

Porównanie oceny oddziaływania drgań wzbudzanych robotami strzałowymi przy użyciu normy polskiej i hiszpańskiej

Comparison of the ground-born vibration assessment according to Polish and Spanish standard



Dr inż. Józef Pyra^{*)}



Dr inż. Andrzej Biessikirski^{*)}



Jose Luis González Ortego^{**)}

Treść: W pracy przedstawiono analizę oddziaływania drgań, wzbudzanych wykonywaniem robót strzałowych w kopalniach odkrywkowych, w oparciu o normę polską oraz hiszpańską. Omówiono założenia norm oraz sposób prowadzenia analizy. Zauważono, że ocena oddziaływania w normie hiszpańskiej polega na naniesieniu na skalę maksymalnych wartości prędkości drgań w zależności od ich częstotliwości, zaś w normie polskiej zdarzenia poddaje się analizie w pasmach 1/3 oktawowych. Uzyskane rezultaty rozpatrywano dla dwóch przypadków obiektu architektonicznego oraz budynku w dobrym stanie technicznym. W przypadku budynku w dobrym stanie technicznym wyniki uzyskane na podstawie oceny oddziaływania względem obydwu norm wykazały, że rejestrowane drgania były nieszkodliwe dla konstrukcji. Gdy przyjęto, że obiekt chroniony był obiektem architektonicznym uzyskano przeciwstawną interpretację oceny. Różnica w ocenie wynikała z różnych dopuszczalnych wartości prędkości, określających możliwość wystąpienia uszkodzenia.

Abstract: The evaluation of ground-born vibrations, induced by the blasting works, was made according to Polish and Spanish standard. Moreover standards assumption and construction were discussed in this paper. It was noted that evaluation of the vibrations according to Spanish standard consists on applying the peak particle velocity on the scale, while in the Polish standard vibrations have to be assess by the octave analysis. Obtained results were considered in two different cases as an architectural object and as a structure in a good technical condition. In the case of a building in a good condition, obtained results according to Polish and Spanish standard showed that recorded vibrations were harmless to the structure. In case of architectural object, a different interpretation was obtained. It was resulted from various permissible velocity values which determining the possible presence of damage.

Słowa kluczowe:

drgania parasejsmiczne, ocena oddziaływania, PN-B-02170:2016-12, UNE 22.381/93

Keywords:

ground-born vibration, evaluation of the ground born-vibration, PN-B-02170:2016-12, UNE 22.381/93

1. Wstęp

Urabianie utworów trudno urabialnych prowadzone jest w zakładach górniczych przy użyciu materiałów wybucho-

wych (MW). W wyniku detonacji, około 70.0-80.0% powstałej energii jest dyssypowana do otoczenia pod postacią oddziaływania: powietrznej fali uderzeniowej przechodzącej w falę akustyczną, rozrzutu odłamków skalnych oraz drgań parasejsmicznych, z czego największa część energii tracona jest w postaci drgań parasejsmicznych (Pyra 2008). Uwzględniając, że w otoczeniu kopalń odkrywkowych powstaje coraz więcej

^{*)} AGH Akademia Górniczo Hutnicza, -Kraków

^{**)} ETSI Minas y Energias UPM

obiektów budowlanych, koniecznym staje się monitorowanie poziomu intensywności drgań. Każde zarejestrowane zdarzenie należy jednak rozpatrywać indywidualnie, celem sprawdzenia czy ma ono potencjalnie negatywny skutek czy jest nieszkodliwe dla konstrukcji. W tym celu stosuje się w zależności od kraju różne normy tj. (BS 7385-2:1993, 1993; DIN 4150-3, 1986; PN-B-02170:2016-12; UNE 22.381/93; USBM RI 8507). Samo zagadnienie oceny oddziaływania w oparciu o polską normę jak również standardy zagraniczne było dyskutowane przez (Pyra 2008; Biessikirski i in. 2015; Winzer i in. 2016), (Sołtys i in. 2017; Stypuła 2017).

Należy zauważyć, że większość krajów posiada indywidualne wytyczne odnośnie oceny oddziaływania, które różnią się między sobą. Największe różnice zauważalne są zarówno w sposobie prowadzenia pomiaru, np. (USBM RI 8507) nakazuje wykonanie analiz dla drgań zarejestrowanych na gruncie, zaś w przypadku kryteriów, np. (DIN 4150-3, 1986) i (PN-B-02170:2016-12), analizowane są drgania rejestrowane na ścianie nośnej obiektu budowlanego, jak również konstrukcji samej normy (różne: typy/klasy obiektów budowlanych, wartości dopuszczalnych prędkości drgań w zależności od ich częstotliwości, metody analizy). Dodatkowo w Polsce, nie jest nakazane prowadzenie oceny oddziaływania tylko i wyłącznie w oparciu o (PN-B-02170:2016-12), lecz dopuszcza się stosowanie innych wytycznych zagranicznych. Uwzględniając przy tym różnice w konstrukcji poszczególnych norm oraz w uzyskanych na ich podstawie wynikach analiz, może okazać się koniecznym posiadanie zunifikowanych standardów, takich jak np. Eurocode 8.

