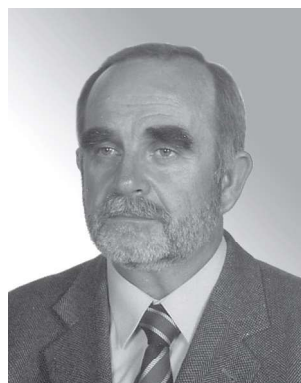


# Ocena oddziaływania drgań wzbudzanych robotami strzałowymi na zabudowania zgodnie z normą PN-B-02170:2016-12

Impact assessment of vibrations induced induced by blasting works on buildings in accordance with PN-B-02170:2016-12



*Dr inż. Anna Soltys<sup>\*)</sup>*



*Dr inż. Jan Winzer<sup>\*\*)</sup>*

**Treść:** Jak ważna jest ochrona obiektów budowlanych w otoczeniu kopalni odkrywkowej przed skutkami robót strzałowych, wie każdy przedsiębiorca prowadzący eksploatację złoża z użyciem materiałów wybuchowych. W związku z tym, iż w Polsce, od roku 1985, do oceny oddziaływania drgań na budynki zalecana i stosowana była norma PN-B-02170:1985, również ocena oddziaływania drgań indukowanych robotami strzałowymi w kopalniach odkrywkowych prowadzona była w oparciu o wytyczne rzeczowej normy. W 2016 roku, norma została znowelizowana. W artykule przedstawiono istotne zmiany wprowadzone w znowelizowanej normie PN-B-02170:2016-12. Szczególną uwagę należy zwrócić na wymagania dotyczące prawidłowego wykonywania pomiarów drgań i analizy sejsmogramów zarejestrowanych zdarzeń. Dopiero w nowelizacji normy wskazano, że właściwym rozwiązaniem jest przeprowadzenie filtrowania trzecjowego przebiegu czasowego i przeprowadzenie oceny oddziaływania przez naniesienie na skalę SWD histogramu wartości maksymalnych mierzonego parametru dla częstotliwości środkowych pasm trzecjowych. Taka procedura od wielu lat jest już stosowana w Laboratorium Robót Strzałowych i Ochrony Środowiska AGH oraz przez firmę Exploconsult z Krakowa. Niestety odczuwa się pewien niedosyt, co do osobnego i jasnego ujęcia oddziaływania drgań krótkotrwałych impulsowych (np. wzbudzanych robotami strzałowymi), których czas oddziaływania na budynek liczony jest w pojedynczych sekundach. Zapewne będzie to skutkowało dalszym brakiem jednoznaczności w ocenach oddziaływania.

**Abstract:** The importance of construction objects protection in the vicinity of the open cast mine against the effects of blasting works is a well-known fact for every entrepreneur conducting exploitation of the deposit with the use of explosives. Due to the fact that in Poland, from 1985, the standard PN-B-02170:1985 was recommended and used to assess the impact of vibrations on buildings, the assessment of the vibration impact induced by blasting operations in open-cast mines was carried out based on the guidelines of the said standard. In 2016, the standard was amended. The article presents significant changes introduced in the revised PN-B-02170:2016-12 standard. Particular attention should be paid to the requirements for conducting correct vibration measurements and analysis of recorded seismograms. It was only in the amendment to the standard that it was appropriate to conduct tertiary filtering in the time domain and to conduct an impact assessment by plotting on the SWD scale a histogram of the maximum values of the measured parameter for the mid-frequency bands. Such a procedure has been used for many years in the Research Laboratory of Blasting Works and Environmental Protection AGH and by Exploconsult LLC from Kraków. Unfortunately, one feels a bit unsatisfied about the separate and transparent approach to the impact assessment of short-time vibrations (e.g. induced by blasting works), whose time of impact on the building can be counted in seconds. Probably, it will result in a further lack of unambiguity of the impact assessments.

## **Słowa kluczowe:**

*górnictwo, roboty strzałowe, drgania indukowane robotami strzałowymi, ocena oddziaływania drgań*

## **Keywords:**

*mining, blasting works, ground borne vibration, assessment of vibration impact*

<sup>\*)</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, WGiG, Kraków

<sup>\*\*)</sup> Exploconsult Sp. z o.o., Kraków

## 1. Wprowadzenie

Profilaktyka w zakresie ograniczenia oddziaływania na otoczenie drgań wzbudzanych robotami strzałowymi wykonywanymi w kopalniach odkrywkowych nie może być pozbawiona elementu oceny wpływu drgań na budynki.

Najprostszym sposobem oceny szkodliwości drgań przekazywanych z podłoża na budowlę może być wykorzystanie odpowiednio skonstruowanych skal. Na podstawie wybranych, istotnych parametrów charakteryzujących wymuszenie i obiekt odbierający drgania, można za pomocą skali ocenić spodziewane skutki działania wibracji (Sołtys i in. 2015; Sołtys, Winzer 2017; Winzer i in. 2016).

Do oceny szkodliwości stosuje się cały szereg skal i norm. Tak duża ich liczba wynika z trudności w normatywnym ujęciu wszystkich czynników, jakie mogą mieć wpływ na szkodliwość drgań. Zatem, z konieczności, normy dotyczą określonych typów budynków i uwzględniają tylko część czynników, jakie w danym przypadku należałoby brać pod uwagę.

W Polsce, od roku 1985, do oceny oddziaływania drgań na budynki stosowana była norma PN-B-02170:1985 (poprzednio PN-85/B-02170) – *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki*.

