



Ocena oddziaływania drgań parasejsmicznych na budynki mieszkalne dla wybranych skal wpływów dynamicznych

Evaluation of paraseismic vibrations on a housing construction according to Polish and international regulation

Mgr inż. Andrzej Biessikirski*)

Treść: Wykonywanie prac w górnictwie odkrywkowym, jak również wyburzeniowych i inżynierskich z użyciem materiałów wybuchowych MW prowadzi do wzbudzenia drgań parasejsmicznych, mogących oddziaływać na lokalną zabudowę. Celem zbadania potencjalnej szkodliwości oddziaływania rejestrowane drgania parasejsmiczne poddaje się ocenie przy użyciu normy [11]. W artykule przedstawiono założenia dotyczące skal wpływów dynamicznych oraz zaprezentowano sposób oceny oddziaływania drgań przy użyciu wytycznych polskich na obiekty mieszkalne. Porównano wyniki oceny oddziaływania drgań wykonywanej przy użyciu normy polskiej [11] do wyników uzyskanych przy zastosowaniu skal zagranicznych, takich jak brytyjska [1] oraz niemiecka [2].

Abstract: Conducting of blasting works in open pit mines as well as in demolition and engineering processes leads to excitation of paraseismic vibrations, which may affect local structures. To identify if recorded paraseismic vibrations have a potential dangerous impact on the local structure it is evaluated on the bases of the Polish standard [11]. The assumptions of Polish standard are presented in this paper. The evaluation of paraseismic vibrations on bases of Polish guidelines was also performed. In addition, results of the assessment which was carried out using the standard [11], were compared to the results which were obtained by using scales such as the British Standard [1] and German Standard [2].

Słowa kluczowe:

roboty strzałowe, drgania, ocena oddziaływania, analiza pośrednia

Key words:

blasting works, vibration, paraseismic evaluation, indirect analysis

1. Wprowadzenie

Przy przeprowadzaniu oceny oddziaływania pojawia się najczęściej pytanie: czy zarejestrowany poziom drgań jest dopuszczalny dla danego obiektu chronionego lub czy mamy do czynienia z negatywnym oddziaływaniem, które może spowodować pojawienie się zarysowania, pęknięcia lub uszkodzenia konstrukcyjnego.

Najprostszym sposobem oceny polega na przedstawieniu zarejestrowanych wartości parametrów drgań, (prędkości oraz częstotliwości) na odpowiednich skalach. Efektem tego jest możliwość estymacji prawdopodobnego skutku działania drgań. Należy zwrócić uwagę, że do oceny szkodliwości można zastosować wiele światowych skal i norm. Wynikiem czego są trudności w przedstawieniu wszystkich czynników, mających wpływ na intensywność drgań za pomocą jednej normy prawnej. Z tego powodu, stosowane skale, jak również normy odnoszą się do wybranych typów budynków i uwzględ-

niają tylko część czynników, jakie w danym przypadku należałoby brać pod uwagę. Dopuszczalne wartości prędkości drgań w zależności od rodzaju i typu konstrukcji zawarte są w normach zagranicznych dotyczących wpływu drgań na obiekty budowlane, np. brytyjskiej [1], szwajcarskiej [15] i hiszpańskiej [19]. Ponadto, strukturę wyrażoną w dziedzinie czasu oraz strukturę wyrażoną w dziedzinie częstotliwości zarejestrowanych przebiegów drgań determinują źródła ich wzbudzenia. Na przykład wibracje wywołane detonacją materiału wybuchowego mają charakter impulsowy i odznaczają się krótkim czasem działania. W odróżnieniu od nich drgania wywoływane poprzez naturalne i gwałtowne ruchy gruntu powstałe pod powierzchnią Ziemi (trzęsienia ziemi) odznaczają się dłuższym czasem trwania, jak również inną charakterystyką fali, przez co opisywane są przez zupełnie inne skale [14, 18]. Innym przykładem drgań pochodzących od różnego źródła są drgania wynikające z ruchów komunikacyjnych. Drgania te niejednokrotnie odznaczają się niższymi wartościami prędkości oraz dłuższym czasem ich trwania w porównaniu do drgań powstałych w wyniku wykonywania

*) AGH w Krakowie

robót strzałowych. Długotrwałe występowanie drgań komunikacyjnych może prowadzić do zmęczenia materiału, czego efektem jest obniżanie jego parametrów wytrzymałościowych. Z tego względu w normach zagranicznych np. w normie brytyjskiej, istnieje wyraźne rozgraniczenie pomiędzy drganiami pochodzącymi od różnych źródeł [11].

