

# Ocena intensywności drgań gruntu spowodowanych wstrząsem pochodzenia górniczego z 11.02.2014 r. z uwzględnieniem typu gruntów przyjmowanych w normie Eurocode 8

## Assessment of the intensity of ground vibration induced by a regional tremor on 11 February 2014 taking into account the land type in accordance with the Eurocode 8 standard



*Dr hab. inż. Krystyna Stec, prof. GIG\**



*Dr hab. Jacek Chodacki\**

**Treść:** W rejonie uskoku kłodnickiego 11.02.2014 r. wystąpił wstrząs górotworu o energii  $1,0E+08$  J. Miejsce wystąpienia wstrząsu (poza czynnymi rejonami eksploatacji), wysoka energia ( $1,0E+08$  J), niska częstotliwość dominująca (poniżej 4 Hz), kilkunkilometrowy obszar obserwacji makrosejsmicznych wskazywały na jego regionalny charakter. Przyczyną wystąpienia tego typu wstrząsu mogło być współdziałanie tektonicznych naprężeń rezydualnych istniejących w górotworze z naprężeniami wywołanymi pracami górniczymi. W celu oceny wpływu oddziaływania analizowanego wstrząsu na powierzchnię wykreślony został rozkład amplitud prędkości i przyspieszeń drgań gruntu oraz stopień intensywności według skali  $GSI_{GZWKW}^{-2012-V}$  w oparciu o relację tłumienia dla wstrząsów o charakterze regionalnym. Relacja ta określa zależność pomiędzy pikową wartością prędkości lub przyspieszeń (do 10 Hz) drgań gruntu, a energią sejsmiczną, odległością epicentralną i klasą gruntów w badanym miejscu. Klasyfikacji gruntów dokonano w oparciu o europejską normę konstrukcyjną Eurokod 8 – „Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym”

**Abstract:** On 11 February 2014 in the area of Kłodnica fault a rockmass tremor of the energy of  $1.0E+08$  J occurred. The place of the tremor (beyond active operation areas), its high energy ( $1.0E+08$  J), low dominant frequency (below 4 Hz) and macroseismic observation area of dozen or more kilometers, indicated its regional character. The cause of this type of tremor might have been a tectonic interaction between residual stresses in the rockmass and the stresses caused by mining operations. In order to assess the impact of the analyzed tremor on the surface, a layout of ground vibration velocity and acceleration amplitudes as well as the intensity level, in accordance with the scale  $GSI_{GZWKW}^{-2012-V}$ , was set on the basis of damping relation for tremors of a regional character. This relation defines the dependence between the highest value of velocity or acceleration (up to 10 Hz) of ground vibration and seismic energy, epicentral distance as well as the land class in the tested place. Basing on the European Construction Standard Eurocode 8 – “Design of structures for earthquake resistance” a land classification was devised.

### **Słowa kluczowe:**

*wstrząs górotworu, prędkość, przyspieszenie, intensywność drgań*

### **Key words:**

*rockmass tremor, velocity, acceleration, vibration intensity*

## **1. Wprowadzenie**

Wstrząsy górotworu są zjawiskami dynamicznymi, będącymi następstwem podziemnej eksploatacji górniczej, powstającymi w wyniku gwałtownego pęknięcia, załamania

się lub przemieszczania warstw górotworu. W Górnśląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) rozróżnia się wstrząsy eksploatacyjne, związane bezpośrednio z postępem eksploatacji w danej parceli eksploatacyjnej i wstrząsy regionalne mające związek z zaawansowaniem skoncentrowanej eksploatacji górniczej w skali większego rejonu jednej lub kilku kopalń oraz z istnieniem dużych uskoków lub innych struktur geologicznych

