiarów określono maksymalną liczbę głębień w podłożu gruntowym pojedynczej szczeliny dla wykonania przegrody przeciwfiltracyjnej. W rozpatrywanym przypadku dla terenów zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej z usługami rzemieślniczymi dopusz-

czalny poziom dźwięku przez 8 h pory dziennej wynosi $L_{Aeq} = 50$ dB. W związku z tym, iż pomierzony ekspozycyjny poziom dźwięku głębienia pojedynczej szczeliny wynosił $L_{AE} = 89,3$ dB, to w przypadku zagłębienia w podłożu gruntowym 6 szczelin w ciągu ośmiu godzin równoważny poziom dźwięku jest równy $L_{Aeq} = 49,5$ dB. Oznacza to, że aby nie przekroczyć dopuszczalnego poziomu hałasu w środowisku, nie należy wykonywać powyżej 6 głębień pojedynczych szczelin w podłożu gruntowym dla wykonania przegród przeciwfiltracyjnych przez 8 h pory dziennej. Wykonywanie robót budowlanych w porze nocnej jest niedopuszczalne.

Na zakończenie należy nadmienić, iż po wybudowaniu budynku nie będzie on istotną przegrodą akustyczną, tworzącą tzw. cień akustyczny i blokującą przepływ fal dźwiękowych (hałasu) – powodowanych ruchem drogowym na ul. Wiertniczej – na teren posesji mieszkaniowej.

PIŚMIENNICTWO

- Bai, Y. i Zheng, Y. (2012). Wpływ budowy tuneli na uwarunkowania miejskie. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 1–2, 60–63.
- DIN 4150-3. Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen.
- Kawecki, J. i Stypuła, K. (2009). Wpływ drgań generowanych podczas robót drogowych na zabytkowe obiekty budowlane (diagnoza a posteriori). *Czasopismo Techniczne. Budownictwo*, 106, 2-B, 183–189.
- PN-B-02170:2016-12. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoża na budynki.
- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska z 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. 2007 nr 120 poz. 826).
- Rychlewski, P. (2015). Wpływ dynamicznych technologii palowania i wzmacniania podłoża na otoczenie. *Inżynier Budownictwa*, 2, 101–105.
- Stypuła, K. i Bohatkiewicz, J. (2013). Zagadnienia ochrony środowiska w procesach inwestycyjnych. *Technika Transportu Szynowego*, 2–3, 4–10.

ANALYSIS OF HARMFUL EFFECTS OF VIBRATIONS AND NOISE COMING FROM CONSTRUCTION WORKS ON EXISTING BUILDINGS AND PEOPLE LIVING IN THEM

ABSTRACT

The paper presents a diagnostic analysis *in situ* of the harmful effect of both vibrations and noise coming from construction works related to the deep foundation on neighboring existing buildings and people living in those buildings. The vibrations were transmitted through the ground surface, and the noise – by air. Before the start of these construction works, preliminary tests were carried out at the construction site in order to determine the so-called vibroacoustic ambient background and analyze the water-soil conditions for the propagation of waves in this subsoil. The empirical scope of admissible values of vibrations and noise coming from construction working equipment during earthworks connected with digging of diaphragm walls on the construction site to the nearby surroundings was established using the empirical method.

Key words: vibrations and noise coming from building site, waves propagation in subsoil, harmfulness of vibrations and noise on the building environment