2. Skala Wpływów Dynamicznych

Działania dynamiczne są to, inaczej mówiąc, działania zmienne w czasie, powodujące powstawanie siły bezwładności w budynku. Siła ta wpływa bezpośrednio na obciążenie obiektu, jak również generuje ruch w charakterystycznych jego punktach (miejscu odbioru drgań). Należy zwrócić uwagę, że działania te mogą być przekazywane bezpośrednio (np. poprzez pracę maszyn na elementach konstrukcyjnych, np. młyny), poprzez ruchy powietrza (np. wiatr), czy ruchy podłoża (drgania sejsmiczne i parasejsmiczne). W każdym z wymienionych przypadków wpływy dynamiczne powodują ruch masy obiektu budowlanego, co bezpośrednio wpływa na stan jego obciążenia, a w konsekwencji może prowadzić do wystąpienia zarysowań lub uszkodzeń konstrukcyjnych [6]. Celem eliminacji tych problemów oraz zapewnienia niezbędnego komfortu mieszkańcom, Prawo geologiczne i górnicze [21], Prawo ochrony środowiska [20] i rozporządzenia wykonawcze [13] nakładają obowiązek ochrony otoczenia, poprzez prowadzenie działalności profilaktycznej.

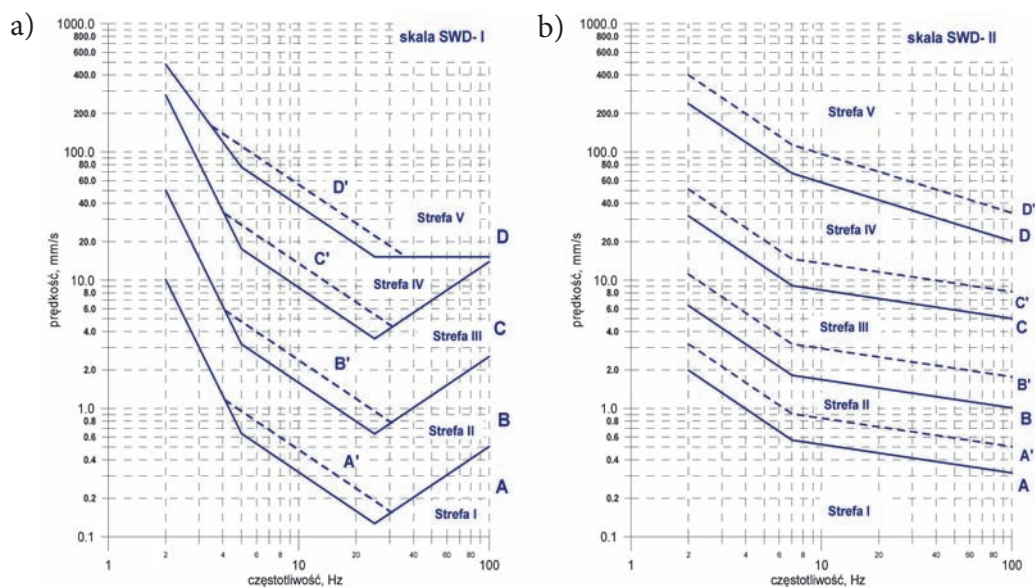
Prace nad stosowanymi obecnie w Polsce Skalami Wpływów Dynamicznych (SWD) rozpoczęto z początkiem lat sześćdziesiątych XX wieku. Skupiono się w nich zarówno na czynnikach związanych bezpośrednio z intensywnością oddziaływania, jak również z rodzajem konstrukcji budynku, typem podłoża, a nawet charakterystyką drgań. Ze względu na różne gabaryty budynków oraz różne materiały, z których zostały wykonane, wyselekcjonowano dwa najczęściej spotykane typy budynków murowych. Opierając się na wybranych budynkach, przy uwzględnieniu kryteriów uszkodzeń bazujących na granicznych wartościach naprężenia lub odkształcenia przeprowadzono obliczenia dynamiczne [3]. Efektem tego było otrzymanie nomogramów dopuszczalnych wartości prędkości, przyspieszenia lub przemieszczenia, podzielonych na strefy oddziaływania I, II, III, IV, V rozdzielone

odpowiednio granicami opisanymi literami i oznaczającymi: odczuwalność - A, sztywność - B, wytrzymałość - C oraz stateczność - D. Skale SWD I i II w wersji prędkościowej przedstawiono na rys. 1.