Po wprowadzeniu w naszym kraju Norm Europejskich (Eurocod) ustalono, że wszystkie normy sprzed 1993 roku powinny zostać wycofane lub znowelizowane (Stypuła 2017). Dlatego też zespół pracowników Instytutu Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej, pod przewodnictwem prof. dr. hab. inż. Janusza Kaweckiego, podjął się nowelizacji wspomnianej normy. Znowelizowana norma o numerze PN-B-02170:2016-12 weszła w życie w grudniu 2016 roku.

W nowej normie wprowadzono następujące zmiany (Stypuła 2017):

- uściślono kryteria pominięcia w obliczeniach wpływu drgań przekazywanych na budynki przez podłoże;
- w celu określenia sił bezwładności działających na budynek, wprowadzono metodę THA (*Time History Analysis*), jako podstawową metodę obliczeniową przy jednoczesnym dopuszczeniu metod uproszczonych i podaniu warunków ich stosowania;

- w ocenie wpływu drgań na konstrukcję budynków za pomocą skal SWD przyjęto przyspieszenia i prędkości drgań, jako podstawowe wielkości opisujące ruch elementów konstrukcji (przemieszczeniowe wersje skal SWD-I i SWD-II zostały zastąpione wersjami w układzie prędkość-częstotliwość); uściśleniu uległ opis kryteriów oceny drgań przekazywanych na budynki za pomocą skal SWD;
- wprowadzono pojęcie wskaźnika odczuwalności drgań przez budynki (WODB);
- uściślono opis wymagań dotyczących pomiarów dynamicznych;
- usunięto załącznik zawierający zestawienie wzorów do obliczania przybliżonych wartości niektórych charakterystyk dynamicznych budynków.

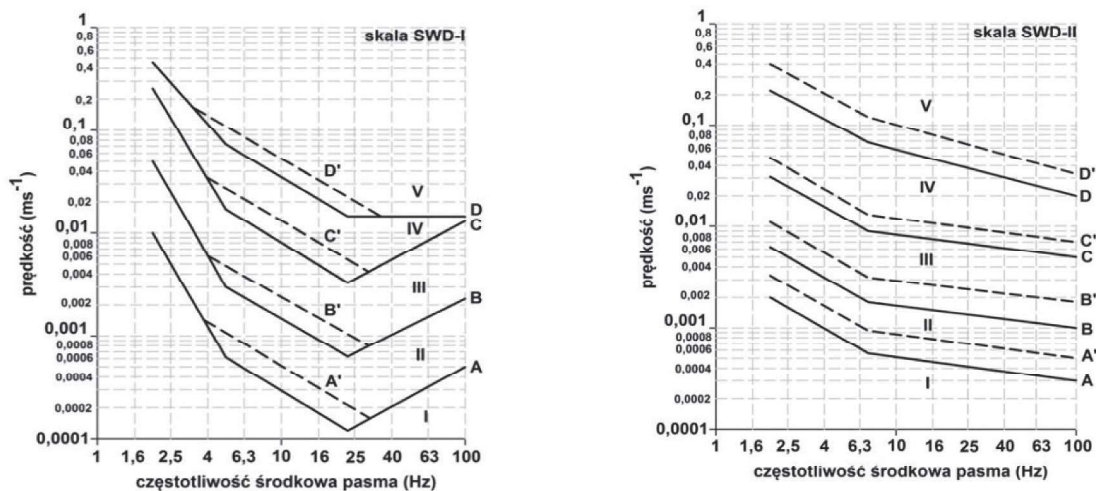
Do oceny oddziaływania drgań wzbudzanych robotami strzałowymi w górnictwie odkrywkowym od lat stosowane są skale SWD zawarte również w znowelizowanej normie. Zakres możliwości stosowania tych skal poszerzono o budynki z wielkiej płyty oraz wprowadzono do oceny parametr prędkości drgań. W efekcie, w aktualnie obowiązującej normie, skale SWD przedstawione są w układzie współrzędnych częstotliwość – przyspieszenie i częstotliwość – prędkość (rys. 1 i 2).

## 2. Wymagania dotyczące pomiarów i analizy sejsmogramów drgań

Jak wynika z treści normy, ocenę oddziaływania można przeprowadzać na podstawie pomiaru przyspieszenia lub prędkości drgań, rejestrowanych w postaci sejsmogramów, czyli pełnego zapisu drgań w określonym czasie. Podstawowy zestaw aparatury do pomiaru drgań powinien się składać z:

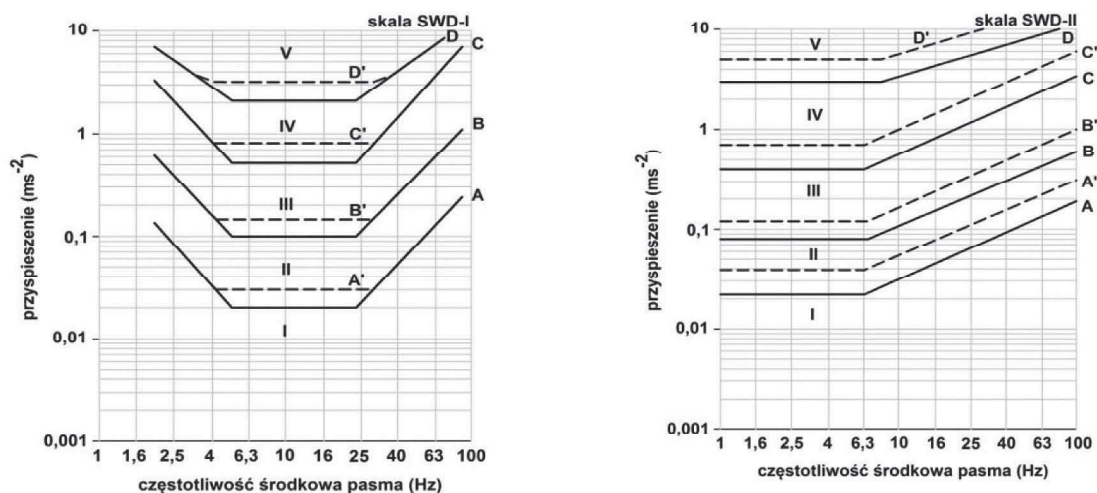
- czujników pomiarowych;
- akcelerometrów o czułości nie mniejszej niż 1 V/g,
- geofonów o czułości nie mniejszej niż 15 V/ms<sup>-1</sup>,
- rejestratora lub analizatora.

Zestaw do analizy powinien zapewnić spełnienie warunku, że analiza będzie przeprowadzana z uwzględnieniem identyfikacji czasu trwania drgań oraz powinien zapewniać możliwość rejestracji i analizy wartości szczytowej mierzonego



Rys. 1. Skale SWD-I i SWD-II w układzie współrzędnych: częstotliwość środkowa pasma tercjowego – maksymalna prędkość drgań w paśmie

Fig. 1. SWD-I and SWD-II scales in the coordinate system: the mid-frequency bands of the third-octave band - Peak Particle Velocity (PPV)



Rys. 2. Skale SWD-I i SWD-II w układzie współrzędnych: częstotliwość środkowa pasma tercjowego – maksymalne przyspieszenie drgań w paśmie

Fig. 2. SWD-I and SWD-II scales in the coordinate system: the mid-frequency bands of the third-octave band Particle Acceleration

parametru. W tym miejscu należy wyjaśnić pojęcie wartości szczytowej prędkości drgań, w rozumieniu normy - największa w czasie trwania drgań bezwzględna wartość prędkości drgań złożonych. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że postawiony wcześniej wymóg rejestrowania pełnych zapisów drgań w czasie, eliminuje aparaturę, która rejestruje tylko wartości maksymalne prędkości i częstotliwości w określonych odstępach czasowych, co dopuszcza przykładowo Eurocod 3. Brak pełnego zapisu drgań w czasie uniemożliwia przeprowadzenie dalszych analiz filtracyjnych, co jest kolejnym wymogiem znowelizowanej normy.

Przykładowe zestawy aparatury spełniające wymagania normy przedstawiono na rysunku 3: UVS 1504 i Vibraloc (Winzer i in. 2016).

Dla potrzeb kryteriów przytoczonych w normie wartości mierzonych parametrów mieszczą się w granicach:

- częstotliwość od 0,5 Hz do 100 Hz,
- prędkość od 0,10 mm/s do 1000 mm/s,
- przyspieszenie od 0,001 m/s<sup>2</sup> do 10 m/s<sup>2</sup>.

Ocenę z zastosowaniem skal SWD należy przeprowadzać na podstawie sejsmogramów składowych poziomych drgań, tj. w kierunkach  $x$  i  $y$  zarejestrowanych w punkcie pomiarowym od strony źródła drgań (rys. 4):

- w sztywnym węźle konstrukcji – na przecięciu ścian nośnych w dwóch kierunkach – znajdującym się na fundamencie budynku,
- albo w sztywnym węźle na ścianie kondygnacji podziemnej w poziomie otaczającego terenu.

Z treści normy wynika jednoznacznie, że oceny oddziaływania drgań z zastosowaniem skal SWD należy wykonywać na podstawie pomiarów wykonanych przez mierniki przymocowane bezpośrednio do konstrukcji budynku. Oznacza to, że nie można mierników mocować w gruncie (podłożu), na płytach chodnikowych, schodach, przybudówkach, w garażu itp. Niestety jest to błąd bardzo często popełniany nawet w ekspertyzach wykonywanych przez jednostki naukowe.

Jest to szczególnie ważne w przypadku oceny drgań wzbudzanych w czasie robót strzałowych, prowadzonych z zastosowaniem nowoczesnych systemów odpalania ładunków, gdzie pojawiają się coraz większe możliwości sterowania strukturą drgań, w kierunku uzyskania maksymalnego tłumienia drgań przy przejściu z podłoża do fundamentu budynku (rys. 5).