1.1. Norma polska: PN-B-02170:2016-12

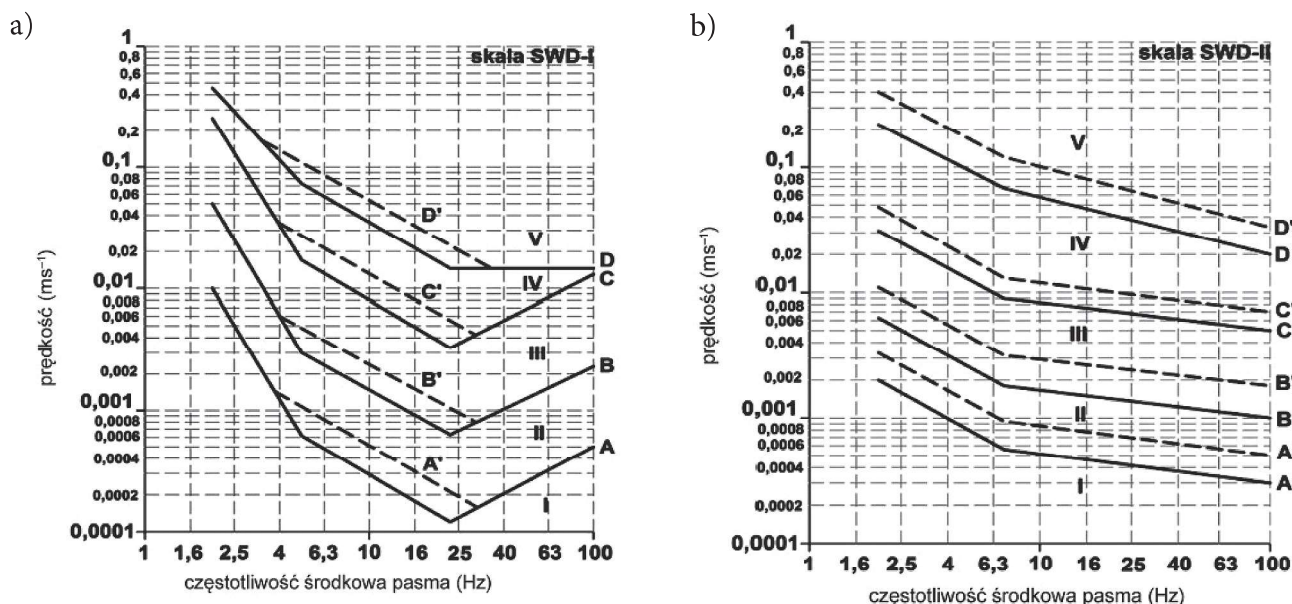
Norma (PN-B-02170:2016-12) jest uaktualnieniem wytycznych (PN-B-02170:1985) i stosuje się ją w diagnostyce i ocenie drgań pochodzących z eksploatowanych albo projektowanych źródeł drgań na istniejące i projektowane budynki, jak również urządzenia w nich umieszczone. W normie wyróżniono dwie skale wpływów dynamicznych (SWD). SWD-I stosuje się do budynków o zwartym kształcie, małych wymiarach zewnętrznych rzutu poziomego (nieprzekraczających 15 m), jedno i dwukondygnacyjnych i o wysokości nieprzekraczającej żadnego z wymiarów rzutu poziomego

(PN-B-02170:2016-12). Skalę SWD-II wykorzystuje się w przypadku budynków nie wyższych niż pięć kondygnacji nadziemnych, których wysokość jest mniejsza od podwójnej najmniejszej szerokości budynku oraz do budynków niskich, które nie spełniają kryteriów ujętych dla skali SWD-I (PN-B-02170:2016-12). Przykładowe nomogramy w wersji prędkościowej dla skali SWD-I i SWD-II przedstawiono na rys. 1.

Norma (PN-B-02170:2016-12) nakazuje prowadzenie oceny oddziaływania względem składowych płaskich (drgania zarejestrowane na kierunku zgodnym z osią x oraz osią y względem źródła propagacji). Jak podaje norma (PN-B-02170:2016-12), punkt pomiarowy musi być umieszczony od strony źródła drgań w sztywnym węźle komunikacyjnym, na przecięciu ścian nośnych w dwóch kierunkach. Dodatkowo powinien on być zlokalizowany na fundamencie budynku albo w sztywnym węźle na ścianie kondygnacji podziemnej w poziomie otaczającego terenu. Uzyskane rejestracje pełnych przebiegów drgań poddaje się analizie w pasmach 1/3-oktawowych.

Skale podzielone są na pięć stref (I, II, III, IV, V), oddzielonych czterema liniami granicznymi (A, B, C, D). Podział stref szkodliwości został wykonany w oparciu o następujące kryteria (PN-B-02170:2016-12):

- *strefa I* – drgania pomijalne w ocenie wpływu drgań na budynek,
- Linia A** – dolna granica uwzględnienia wpływów dynamicznych na budynek, przy drganiach poniżej tej granicy można nie uwzględniać wpływów dynamicznych,
- *strefa II* – drgania nieszkodliwe dla konstrukcji, można jednak spodziewać się przyspieszonego zużycia budynku i pierwszych rys w wyprawach, tynkach, zarysowaniach w narożnikach ścian i fasadach itp.,
- Linia B** – granica sztywności budynku, dolna granica powstawania zarysowań i spękań w elementach konstrukcyjnych,
- *strefa III* – drgania szkodliwe dla budynku, powodują i spękania, przez co osłabiają konstrukcję budynku, i zmniejszają jego nośność oraz odporność na dalsze wpływy dynamiczne, może nastąpić odpadanie wypraw i tynków, mogą powstawać zarysowania na stykach elementów konstrukcyjnych,