- Każda ze stref ma przypisane określone skutki [5, 10]:
- strefa I** – Drgania nieodczuwalne przez obiekt budowlany.
 - granica A* – Dolna granica odczuwalności drgań przez budynek, uwzględnia wpływy dynamiczne.
 - strefa II** – Drgania odczuwalne, ale nieszkodliwe, powodujące szybsze zużycie budynku.
 - granica B* – Wyznacza sztywność budynku. Określa dolną granicę powstawania zarysowań i spękań w elementach konstrukcyjnych obiektu budowlanego.
 - strefa III** – Drgania szkodliwe dla obiektu budowlanego, powodujące lokalne zarysowania i spękania. Drgania te osłabiają konstrukcję budynku, zmniejszają jego nośność oraz odporność na dalsze wpływy dynamiczne. Możliwe odpadanie zapraw i tynków.
 - granica C* – Granica wytrzymałości pojedynczych elementów budynku. Dolna granica, powyżej której może dochodzić do wystąpienia ciężkich szkód budowlanych.
 - strefa IV** – Drgania o dużej szkodliwości dla obiektu budowlanego. Efektem ich jest powstawanie licznych spękań, lokalnych zniszczeń murów i innych pojedynczych elementów budynku.
 - granica D* – Wyznacza stateczność budynku, powyżej której może dojść do uszkodzenia obiektu.
 - strefa V** – Drgania powodujące walenie się murów, spadanie stropów. W przypadku występowania drgań zakwalifikowanych do strefy V występuje zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi.

Granice niższe (linie ciągłe), przedstawione na rys. 1. odnoszą się do budynków starszych, odznaczających się słabszą konstrukcją, a *granice wyższe* (linia ciągła) do nowszych konstrukcji budowlanych.

Opracowana norma PN:B-02170:1985, znalazła zastosowanie do oceny oddziaływania drgań na obiekty budowlane, jak również do ich projektowania, jeżeli przewiduje się



Rys. 1. Prędkościowe skale SWD I – a, i SWD II – b [5]

Fig. 1. The SWD I and SWD II histogram - velocity version [5]

również występowanie oddziaływania parasejsmicznego. Standard polski podzielił drgania ze względu na czas działania na krótkotrwałe, długotrwałe lub występujące stale [11].

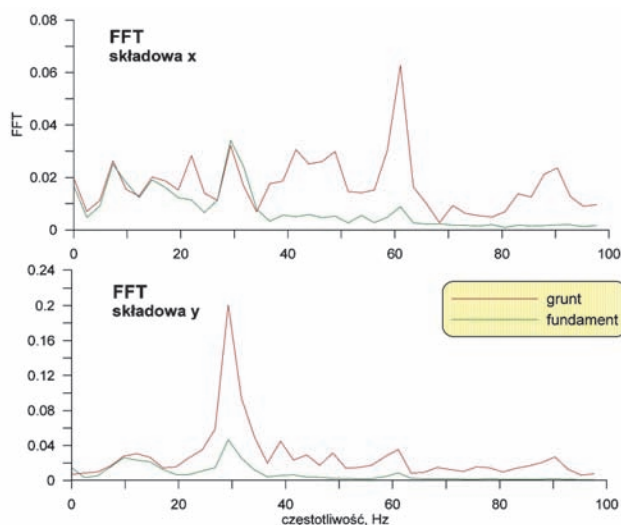
Jak wcześniej wspomniano, skale SWD skonstruowano dla dwóch typów budynków. Skala SWD I odnosi się do budynków zwartych, o małych wymiarach rzutu poziomego (do 15 m), o jednej lub dwóch kondygnacjach i wysokości takiej, aby nie przekraczała żadnego z wymiarów rzutu poziomego. Druga skala dotyczy budynków kilkukondygnacyjnych (do pięciu), o konstrukcji murowej lub mieszanej spełniającej warunek $h/b < 2$ (h - wysokość budynku, b - najmniejsza jego szerokość), a także budynków niskich, mających do dwóch kondygnacji, lecz niespełniających warunków podanych dla SWD-I [11].

3. Ocena oddziaływania

Przeprowadzenie wstępnej analizy intensywności drgań polega na wyznaczeniu maksymalnych wartości mierzonego parametru. Zalecanym parametrem poddawany ocenie jest prędkość drgań, [9, 10]. Należy zwrócić uwagę, że ujęcie w toku postępowania tylko wartości maksymalnych prędkości drgań bez uwzględnienia różnych rodzajów fal (faz), pojawiających się wraz ze zmianą odległości jest niewystarczające [16]. Impulsowy charakter oraz złożona budowa drgań, wzbudzonych robotami strzałowymi wymusza dokładne poznanie struktury częstotliwościowej (częstotliwości dominującej). Uzyskuje się ją poprzez zastosowanie matematycznej analizy widmowej (przekształcenie Fouriera - *Fast Fourier Transform*). Efektem tego jest tzw. analiza gęstości energii, czyli określenie w jakim stopniu poszczególne częstotliwości biorą udział w budowie obrazu drgań. Często na otrzymanym wykresie oprócz zakresu częstotliwości dominujących można wyróżnić tak zwane częstotliwości lokalne (chwilowe), które są związane z lokalnymi maksymalnymi amplitudami drgań. Przeważnie jednak wartości częstotliwości chwilowych zarejestrowanych na składowych poziomych są wyższe od wartości częstotliwości dominującej. Jak zauważono w pracy [10] występuje liniowy spadek wartości rejestrowanych częstotliwości, który jest niezależny od miejsca i sposobu generowanego drgań. Dodatkowo sama struktura częstotliwościowa drgań gruntu będzie miała znaczący wpływ na charakterystykę drgań obiektu chronionego. Budynek poddawany wymuszeniom parasejsmicznym na skutek ciężaru własnego, konstrukcji fundamentów oraz sposobu połączenia elementów konstrukcyjnych będzie stanowił selektywny filtr, który będzie przyjmował określone częstotliwości [10]. Na rys. 2 przedstawiono analizę Fouriera dla składowych poziomych drgań zarejestrowanych na gruncie oraz fundamentie budynku chronionego znajdującego się w otoczeniu kopalni dolomitu. Obiekt budowlany usytuowany jest w odległości 470 metrów od miejsca wykonywania robót strzałowych. Pomiary drgań gruntu wykonano w odległości 1,5 m od ściany nośnej obiektu, na której zainstalowano drugi geofon pomiarowy.