Jak już wspomniano, skale SWD przedstawione są w układzie współrzędnych, w którym na osiach poziomych podano wartości częstotliwości środkowych pasm 1/3-oktawowych (tercjowych), na osiach pionowych zaś – wartości



UVS 1504



Vibraloc

Rys. 3. Przykładowe zestawy aparatury pomiarowej: UVS 1504 i Vibraloc

Fig. 3. Exemplary sets of measuring equipment: UVS 1504 and Vibraloc



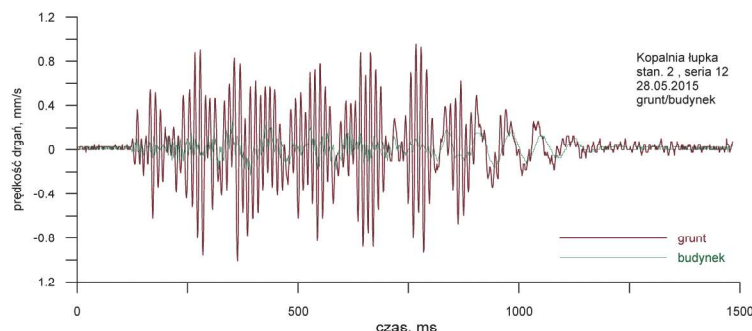
Rys. 4. Wskazane miejsce montażu miernika drgań - w sztywnym węźle na ścianie kondygnacji podziemnej w poziomie otaczającego terenu

Fig. 4. The mounting location for the vibration meter - node in the rigid wall of the basement level at the surrounding terrain

maksymalne przyspieszenia albo prędkości drgań w pasmach 1/3-oktawowych. Mają one pięć stref oddzielonych granicami określającymi stopień szkodliwości drgań dla budynku (rys. 1 i 2). Każda granica podana jest w dwóch wariantach (linia ciągła i przerywana), co uzależnione jest od stanu budynku, typu podłoża i rodzaju drgań. Zaliczenie do odpowiedniego wariantu następuje według przeważającej liczby odpowiednich cech zestawionych orientacyjnie w tabeli 1 (tablica 4 normy).

Strefy wpływu mają następującą interpretację (PN-B-02170:2016-12):

- I – drgania pomijalne w ocenie wpływu drgań na budynek,
- krzywa A – dolna granica uwzględnienia wpływów dynamicznych na budynek; przy drganiach poniżej tej granicy można nie uwzględniać wpływów dynamicznych,
- II – drgania nieszkodliwe dla konstrukcji; można jednak spodziewać się przyspieszonego zużycia budynku i pierwszych rys w wyprawach, tynkach, zarysowania w narożnikach ścian i w fasetach itp.,
- krzywa B – granica sztywności budynku, dolna granica powstawania zarysowań i spękań w elementach konstrukcyjnych,
- III – drgania szkodliwe dla budynku, powodują lokalne zarysowania 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 itp.,
- krzywa C – granica wytrzymałości pojedynczych elementów budynku, dolna granica ciężkich szkód budowlanych,
- IV – drgania o dużej szkodliwości dla budynku, stanowią zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi; powstają liczne spękania, lokalne zniszczenia 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,
- krzywa D – granica stateczności konstrukcji, dolna granica awarii całego budynku; drgania powyżej tej granicy mogą spowodować awarię budynku i zagrażają bezpieczeństwu życia ludzkiego,
- V – drgania powodują awarię budynku przez walenie się ścian, spadanie stropów itp.; pełne zagrożenie bez-



Rys. 5. Sejsmogramy drgań podłoża i fundamentu budynku

Fig. 5. Vibration seismograms of the ground and foundation of the building

pieczeństwa życia ludzkiego; w przypadku groźby powstania drgań tego typu budynek nie może być użytkowany.

W treści znowelizowanej normy zmieniono opisy dotyczące strefy I, linii A i strefy II. Zmienione określenia strefy I i linii A podkreślają praktyczną kwestię możliwości pominięcia wpływów dynamicznych – precyzyjnie określono, że drgania zakwalifikowane do strefy I mogą być pomijalne w ocenie wpływu drgań na budynki. Zmiana opisu strefy II, przez usunięcie pojęcia drgania odczuwalne, spowodowała przesunięcie istoty opisu w kierunku braku szkodliwego wpływu drgań na konstrukcję budynku, z jednoczesnym podkreśleniem możliwości wystąpienia uszkodzeń niekonstrukcyjnych.

Zakwalifikowanie drgań do poszczególnych stref skal SWD jest najtrudniejszym elementem oceny wpływu drgań na budynek. Z jednej strony istnieją duże trudności interpretacyjne zapisów zawartych w tabeli 1 (tablicy 4 normy), a z drugiej strony zastosowanie skal SWD wymaga przeprowadzenia analizy filtracyjnej sejsmogramów, której wynik w postaci histogramów wartości maksymalnych przyspieszenia lub prędkości drgań w pasmach 1/3 oktawowych, jest nanoszony na skale SWD i pozwala na zakwalifikowanie drgań do poszczególnych stref oddziaływania.

#### Interpretacja zapisów w tabeli 1

Drgania wzbudzone w czasie robót z użyciem materiałów wybuchowych są drganiami krótkotrwałymi klasyfikowanymi, jako niestacjonarne procesy losowe o charakterze transjentowym (nieustalonym), a to oznacza, że są to drgania złożone wymagające indywidualnego podejścia i szczegółowych analiz, w celu uzyskania jak największej ilości informacji.

Bardzo ważną rolę w kwalifikowaniu drgań odgrywa czas trwania. Znowelizowana norma wprowadza to pojęcie, jako czas, w którym wartości ocenianego parametru drgań są większe niż 0,2 wartości szczytowej. Przy tak zdefiniowanym czasie trwania norma rozróżnia drgania występujące stale (czas trwania w ciągu doby przekracza 30 minut), drgania długotrwałe (łączny czas trwania w ciągu doby jest większy niż 3 minuty i nie przekracza 30 minut) oraz drgania krótkotrwałe, których łączny czas trwania w ciągu doby nie przekracza 3 minut.