Rys. 1. Nomogramy dopuszczalnych prędkości drgań dla SWD-I i SWD-II

Fig. 1. Permissible limit of ground vibration according to SWD-I and SWD-II

Linia C – granica wytrzymałości pojedynczych elementów budynku, dolna granica ciężkich szkód budowlanych,

- **strefa IV** – drgania o dużej szkodliwości dla budynku, stanowią zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi, powstają liczne spękania, lokalne zniszczenie ścian i innych pojedynczych elementów konstrukcyjnych budynku, istnieje możliwość spadania przedmiotów zawieszonych, odpadanie płyt wypraw sufitów, odpadanie gzymsów, spadanie dachówek, wysunięcia się belek stropowych z łożysk itp., wymagane możliwie szybkie usunięcie źródła drgań lub zmniejszenie jego wpływów,

Linia D – granica stateczności konstrukcji, dolna granica awarii całego budynku, drgania powyżej tej granicy mogą spowodować awarię budynku i zagrażają bezpieczeństwu życia ludzkiego,

- **strefa V** – drgania powodują awarię budynku przez walenie się ścian, spadanie stropów itp., pełne zagrożenie bezpieczeństwa życia ludzkiego, w przypadku groźby powstania drgań tego typu budynek nie może być użytkowany.

Granice stref podano w dwóch wariantach, linie przerywane i linie ciągłe, rys. X. Stosowanie się do odpowiedniej linii granicznej jest uzależnione od oceny obiektu, typu podłoża, na którym jest posadowiony oraz rodzaju drgań (drgania długotrwałe albo występujące stale lub drgania krótkotrwałe). Szczegółowe kryteria klasyfikacji przedstawiono w tabeli 4, normy (PN-B-02170:2016-12).

1.2. Norma hiszpańska: UNE 22.381/93

W normie hiszpańskiej zauważono, że spadek energii maleje wraz z odległością od miejsca wykonywania robót

strzałowych (UNE 22.381/93; Jesús, de Blas 2012a; 2012b). Norma (UNE 22.381/93), oprócz kryterium prędkościowego (maksymalne wartości prędkości wyrażone w $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ - PPV), uwzględnia wielkość częstotliwości dominującej. Założenie do normy podaje, że celem sprawdzenia czy rejestrowane częstotliwości drgań są zbliżone do częstotliwości rezonansowej budynku należy zastosować analizę Fouriera FFT (*Fast Fourier Transform*) oraz wyznaczyć pseudoprędkościowe spektra odpowiedzi.

Autorzy normy (UNE 22.381/93), wprowadzili podział na trzy klasy obiektów budowlanych, tabela 1.

Nieuwzględnione w tabeli 1 obiekty budowlane wymagają osobnego traktowania, po określeniu dopuszczalnych granicznych wartości prędkości i częstotliwości (UNE 22.381/93; Jesús, de Blas 2012b).

Uzyskane z pomiarów drgań, maksymalne wartości prędkości oraz częstotliwości nanosi się na nomogram przedstawiony na rys. 2. Umożliwia to przypisanie zarejestrowanych wartości do odpowiedniej strefy, zależnej od typu obiektu budowlanego i częstotliwości.