Jak wynika z rys. 2, dla składowej poziomej x , obiekt budowlany zadziałał jak filtr dolnoprzepustowy czyli nie przyjął wyższych wartości częstotliwości. Poznanie dokładnej struktury częstotliwościowej jest konieczne celem przeprowadzenia prawidłowej oceny oddziaływania drgań rejestrowanych na elementach konstrukcyjnych.

Szkodliwość drgań można wyznaczyć poprzez zastosowanie analizy w pasmach 1/3 oktaowych. Z zarejestrowanych pełnych przebiegów drgań wybiera się te, które odznaczają



Rys 2. Analiza Fouriera dla składowych poziomych gruntu i budynku [7]

Fig. 2. FFT analysis of horizontal constituents of the ground and construction vibration [7]

się największą intensywnością składowych w kierunku osi poprzecznej oraz podłużnej. Dopiero drgania rozłożone na składowe prostsze, w zadanych pasmach tercjowych poddaje się dalszej ocenie [8, 10, 17].

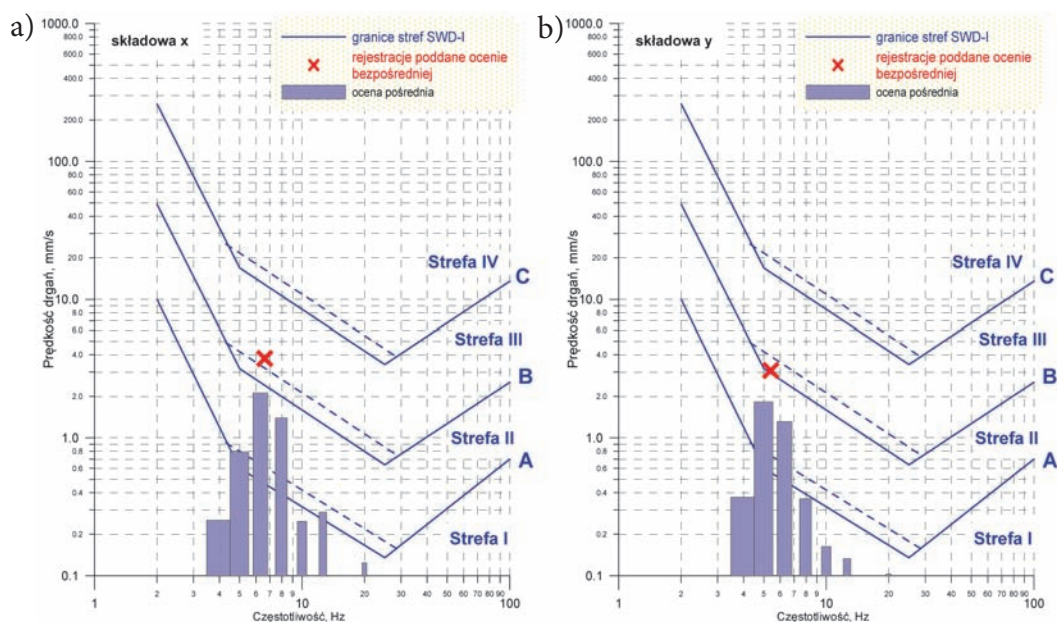
Na rys. 3 przedstawiono odpowiednio porównanie drgań dla składowych x oraz y , poddanych ocenie pośredniej oraz bezpośredniej dla robót strzałowych wykonywanych w odkrywkowej kopalni dolomitu [3]. Oceny oddziaływania przeprowadza się dla starego obiektu budowlanego, na którym wystąpiły niewielkie uszkodzenia.