Czas trwania drgań wzbudzonych robotami strzałowymi jest bardzo krótki (patrz rys. 5), w większości przypadków nie przekraczający 5 sekund. Można stwierdzić, że w ciągu dnia można wykonać roboty strzałowe 36 razy, a w dalszym ciągu będzie to czas trwania drgań krótkotrwałych.

**Tabela 1. Cechy umożliwiające wybór linii rozgraniczających strefy szkodliwości wg skal SWD (PN-B-02170:2016-12)**  
**Table 1. Features of enabling selection of lines separating the harmfulness zones according to the SWD scale (PN-B-02170:2016-12)**

Kryteria oceny	Cechy umożliwiające zastosowanie granicy	
	nizszej linia ciągła na rysunku skali	wyższej linia przerywana na rysunku skali
1	2	3
Stan budynku	budynki stare, z uszkodzeniami, budynki przerabiane lub wzmacniane	budynki nieuszkodzone, bez przeróbek konstrukcyjnych
Materiał i konstrukcja budynku	budynki z elementów murowych żużlobetonowych lub z kamienia o niestarannym wykonaniu, brak fundamentów, brak wieńców, sklepione stropy, duże otwory w ścianach lub otwory nieregularne, stropy danej kondygnacji na różnych poziomach	ściany z cegły pełnej starannie wykonane, fundamenty żelbetonowe lub betonowe, stropy masywne wiążące ściany z wieńcem stropowym
Typ podłoża i sposób posadowienia	podłoże o małej sztywności (np. piaski pylaste, luźne), posadowienie nieciągłe (różne wysokości) albo pośrednie	podłoże sztywne (np. ility i gliny twardoplastyczne), posadowienie płaskie
Rodzaj drgań	drżania długotrwałe albo występujące stale	drżania krótkotrwałe

W przypadku spełnienia wszystkich warunków wymienionych w kolumnie 3 tabeli 1, norma dopuszcza przy sprawdzaniu szkodliwości drgań na budynek, podniesienie granicy stref o jedną (np. drżaniom o parametrach mieszczących się w strefie II, przy spełnieniu podanych warunków, można przypisać skutki dotyczące strefy I) (PN-B-02170:2016-12).

Można postawić pytanie, czy nie byłoby słusznie, dla drgań wzbudzanych robotami strzałowymi, dopuścić podniesienie granicy stref o jedną. Analizując skale oddziaływania stosowane w innych krajach, a nawet skale GSI stosowane przy ocenie oddziaływania wstrząsów w kopalniach podziemnych, taki wniosek wydaje się możliwy do przyjęcia. Należy żałować, że zespół opracowujący nowelizację normy nie pokusił się o szersze konsultacje i nie skorzystał z tysięcy, wykonanych przez Katedrę Górnictwa Odkrywkowego AGH, pomiarów drgań wzbudzanych w czasie robót strzałowych, w kopalniach odkrywkowych.

Niestety treści zawarte w tabeli 1 (tablica 4 normy) pozostały niezmienione w stosunku do wcześniejszych wersji i w dalszym ciągu będą wzbudzać najwięcej wątpliwości i kontrowersji w dokonywanych interpretacjach.

#### **Analiza wyników pomiarów i ocena oddziaływania z zastosowaniem skal SWD**

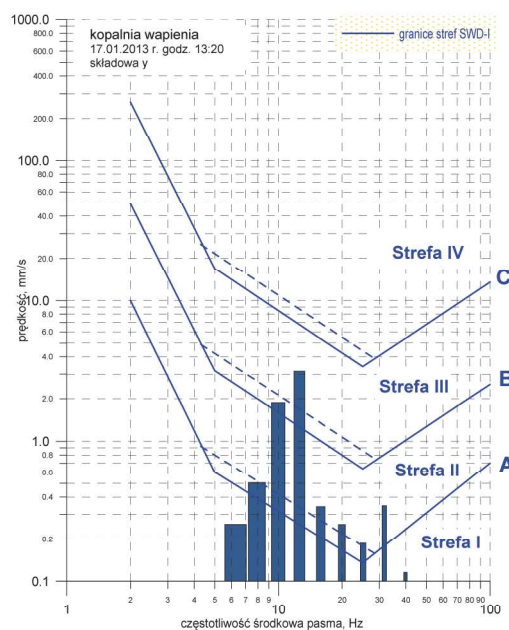
Jak już wspomniano, w ocenie z zastosowaniem skal SWD, należy stosować sejsmogramy (pełne przebiegi drgań w czasie) składowych poziomych drgań, tj. w kierunkach  $x$  i  $y$  zarejestrowane w punkcie pomiarowym od strony źródła drgań.

Dotychczasowa wersja normy (PN-B-02170:1985) dopuszczała ocenę oddziaływania przez naniesienie na skalę SWD wartości maksymalnych przyspieszenia (przemieszczenia) wraz z skorelowaną w czasie częstotliwością chwilową. Zasadniczy błąd w tym przypadku wynikał z kształtu linii granicznych skal SWD, gdyż niekoniecznie wartość maksymalna parametru była najbardziej oddalona lub zbliżona do jednej z linii granicznych. Bardziej realne były oceny prowadzone z wykorzystaniem, zawartych w normie, filtrów korekcyjnych, gdyż w takim przypadku linie graniczne były liniami poziomymi i niezależnie od częstotliwości wartość maksymalna uzyskana ze skorygowanego przebiegu wskazywała jednoznacznie stopień oddalenia lub zbliżenia do linii granicznych.