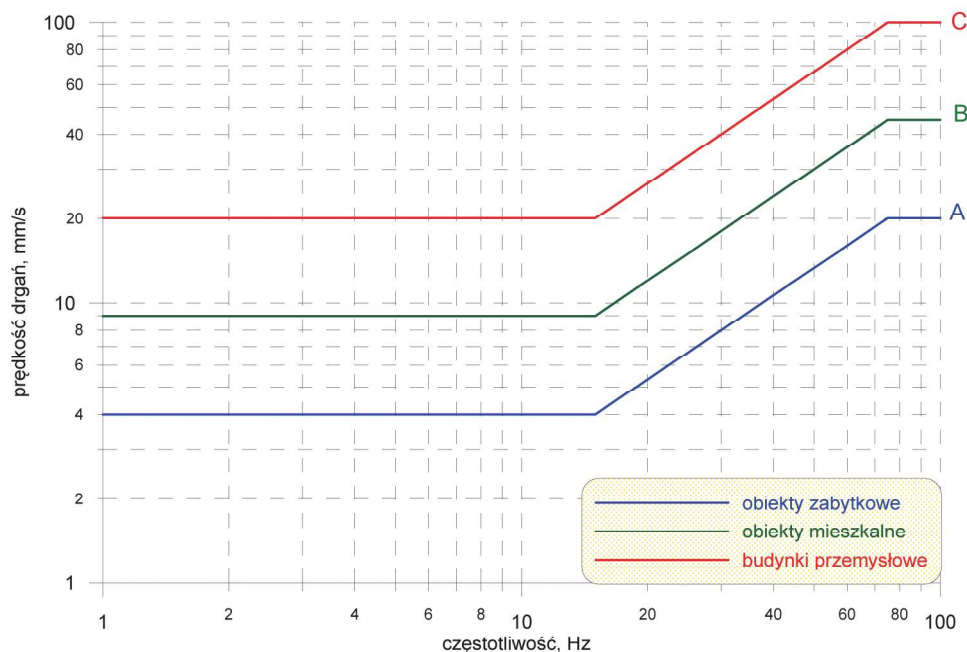
2. Przykładowa analiza wyników

Pomiary prowadzono w otoczeniu jednej z kopalni odkrywkowych zlokalizowanej w północno-zachodniej części województwa małopolskiego. Zakład posiada koncesję na wydobywanie zalegających w złożu dolomitów triasowych, dolomitów z wapieniami oraz wapieni gogolińskich, a surowiec eksploatowany jest sposobem odkrywkowym w systemie ścianowym z wieloskrzydłowym postępowaniem frontu. Pomiary

Tabela 1. Podział obiektów budowlanych na klasy ze względu na funkcję (UNE 22.381/93)

Table 1. Types of the construction according to (UNE 22.381/93)

Klasy obiektu budowlanego	Przeznaczenie obiektu
I	Budynki przemysłowe
II	Budynki mieszkalne
III	Budynki zabytkowe



Rys. 2. Nomogramy z dopuszczalnymi granicami prędkości w zależności od klasy obiektu budowlanego dla UNE 22.381/93 (UNE 22.381/93)

Fig 2. Permissible limit of ground vibration according to UNE 22.381/93 (UNE 22.381/93)

drgań wykonywano zgodnie z normą (PN-B-02170:2016-12) przy użyciu Kopalnianej Stacji Monitoringu Drgań, której sposób działania został szczegółowo opisany w pracach (Pyra 2015a; 2015b; Pyra et al. 2016). Badania prowadzono przez okres 1 roku, w którym zarejestrowano 259 zdarzeń wzbudzonych robotami strzałowymi wykonywanymi w przedmiotowej kopalni

2.1. Charakterystyka obiektu budowlanego

Obiekt chroniony (rys. 2) jest dwukondygnacyjnym budynkiem murowym bez podpiwniczenia. Strop budynku - żelbetonowy. Obiekt połączony jest z drugim budynkiem pełniącym rolę warsztatu (posadowiony jest on na osobnych fundamentach i rozgranicza je dylatacja). Budynek mieszkalny odznacza się dobrym stanem technicznym. Ze względu na fakt posadowienia obiektu budowlanego w terenie górniczym zostało wykonane wzmocnienie w postaci spięcia całego budynku stalowymi prętami (ankrowanie).

Odległość obiektu chronionego od granicy wyrobiska wynosi 200 m, a od miejsca wykonywania robót strzałowych jest zmienna i wynosiła od 300 m do 800 m.

2.2. Charakterystyka zarejestrowanych drgań

W tabeli 2, przedstawiono przykładowe parametry drgań w postaci ich maksymalnych prędkości i odpowiadających

im w czasie częstotliwości dla zdarzeń o największej intensywności, spośród 259 rejestracji. Wszystkie przebiegi drgań charakteryzują się niższymi wartościami częstotliwości, które znajdują się w zakresie: 6,1÷12,1 Hz.

Przykładowy przebieg drgań o największej intensywności (kolor szary, tabela 2), przedstawiono na rys. 4.

Na podstawie zarejestrowanego przebiegu, rys. 4., można stwierdzić, że zdarzenia pochodzące od robót strzałowych miały charakter impulsowy (sygnał transjentowy). Drgania charakteryzowały się praktycznie brakiem występowania pierwszej fazy (wysokie wartości częstotliwości oraz niskie wartości prędkości). Występuje tylko druga faza, charakteryzująca się niższymi częstotliwościami i większymi wartościami prędkości drgań. Potwierdza to wynik analizy FFT przedstawiony dla składowej x i składowej y (zarejestrowany sygnał składa się w głównej mierze z częstotliwości poniżej 20 Hz, z wartościami maksymalnymi amplitudami FFT w zakresie 5÷10 Hz), rys. 5. Rejestrowane niskie wartości częstotliwości mogą stanowić szczególne niebezpieczeństwo ze względu na możliwość wystąpienia zjawiska rezonansu.