Poddając ocenie oddziaływania drgania przy użyciu oceny bezpośredniej, zarejestrowane wartości należy zakwalifikować do III strefy, jako szkodliwe dla obiektu budowlanego. Należy zwrócić uwagę, że ocenę bezpośrednią stosuje się wyłącznie dla obciążeń o charakterystyce bliskiej harmonicznej. W przypadku drgań parasejsmicznych, których charakterystyka w dziedzinie czasu i częstotliwości ma charakter impulsowy stosuje się analizę tercjową przebiegu. W wyniku poddania drgania dalszej analizie z zastosowaniem filtrów w pasmach 1/3 oktaowych obserwuje się obniżenie intensywności oddziaływania. Efektem tego jest zakwalifikowanie drgań przy użyciu metody pośredniej do II strefy oddziaływania, jako odczuwalnych, ale nieszkodliwych dla obiektu budowlanego [8].

Problematyka odnosząca się do braku w normie wskazań dotyczących zastosowania analiz filtracyjnych dla drgań krótkotrwałych była szeroko dyskutowana przez autorów prac [8] i [17].

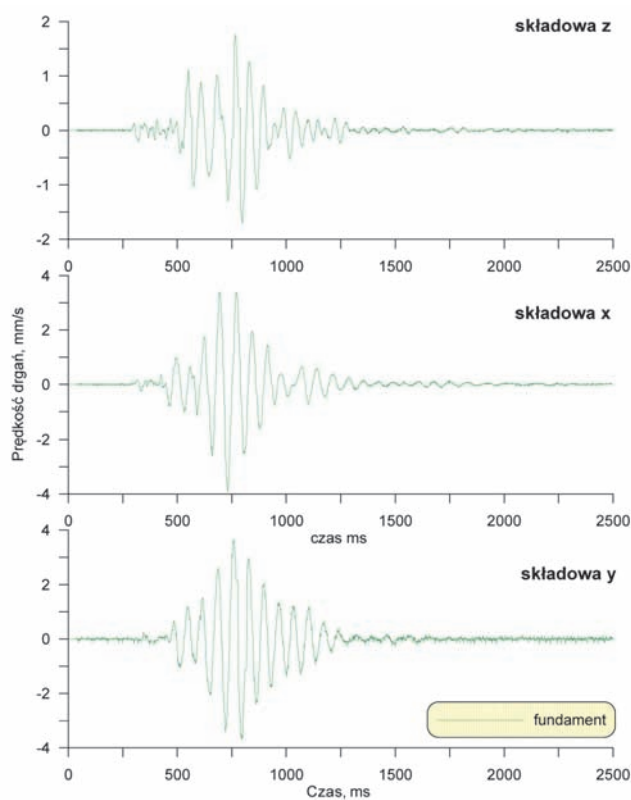
Dodatkowo należy rozpatrzyć sytuację kiedy drgania zalicza się do III strefy oddziaływania wg oceny bezpośredniej wykonanej dla obiektu budowlanego nieuszkodzonego. Przykładowy przebieg drgań zarejestrowanych podczas wykonywania robót strzałowych w kopalni wapienia zaprezentowano na rys. 4. Przebieg poddano następnie analizie tercjowej (rys. 5).

W rozumieniu polskiej normy [11] drgania poddane analizie tercjowej (rys. 5) należy zakwalifikować do III strefy skali SWD-I z interpretacją jako drgania szkodliwe dla budynku, czego efektem powinny być uszkodzenia elementów konstrukcyjnych. Jednak jak podają autorzy normy, podana ocena rzeczywiście byłaby prawidłowa, gdyby drgania