Autorzy poprzedniej wersji normy (PN-B-02170:1985) wielokrotnie wskazywali w publikacjach, że dobrym rozwiązaniem (mimo, że nie ujętym w normie) jest przeprowadzenie filtrowania tercjowego przebiegu czasowego i przeprowadzenie oceny oddziaływania przez naniesienie na skalę SWD histogramu wartości maksymalnych mierzonego

parametru dla częstotliwości środkowych pasm tercjowych. Taka procedura prowadzenia analizy znalazła się, jako wymóg w znowelizowanej normie.

Oznacza to, że do oceny wpływu drgań z zastosowaniem skal SWD, pełne przebiegi składowych poziomych filtruje się filtrem tercjowym. W wyniku otrzymuje się histogramy maksymalnych wartości prędkości w danym paśmie częstotliwości, które nanoszone są na skalę SWD z przypisaniem im skutków odpowiadających danej strefie. Przykład takiej analizy przedstawiono na rysunku 6.



**Rys. 6. Ocena oddziaływania drgań z zastosowaniem histogramu maksymalnych wartości prędkości dla częstotliwości środkowych pasm tercjowych**

**Fig. 6. Assessment of the vibration impact using the histogram peak particle velocity for the mid-frequency bands of the third-octave filter**

Procedury przewidziane znowelizowaną normą są od lat stosowane w Laboratorium Robót Strzałowych i Ochrony Środowiska AGH oraz przez firmę Exploconsult z Krakowa. Procedury te są obowiązujące w sporządzaniu raportów okresowych oddziaływania robót strzałowych w kopalniach odkrywkowych prowadzących monitoring z zastosowaniem Kopalnianej Stacji Monitoringu Drgań KSMD APN.

### 3. Wskaźnik WODB – wskaźnik odczuwalności drgań przez budynki

Do normy zostało wprowadzone pojęcie wskaźnika WODB (Wskaźnik Odczuwalności Drgań przez Budynki) zdefiniowanego następująco: wyznaczona w poszczególnych pasmach tercjowych największa wartość stosunku maksymalnych wartości prędkości lub przyspieszenia drgań, wyznaczonych w wyniku analizy sejsmogramu w pasmach tercjowych, do wartości prędkości albo przyspieszenia odpowiadającej dolnej granicy uwzględnienia wpływów dynamicznych na budynki objęte skalami SWD w tym samym paśmie częstotliwości (Stypuła 2017). Linie WODB naniesione dla przykładu na skalę SWD-I w wersji prędkościowej przedstawiono na rysunku 7.

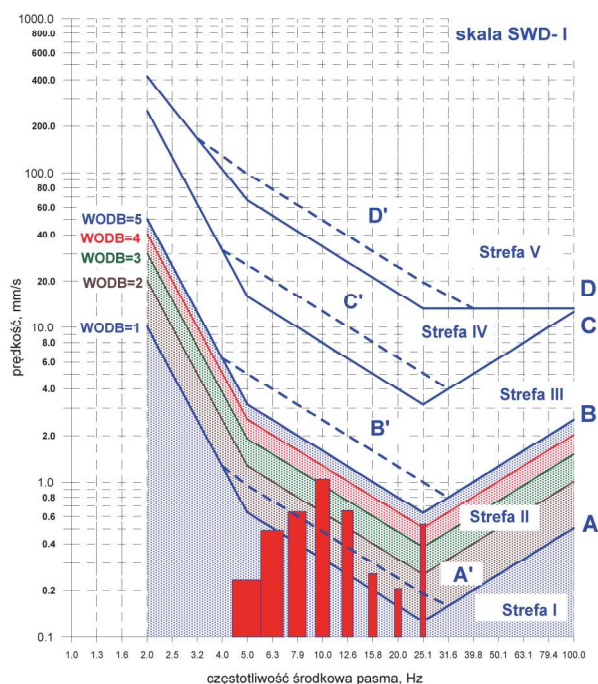
Aby nie zgubić informacji w dziedzinie częstotliwości, należy podawać wartość wskaźnika WODB łącznie z wartością częstotliwości środkowej pasma tercjowego, w którym ten stosunek wyznaczono (rys. 8).

Wskaźnik WODB informuje o tym:

- jak odległe są parametry drgań występujących w budynku od najniższej linii granicznej (linia A) -  $WODB \leq 1$ ,
- albo ilokrotnie granica ta została przekroczona -  $WODB > 1$ .

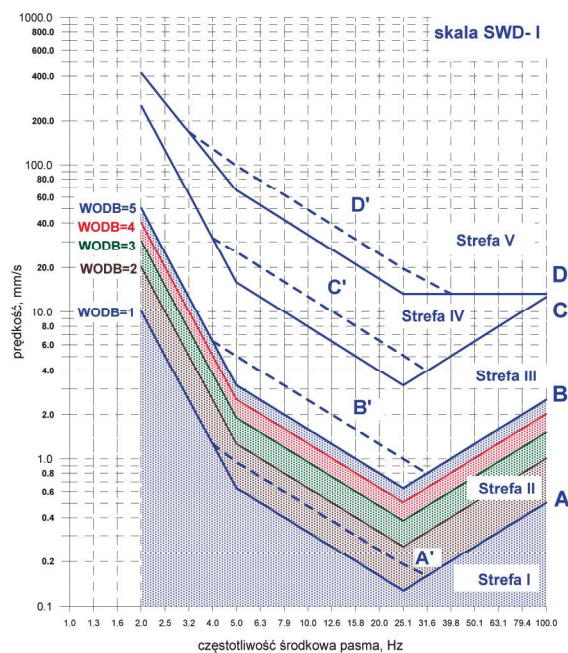
Jeżeli przyjmiemy, że linia A ma wskaźnik  $WODB = 1$ , to jak wynika z rysunku 7, linia B ma wskaźnik  $WODB = 5$ . Oznacza to, że do strefy II można zaliczyć drgania o amplitudach różniących się nawet pięciokrotnie.