2.3. Ocena oddziaływania wg PN-B-02170:2016-12 i UNE 22.381/93

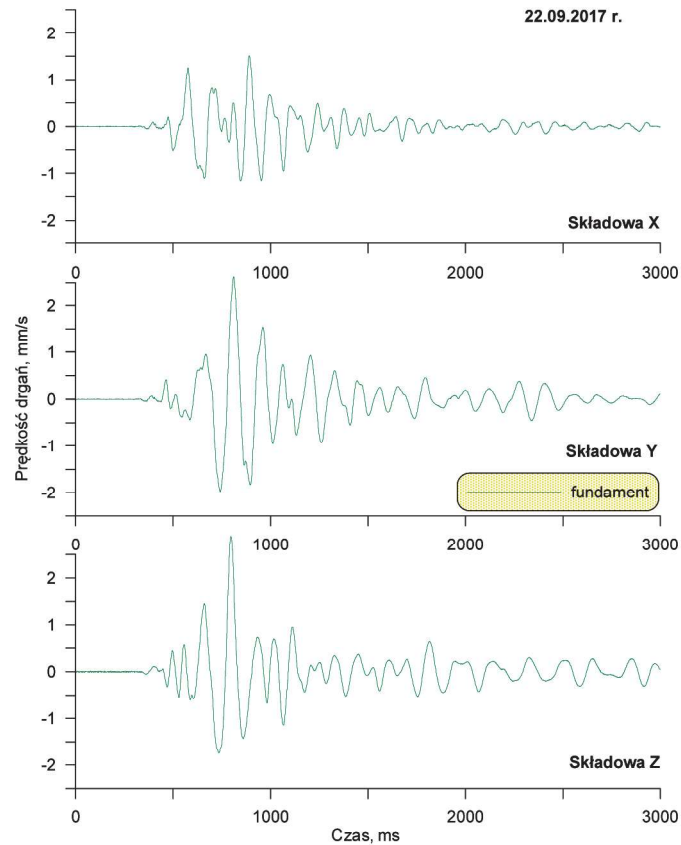
Porównanie oceny oddziaływania z użyciem norm PN-B-02170:2016-12 i UNE 22.381/93 wykonano poprzez nanieśenie na skalę zarejestrowanych wartości maksymalnych



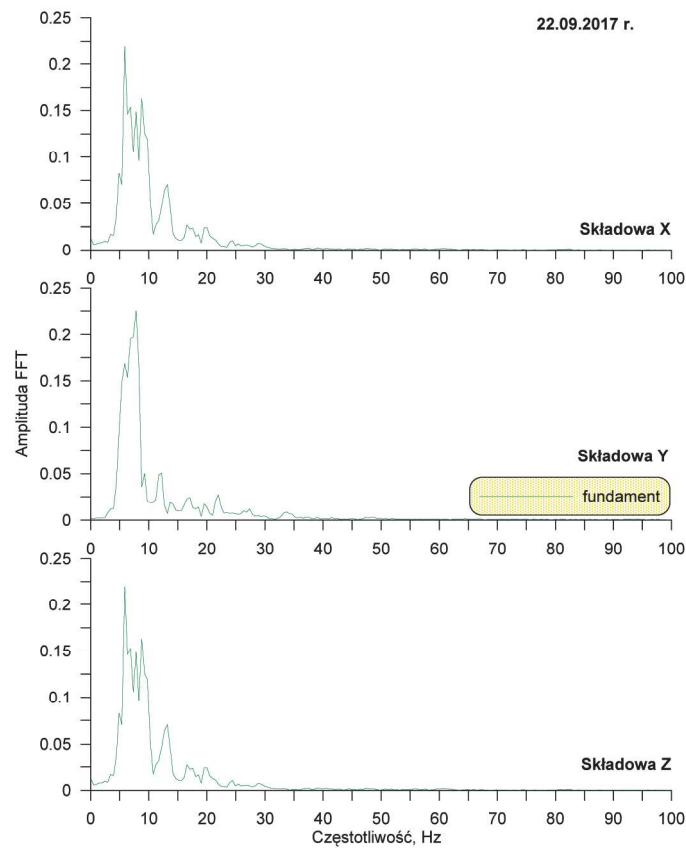
Rys. 3. Obiekt chroniony w otoczeniu kopalni
Fig. 3. Protected structure in a close proximity to the open strip mine

Tabela 2. Przykładowe wartości drgań o największej intensywności
Table 2. Exemplary vibrations of the highest intensity

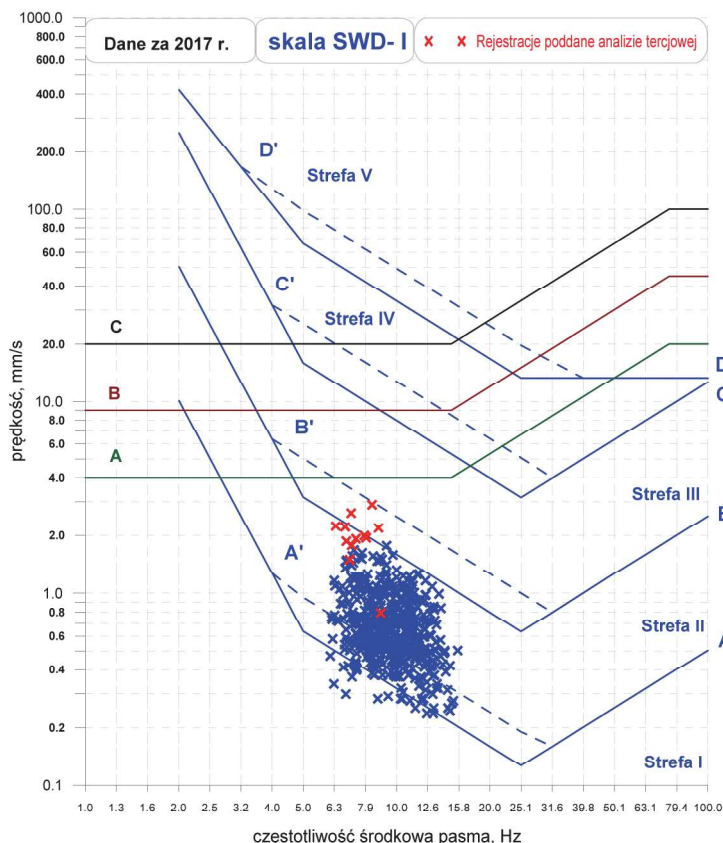
Data	Godzina	Prędkość drgań, mm ^{s⁻¹}			Częstotliwość, Hz		
		u_z	u_x	u_y	f_z	f_x	f_y
05.04.2017	13:33:34	0,98	2,24	1,78	6,3	6,4	7,2
15.05.2017	13:36:40	1,16	1,87	2,00	13,4	6,9	7,9
18.08.2017	13:33:30	1,86	2,22	2,19	11,7	6,8	8,7
22.09.2017	13:32:40	1,51	2,63	2,90	10,0	7,1	8,3
04.10.2017	13:34:46	0,95	1,50	1,92	9,9	7,1	7,4
01.12.2017	13:33:20	1,03	1,95	0,79	10,0	8,0	8,9