Rys. 3. Analiza drgań przy użyciu metody bezpośredniej – a, oraz pośredniej – b

Fig. 3. The direct and indirect method of vibration analysis



Rys. 4. Przebieg składowych zarejestrowanego drgania

Fig. 4. Vibration components recorded on the construction structure

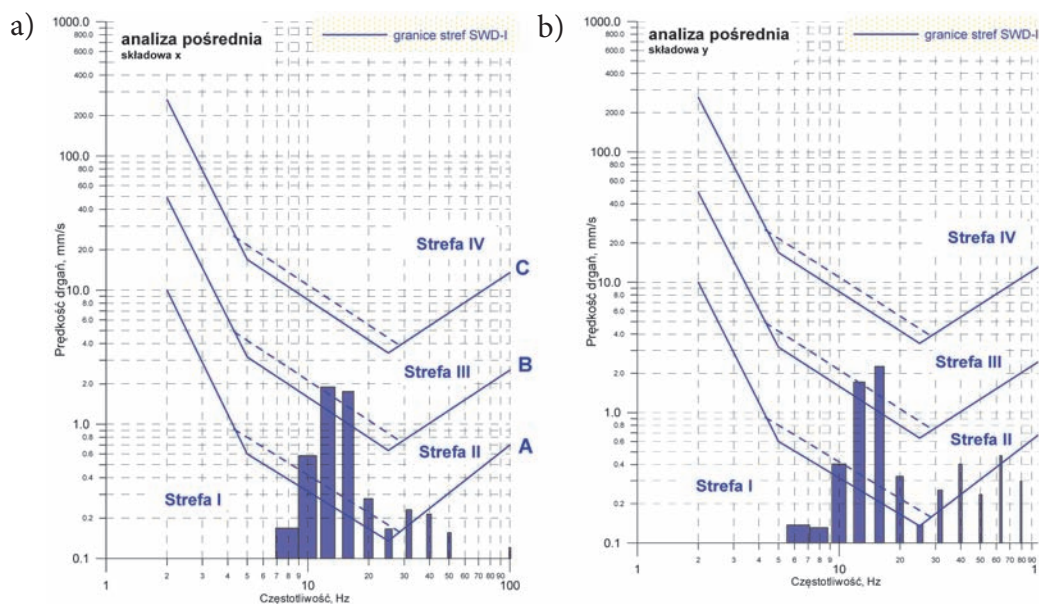
o intensywności, jak na rys. 5, oddziaływały na konstrukcję analizowanego budynku w sposób długotrwały, a więc sumaryczny czas ich trwania w ciągu doby jest większy niż 3 minuty, a krótszy niż 30 minut. Skale SWD zostały określone przy założeniu drgań harmonicznym i o długim czasie działania. Konsekwencją tego było uwzględnienie efektu zmęczenia materiału w zarejestrowanym poziomie

drgań. Z zaprezentowanego przebiegu na rys. 4 zauważa się wytlumienie pierwszej fazy działania drgań oraz wystąpienie krótkiego okresu działania drugiej, najintensywniejszej fazy (charakteryzującej się wysokimi wartościami amplitud prędkości oraz niskimi wartościami częstotliwości), trwającej około 0,7 s. Z tego względu, jak podają autorzy, w wyniku spełnienia warunków zamieszczonych w tabeli 4 normy [11] drgania o zaprezentowanej charakterystyce można traktować jako drgania należące do II strefy skali SWD-I, czyli odczuwalne, ale nieszkodliwe dla obiektu budowlanego [8].

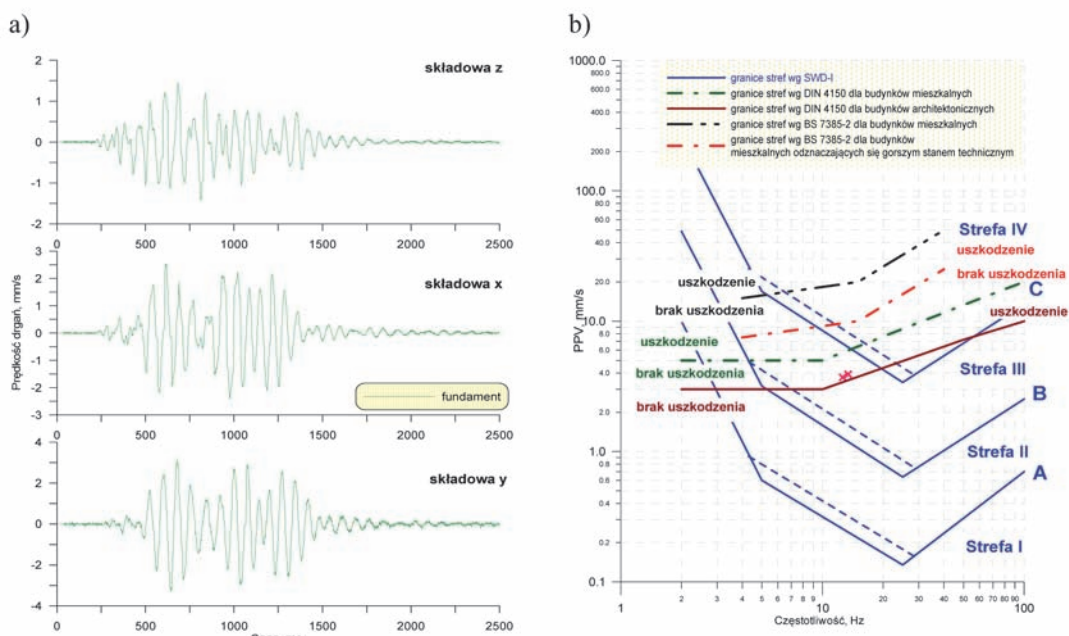
Dokonując przeglądu wytycznych zagranicznych, maksymalne wartości prędkości drgań (PPV) są podstawą do oceny intensywności w przypadku norm zagranicznych, np. brytyjskiej [1] czy niemieckiej [2]. Należy zwrócić uwagę, że wymienione normy ograniczają się do krótkotrwałego czasu działania drgań parasejsmicznych, zwłaszcza w normie brytyjskiej, która została opracowana pod kątem oddziaływania wywołwanego podczas prowadzenia robót strzałowych. Dodatkowo został w nich podany podział na różne typy konstrukcji budowlanych. Powyższe argumenty przyczyniają się do tego, że będą występowały znaczne różnice w dopuszczalnych wartościach prędkości drgań w korelacji z odpowiadającymi im częstotliwościami w normach zagranicznych i skalami wpływów dynamicznych. Nieuwzględnianie informacji o założeniach projektowych normy polskiej i bezpośrednie porównanie granic oddziaływania drgań na obiekty budowlane z maksymalnymi chwilowymi wartościami prędkości drgań, jakie zawarte są w normach zagranicznych, może powodować błędy w ocenie skutków tego oddziaływania.