Niestety obliczenie wskaźnika WODB dla częstotliwości środkowych pasm tercjowych jest w dużej mierze utrudnione, gdyż w normie nie podano wartości prędkości (lub przyspieszenia) dla linii A w charakterystycznych punktach, czyli dla częstotliwości środkowych pasm tercjowych. Chcąc przeprowadzać tego typu obliczenia trzeba cofnąć się do genyzy kształtu linii granicznych przedstawionych na skalach SWD, czyli charakterystyk filtrów korekcyjnych zawartych w załączniku 2 poprzedniej wersji normy (PN-B-02170:1985).



Rys. 8. Przykład zastosowania wskaźników WODB do oceny oddziaływania drgań wzbudzanych robotami strzałowymi

Fig. 8. An example of the WODB indicator application to assess the impact of vibrations induced by blasting



Rys. 7. Skala SWD-I z naniesionymi liniami wskaźnika WODB  
Fig. 7. SWD-I scale with WODB indicator lines

Przykładowe wykorzystanie wskaźnika WODB w ocenie oddziaływania robót strzałowych na otoczenie przedstawiono na rysunku 8. Jak wynika z rysunku 8, w histogramie największą amplitudę ma częstotliwość 10 Hz, natomiast najwyższy wskaźnik WODB - częstotliwość 25,12 Hz. Oznacza to, że w ocenie oddziaływania należy brać pod uwagę właśnie częstotliwość 25,12 Hz.

### 4. Zastosowanie procedur normy do sporządzania raportów z monitoringu drgań

Roboty strzałowe, prowadzone w kopalniach odkrywkowych surowców skalnych, z użyciem materiałów wybucho-

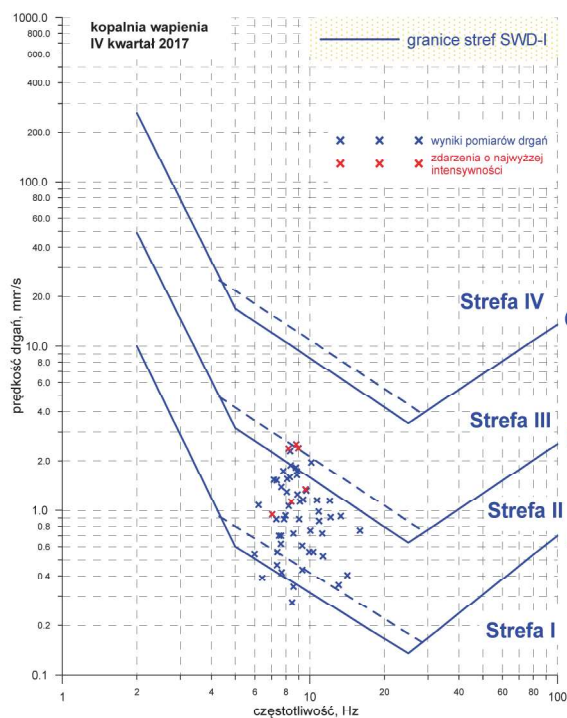
częstotliwość środkowa pasma tercjowego, Hz	prędkość drgań mm/s	WODB
5,01	0,23	0,37
6,31	0,49	0,97
7,94	0,64	1,60
10,00	1,05	3,29
12,59	0,65	2,58
15,85	0,26	1,27
19,95	0,20	1,28
25,12	0,54	4,23

wych są źródłem drgań, które mogą wpływać na zabudowania w otoczeniu. Od kilkunastu lat prowadzona jest działalność profilaktyczna mająca na celu z jednej strony minimalizację tego oddziaływania, a z drugiej dokumentowanie wpływu drgań na zabudowania. W zakresie dokumentowania oddziaływania, coraz szerzej w kopalniach stosowany jest Kopalniany System Monitoringu Drgań (KSMD). W procedurach analitycznych systemu KSMD, od roku 2000, znajdują

zastosowanie oceny oddziaływania z wykorzystaniem skal SWD i filtrowania tercjowego. Elementem pracy KSMD są sporządzane, co kwartał, raporty zawierające oceny oddziaływania zarejestrowanych drgań. W raportach dokumentowane jest każde zdarzenie, a dokładnym analizom poddawane są rejestracje charakteryzujące się najwyższą intensywnością.