Rys. 4. Przebieg drgań o największej intensywności
 Fig 4. Structure of the highest intensity vibration



Rys. 5. Analiza FFT drgania o największej intensywności
 Fig. 5. FFT analysis of the highest intensity vibration



Rys. 6. Wizualizacja zarejestrowanych drgań z użyciem polskiej i hiszpańskiej normy (PN-B-02170:2016-12; UNE 22.381/93)

Fig. 6. Visualization of the ground-born vibration according to (PN-B-02170:2016-12; UNE 22.381/93)

prędkości drgań składowych poziomych w zależności od ich częstotliwości, rys. 6. Na skali naniesiono linie graniczne zarówno dla normy polskiej (niebieskie linie), jak również wytycznych hiszpańskich (zielona, brązowa i czarna linia).

W przypadku normy hiszpańskiej linia graniczna informuje tylko, czy zarejestrowane szczytowe wartości prędkości drgań powodują pojawienie się uszkodzenia w obiekcie budowlanym, czy też nie, rys 6. Stanowi to wyraźną różnicę dla skał polskich, w których rozróżnione są strefy oddziaływania, którym przypisano odpowiednio różne skutki. W przypadku prowadzenia oceny oddziaływania dla obiektów budowlanych zabytkowych lub odznaczających się złym stanem technicznym, norma hiszpańska nakazuje stosowanie się do linii A (zielona linia na rys 6), która określa, że dopuszczalne wartości PPV dla niższych wartości częstotliwości nie mogą przekroczyć 4 mm/s. Ocenę oddziaływania dla obiektów budowlanych odznaczających się dobrym stanem technicznym i spełniających warunki dla drgań krótkotrwałych podanych w tabeli 4 normy (PN-B-02170:2016-12), prowadzi się względem nieznacznie zmodyfikowanych granic A, B, C i D, przedstawionych na rysunku 6 w postaci linii przerywanych i opisów A', B', C' i D.

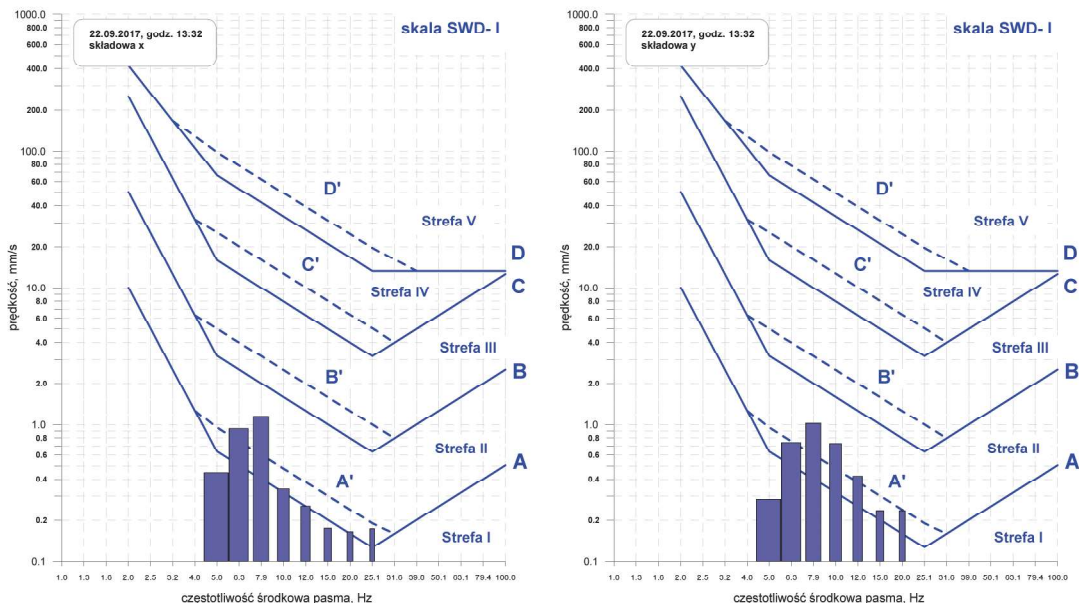
Dokonując oceny oddziaływania z zastosowaniem normy hiszpańskiej, można stwierdzić, że zarejestrowane wartości prędkości nie przekraczały 9 mm/s (maksymalna dopuszczalna wartość prędkości drgań o niższych wartościach częstotliwości). Oznacza to, że drgania należy interpretować jako niewywołujące uszkodzeń w obiekcie budowlanym. Taka sama interpretacja byłaby, gdyby obiekt był zaklasyfikowany do obiektów budowlanych zabytkowych, ponieważ wartości PPV nie przekroczyły granicy 4 mm/s.