Na rys. 6 b przedstawiono ocenę oddziaływania drgań według normy polskiej oraz norm zagranicznych. Pomiary drgań przeprowadzono wg wytycznych norm [1, 2, 11] dla starszego obiektu mieszkalnego, który odznaczał się występowaniem niewielkich uszkodzeń. Przebiegi zarejestrowanych drgań poddano dalszej analizie na podstawie kryteriów dla obiektów mieszkalnych zawartych w normach [1, 2, 11], zaprezentowano na rys. 6 a.

Na rys. 6 b zauważa się, że linia graniczna przedstawiona w normie niemieckiej oraz brytyjskiej informuje tylko, czy zarejestrowane wartości szczytowe prędkości drgań cząstek PPV powodują pojawienie się uszkodzenia w obiekcie bu-



Rys. 5. Ocena oddziaływania drgań przy użyciu analizy pośredniej
 Fig. 5. Paraseismic evaluation of the vibration using the indirect method



Rys. 6. a) Zarejestrowany przebieg drgania parasejsmicznego b) Ocena oddziaływania zarejestrowanych drgań według [11] i zagranicznych skal wpływów dynamicznych [1, 2]
 Fig. 6. a) Recorded paraseismic vibration b) Paraseismic evaluation of recorded vibration according to Polish [11] and international standards [1, 2]

dowlanym, czy też nie. Stanowi to wyraźną różnicę dla skal polskich. Skale wpływów dynamicznych rozróżniają różne strefy oddziaływania, którym przypisują odpowiednio różne skutki. W przypadku prowadzenia oceny oddziaływania dla obiektów budowlanych architektonicznych lub odznaczających się złym stanem technicznym, norma brytyjska nakazuje obniżenie granicznych wartości PPV o połowę. Standardy niemieckie wprowadzają dodatkową linię graniczną (wartości zredukowane o ok. 40%). W przypadku normy polskiej zaprezentowane linie graniczne A, B, C dotyczą obiektów starszych. Ocenę dla obiektów nowszych, odznaczających się dobrym stanem technicznym i spełniających warunki dla drgań krótko-

trwałych podanych w tabeli 4 normy [11], prowadzi się względem nieznacznie zmodyfikowanym wartościom prędkości przedstawionych na rys 6. b jako niebieskie linie przerywane.

Wykonując analizę dla PPV oraz uwzględniając, że obiekt nie spełnia wszystkich wymagań dla drgań krótkotrwałych przedstawionych w normie [11], należy zakwalifikować zarejestrowane wibracje (rys. 6) do III strefy SWD-I z interpretacją jako drgania szkodliwe dla budynku, mogące wywoływać lokalne uszkodzenia elementów konstrukcyjnych. Interpretując te same drgania według wytycznych zagranicznych, normy [1], dla typu konstrukcji charakterystycznej dla obiektów mieszkalnych (uszkodzonych), należy ocenić je jako nieod-

czuwalne dla obiektu (niewywołujące żadnego uszkodzenia). W przypadku normy niemieckiej [2] zarejestrowane drgania należy uznać za szkodliwe dla obiektu. W tym miejscu przytacza się ponownie różnice w dopuszczalnych wartościach prędkości drgań w zależności od rodzaju i typu konstrukcji zawartych w normach zagranicznych oraz normie polskiej. Wynikiem tego jest możliwość uzyskania różnej oceny oddziaływania tego samego drgania zarejestrowanego w tych samych warunkach.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono problematykę oceny oddziaływania drgań na obiekty budowlane przy użyciu analizy tercjowej oraz oceny bezpośredniej z wykorzystaniem polskiej skali SWD-I, oraz porównano zarejestrowane wartości prędkości drgań z granicznymi wartościami PPV określonymi dla norm zagranicznych – brytyjskiej i niemieckiej.

Na podstawie przeprowadzonych analiz, oraz doświadczeń specjalistów z zakresu poruszanej tematyki [8, 17] można stwierdzić, że w przypadku drgań o charakterze impulsowym koniecznym jest stosowanie analizy tercjowej. Ocena na podstawie maksymalnych wartości może prowadzić do zawyżenia wyników (rys. 3) [8, 12].