Fragment przykładowego raportu przedstawiono na rysunku 9, w postaci:

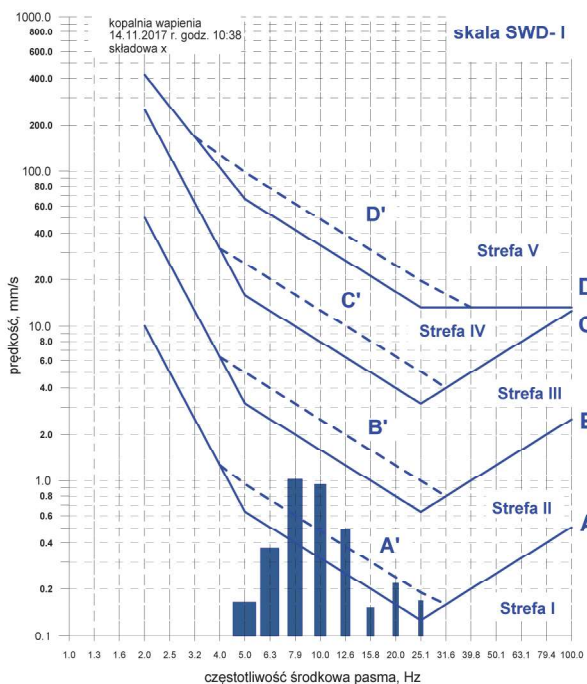
- wizualizacji wyników pomiarów przez naniesienie na skalę SWD wartości szczytowych prędkości dla składowych poziomych,
- oceny oddziaływania przez naniesienie na skalę SWD histogramów wartości maksymalnych prędkości dla częstotliwości środkowych pasm tercjowych – najczęściej dla 3 zdarzeń.



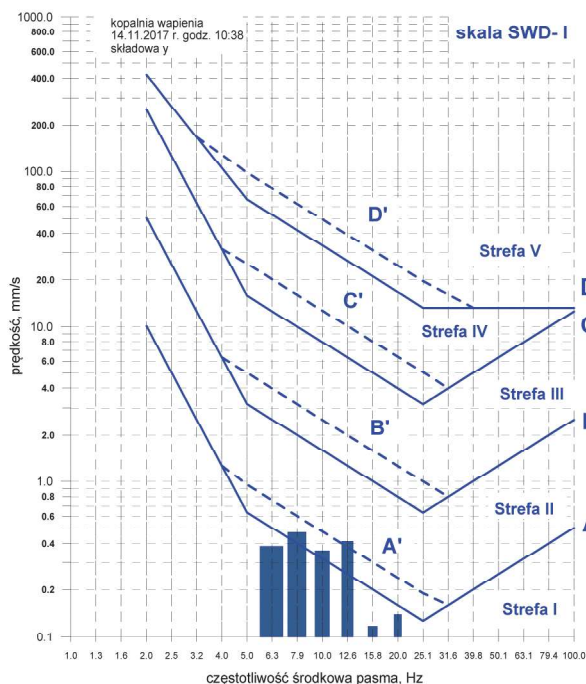
wizualizacja wyników pomiarów za IV kwartał 2017 roku



stacja pomiarowa systemu KSMD



ocena oddziaływania – składowa pozioma x



ocena oddziaływania – składowa pozioma y

Rys. 9. Fragment Raportu oddziaływania drgań wzbudzonych robotami strzałowymi w kopalni wapienia – IV kwartał 2017 roku

Fig. 9. Fragment of the report on the impact of vibrations induced by blasting works in the limestone mine - 4th quarter of 2017

## 5. Podsumowanie

Znowelizowanie normy PN-B-02170 było koniecznością. Ocena oddziaływania drgań wzbudzanych robotami strzałowymi z zastosowaniem skal SWD zyskała wreszcie jasne procedury obliczeniowe, przez wprowadzenie jednoznacznego wymogu stosowania analizy tercjowej pełnych przebiegów drgań. Może pozwoli to na wyeliminowanie przypadkowości i dowolności w interpretacji tych trudnych działań.

Niestety, nadal brakuje osobnego i jasnego ujęcia oddziaływania drgań krótkotrwałych impulsowych, których czas oddziaływania na budynek liczony jest w pojedynczych sekundach.

Stąd na pewno w dalszym ciągu brak będzie jednoznaczności w ocenach oddziaływania, co pogłębiają treści zawarte w tablicy 4 normy. Wielokrotnie zwracaliśmy uwagę na ten problem i niestety właśnie tablica 4 pozostała niezmienną.

Wprowadzenie wskaźnika WODB jest bardzo przydatne, ale jego obliczanie jest utrudnione ze względu na brak w normie podania współrzędnych linii granicznych dla częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktaowych (tercjowych).


## Literatura

- SOLTYS A., WINZER J. 2017 - KSMD APN – historia pracy jednej stacji pomiarowej. „Przeгляд Górnicy” nr 3, s. 89- 97.
- SOLTYS A., PYRA J., WINZER J. 2015 - Problemy ocen szkodliwego wpływu drgań wzbudzanych robotami strzałowymi na budynki w otoczeniu kopalń odkrywkowych. Konferencja: Technika Strzelnicza w Górnictwie i Budownictwie. Ustroń, s. 199-223.
- STYPUŁA K. 2017 - O zmianach w normie PN-B-02170 dotyczącej oceny wpływu drgań przekazywanych na budynki przez podłoże. „Przeгляд Budowlany” nr 10, s. 125- 128.
- WINZER J., SOLTYS A., PYRA J. 2016 - Oddziaływanie na otoczenie robót z użyciem materiałów wybuchowych. Wydawnictwa AGH. Kraków.
- PN-B-02170:1985 - Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
- PN-B-02170:2016-12 - Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.

Artykuł wpłynął do redakcji – luty 2019

Artykuł akceptowano do druku – czerwiec 2019



  
FTT WOLBROM®

Twój wypróbowany partner!

**Innowacyjna  
droga  
rozwoju**

[www.fttwolbrom.com.pl](http://www.fttwolbrom.com.pl)