Obecnie polska norma nie dopuszcza dokonywania oceny oddziaływania na podstawie wartości maksymalnych, mogą one tylko służyć jako wizualizacja wyników do celów poglądowych. W celu dokonania oceny oddziaływania drgań z wykorzystaniem polskiej normy należy dokonać rozkładu sygnału w pasmach 1/3 – oktaowych. Norma (UNE 22.381/93) nie przewiduje zastosowania takiego rozwiązania. W tym celu wykorzystano oprogramowanie w środowisku Matlab do wykonania takiej analizy. Wyniki analiz naniesiono na skale SWD (rys. 7) i w celu porównawczym również na skale stosowane w Hiszpanii (rys. 8).

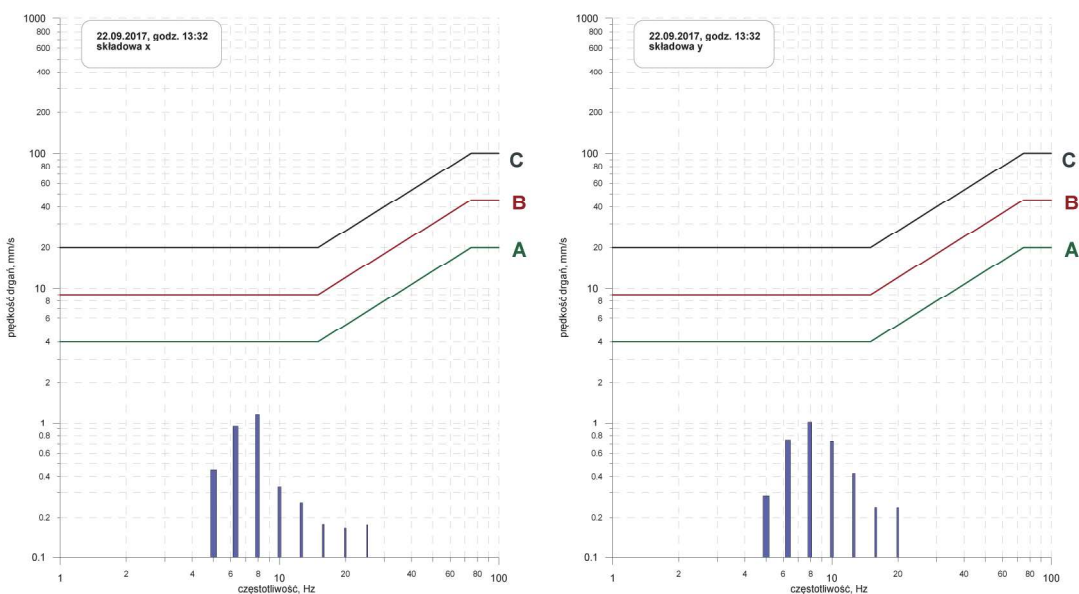
Biorąc pod uwagę wyniki analizy tercjowej dla drgań o najwyższej intensywności (rys. 7), drgania zarejestrowane na fundamencie obiektu budowlanego należy zakwalifikować do II strefy skali SWD-I z interpretacją jako drgania nieszkodliwe dla konstrukcji. Ponieważ analizowany obiekt budowlany spełnia wymagania zawarte w kolumnie 3, tabeli 4, normy PN-B-02170:2016-12, drganiom zakwalifikowanym do strefy II można przypisać skutki strefy I, a to oznacza, że zarejestrowane drgania należy uznać za pomijalne w ocenie wpływu drgań na budynki.

Podobną interpretację uzyskano również w przypadku normy hiszpańskiej, w której dopuszczalne maksymalne wartości prędkości są dwukrotnie wyższe niż w przypadku normy polskiej.

W sytuacji gdyby obiekt budowlany był traktowany jako zabytkowy, nie można byłoby dokonać takiej interpretacji, a zarejestrowane drgania należałoby traktować jako drgania szkodliwe dla budynku, powodujące lokalne zarysowania i spękania, w efekcie – osłabienie jego konstrukcji i zmniejszenie jego nośności oraz odporności.



Rys. 7. Analiza tercjowa drgań o najwyższej intensywności na podstawie (PN-B-02170:2016-12)
 Fig 7. Octave analysis according to (PN-B-02170:2016-12)



Rys. 8. Analiza tercjowa drgań o najwyższej intensywności w przypadku zastosowania dopuszczalnych granic prędkości przedstawionych w (UNE 22.381/93)
 Fig 8. Octave analysis according to (UNE 22.381/93)

4. Wnioski

W artykule przedstawiono problematykę oceny oddziaływania wg wytycznych polskich oraz hiszpańskich.