Przeprowadzone porównanie wyników oceny drgań zgodnie z wytycznymi polskimi, niemieckimi oraz brytyjskimi dla obiektu mieszkalnego (dom jednorodzinny), wykazało rozbieżności w interpretacji wyników. Różnice w ocenie mogą wynikać ze stanu budownictwa w poszczególnych krajach. Należy jednak pamiętać o różnych kryteriach i założeniach występujących przy prowadzeniu oceny oddziaływania przy użyciu norm zagranicznych. Swoboda oraz brak znajomości stosowanych standardów może prowadzić do błędów w interpretacji oddziaływania.

Drgania wywołane podczas detonacji MW odznaczają się skomplikowaną strukturą, przez co wyniki oceny pośredniej oraz analizy tercjowej mogą nie dostarczyć wszystkich informacji do przeprowadzenia prawidłowej oceny ich oddziaływania na obiekty budowlane. W wyniku braku zunifikowanych parametrów określających dopuszczalne wartości prędkości, jak również niekiedy różnice w sposobie pomiaru czy rozmieszczenia czujników, maksymalne prędkości drgań częstotliwości PPV są wielkościami trudnymi do zinterpretowania oraz oszacowania. Dopelnieniem powyższych analiz mogą być rezultaty metody *Matching Pursuit* (MP), szerzej opisanej w pracy [16]. Analiza MP dostarcza dodatkowych danych m.in. o procentowym udziale poszczególnych częstotliwości w energii sygnału, jak również wskazuje strukturę budowy sygnału przez poszczególne atomy Gabora.

Literatura

1. BS 7385-2:1993, Evaluation and measurement for vibration in buildings. Part 2 Guide to damage levels from groundborne vibration.

2. DIN - 4150-3, Structural vibration - Effects of vibration on structures.
3. Ciesielski R.: Ujęcie obliczeniowe oraz ocena wpływu drgań i wstrząsów pochodzących ze źródeł zewnętrznych na niektóre typy budowli. „Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej” nr 1, Budownictwo Lądowe 4, 1961.
4. Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E.: Ocena wpływu wibracji na budowle i ludzi w budynkach: diagnostyka dynamiczna. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 1993.
5. Ciesielski R.: Ocena szkodliwości wpływów dynamicznych w budownictwie. Seria Wydawnictw Wydziału Szkolenia i Wydawnictw Biura ZG PZITB. Arkady, Warszawa 1973.
6. Kawecki J., Stypuła K.: Błędy w prognozowaniu i diagnostyce wpływów dynamicznych na budynki. „Czasopismo Techniczne. Mechanika” 2008, nr 1, s. 127-136.
7. Korzeniowski J.I., Onderka Z.: Roboty strzelnicze w górnictwie odkrywkowym. Wrocław 2006.
8. Maciąg E., Tatara T.: Porównanie oceny szkodliwości drgań od wstrząsów górniczych dla niskiego budynku murowanego na podstawie skal SWD i analizy tercjowej. PAN Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Zagrożenia Naturalne w Górnictwie, Warsztaty 99, 1999, s. 169-183.
9. Onderka Z.: Technika strzelnicza w górnictwie odkrywkowym. Skrypt uczelniany AGH nr 1241. Wydawnictwo Akademii Górniczo Hutniczej, Kraków 1992.
10. Onderka Z., Sieradzki J., Winzer J.: Technika strzelnicza 2. Wpływ robót strzelniczych na otoczenie kopalni. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne Akademii Górniczo Hutniczej, Kraków 2003.
11. PN:B-02170:1985, Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
12. Pyra J.: Ocena oddziaływania górniczych robót strzałowych na obiekty budowlane. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” 2008, nr 3, s. 41-47.
13. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 1 kwietnia 2003 r. w sprawie przechowywania i używania środków strzałowych i sprzętu strzałowego w zakładach górniczych. Dz.U. 2003 nr 72 poz. 655.
14. Shoji Y., Tani K., Kamiyama M.: The duration and amplitude characteristics of earthquake ground motions with emphasis on local site effects. The 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 436.
15. SN 640 312:1978, Les ébranlements. Effet des ébranlements sur les constructions.
16. Soltys A.: Analiza oddziaływania na otoczenie drgań wzbudzanych przez roboty strzałowe z zastosowaniem metody MP. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie (praca doktorska) 2011.
17. Tatara T.: Odporność dynamiczna obiektów budowlanych w warunkach wstrząsów górniczych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
18. Trifunac, M.D. and Brady, A.G.: A study on the duration of strong earthquake ground motion. Bulletin of the Seismological Society of America 65, 1975, s. 581-626.
19. UNE 22.381/93 Control de Vibraciones producidaspor Voladuras.
20. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627.
21. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. 2011 nr 163 poz. 981.