Na podstawie przeprowadzonej analizy, zauważono różnice w założeniach oraz stosowaniu analizowanych norm. W przypadku normy hiszpańskiej dopuszczalne wartości prędkości, określające granice wystąpienia uszkodzenia, są dwukrotnie wyższe niż w przypadku prędkości założonych w polskiej normie (jednakże należy podkreślić fakt, że graniczne wartości w normie hiszpańskiej odnoszą się do wartości maksymalnych, natomiast w polskiej normie ocenę oddziaływania dokonuje się na podstawie przeprowadzonej analizy w pasmach 1/3 oktawowych). Dodatkowo w normie

hiszpańskiej ujęto znacznie szerszy podział na różne typy obiektów budowlanych niż w przypadku wytycznych polskich (polska norma w żaden sposób nie odnosi się do obiektów przemysłowych).

Porównując wyniki oceny oddziaływania uzyskanych dla obu norm, zarejestrowane drgania należy zinterpretować jako nieszkodliwe. W przypadku gdyby obiekt budowlany był obiektem zabytkowym, uzyskana ocena różniłaby się znacząco. Miałoby to związek z maksymalną dopuszczalną wartością prędkości przewidzianą w normach dla tego typu obiektów. W przypadku obiektu architektonicznego ujętego w normie polskiej zarejestrowane drgania należałoby traktować jako drgania szkodliwe dla budynku, powodujące lokalne zarysowania i spękania, w efekcie – osłabienie jego

konstrukcji i zmniejszenie jego nośności oraz odporności. W przypadku normy hiszpańskiej, te same drgania byłyby w dalszym ciągu interpretowane jako nieszkodliwe dla obiektu.

Przeprowadzona analiza wskazuje brak uniwersalnych wytycznych, w oparciu o które można by było prowadzić ocenę oddziaływania. W niektórych przypadkach, a zwłaszcza w krajach dopuszczających stosowanie do oceny różnych norm do oceny oddziaływania, mogłoby dochodzić do uzyskania sprzecznych wyników oceny. W chwili obecnej prowadzone są prace przez European Federation of Explosives Engineers (EFEE), które mają zebrać informację na temat wszystkich norm i aktów prawnych, stosowanych w krajach Unii Europejskiej, regulujących problematykę oceny oddziaływania negatywnych skutków wykonywania robót strzałowych.

Praca została zrealizowana w ramach działalności statutowej nr 11.11.100.597

Literatura

- BIESSIKIRSKI A., PYRA J., DWORZAK M., 2015 - Various methods of the ground vibration, Proceedings of the forty-first annual conference on explosives and blasting technique. February 1–4, 2015, New Orleans, USA, s. 403–412.
- BS 7385-2:1993, 1993, Evaluation and measurements for vibration in buildings. Guide to damage levels from groundborne vibration.
- DIN 4150-3, 1986, Structural vibration in buildings; effects on structures.
- JESUS A., de BLAS P., 2012a, - Jefe de Servicio al Cliente Unión Española de Explosivos, S.A, Las vibraciones en las voladuras. Medición, control y regulación legal, dostęp internetowy: <http://www.outletminero.org/gallery/biblioteca/documentos>.
- JESÚS A., de BLAS P., 2012b - Las vibraciones en las voladuras, Medición, control y regulación legal, Madrid.
- PN-B-02170:2016-12, Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
- PYRA J., 2008 - Ocena oddziaływania górniczych robót strzałowych na obiekty budowlane, „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, WUG, nr 3 s. 41–47.
- PYRA J., SOLTYS A., WINZER J., 2015a - Kopalniana stacja monitoringu drgań KSMD APN, „Górnictwo Odkrywkowe”, nr 1, s. 47–56.
- PYRA J., SOLTYS A., WINZER J., 2015b - Monitoring drgań wzbudzanych robotami strzałowymi – 2 lata pracy zautomatyzowanego systemu pomiarowego KSMD, „Przeгляд Górnicy”, nr 7, s. 7–15.
- PYRA J., SOLTYS A., WINZER J., 2016 - Dwa lata pracy systemu monitorującego drgania wzbudzone robotami strzałowymi w kopalniach odkrywkowych, „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, nr 1, s. 27–33.
- SOLTYS A., PYRA J., WINZER J., 2017 - Analysis of the blast-induced vibration structure in open-cast mines, Journal of Vibroengineering, 19, nr 1, s. 409–418.
- STYPUŁA K., 2017 - O zmianach w normie PN-B-02170 dotyczącej oceny wpływu drgań przekazywanych na budynki przez podłoże, „Przeгляд Budowlany”, 88, nr 10, s. 125–128.
- UNE 22.381/93, Control de vibraciones producidas por voladuras.
- USBM RI 8507, Structure Response and Damage. Produced by Ground Vibration.
- WINZER J., SOLTYS A., PYRA J., 2016 - Oddziaływanie na otoczenie robót z użyciem materiałów wybuchowych, Wydawnictwa AGH.

Artykuł wpłynął do redakcji – luty 2019

Artykuł akceptowano do druku – czerwiec 2019



LUBELSKI WĘGIEL
„BOGDANKA”
 SPÓŁKA AKCYJNA

KOPALNIA
 INTELIGENTNYCH
 ROZWIĄZAŃ

jesteśmy notowani w indeksach:
 mWIG40, WIG-GÓRNICZTWO, InvestorMS oraz Respect Index

www.lw.com.pl