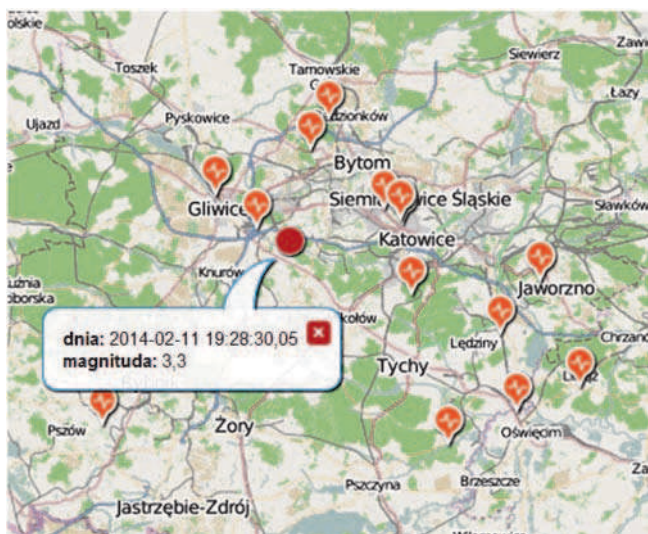
\*) Główny Instytut Górnictwa, Katowice

w rejonie prowadzonej eksploatacji (fałdy, niecki). Zjawiska te, oprócz wpływu na wyrobiska podziemne, oddziałują na infrastrukturę na powierzchni. Podstawowymi parametrami, w oparciu o które określa się intensywności drgań podłoża obiektów budowlanych, są maksymalne amplitudy prędkości lub przyspieszenia drgań oraz czas trwania wstrząsów. Wstrząsy eksploatacyjne z reguły charakteryzują się relatywnie wyższymi przyspieszeniami drgań w strefie epicentralnej i krótkimi czasami trwania drgań, a ich intensywność jest silnie odczuwana tylko w strefie epicentralnej. Z kolei wstrząsy regionalne charakteryzują się większą długością fali sejsmicznej (niższymi częstotliwościami drgań fazy dominującej), dłuższymi czasami trwania, wyższymi energiami sejsmicznymi i rozległym obszarem odczuwalności drgań.

W dniu 11.02.2014 r. wystąpił wstrząs o energii  $1,0E+08$  J, który został zarejestrowany przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną (GRSS) Głównego Instytutu Górnictwa, obejmującą ciągłym monitoringiem cały obszar GZW (rys. 1). Sejsmogram wstrząsu z rejestracji GRSS przedstawia rysunek 2 i 3. Wstrząs ten zlokalizowany w strefie uskoku kłodnickiego powyżej poziomu eksploatacji, charakteryzował się niską częstotliwością dominującą (poniżej 4 Hz), nie spowodował skutków w wyrobiskach górniczych, ale był bardzo silnie odczuwany na powierzchni w obszarze o promieniu kilku kilometrów. Został również zarejestrowany przez powierzchniowe stanowiska sejsmometryczne znajdujące się w odległości od 1,5 do 3,7 km. Amplitudy prędkości drgań gruntu wynosiły od 0,0026 do 0,009 m/s, a przyspieszenia od 0,07 do 0,233 m/s<sup>2</sup> (rys. 2).

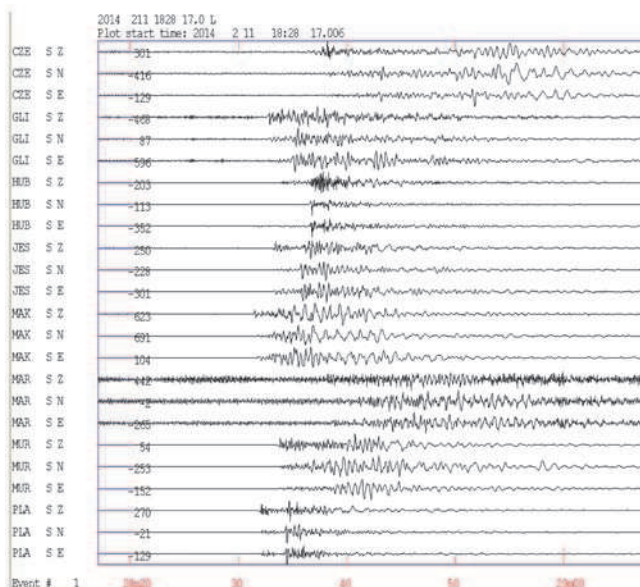
## 2. Zależności empiryczne do wyznaczania izolinii przyspieszenia i prędkości drgań gruntu dla wstrząsów regionalnych

Określenie efektu sejsmicznego od wstrząsów górniczych na powierzchni ziemi wymaga opracowania modelu propagacji fali sejsmicznej w ośrodku. Określa on zależność pomiędzy wybranym parametrem drgań, a czynnikami decydującymi o jego wartości, czyli tzw. relację tłumienia. Efekt sejsmiczny



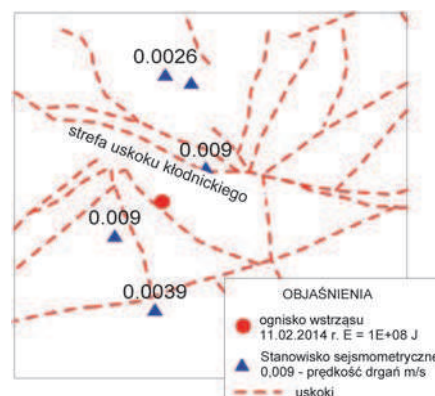
Rys. 1. Rozmieszczenie stanowisk Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej ([www.grss.gig.eu/pl/](http://www.grss.gig.eu/pl/)) oraz położenie ogniska wstrząsu z 11.02.2014 r.

Fig. 1. Distribution of posts of the Upper Silesian Seismological Network ([www.grss.gig.eu/pl/](http://www.grss.gig.eu/pl/)) and the location of the source of tremor on 11 February 2014



Rys. 2. Sejsmogram wstrząsu z 11.02.2014 r. o energii  $1,0E+08$  J z rejestracji Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej

Fig. 2. Seismogram of the tremor on 11 February 2014 of the energy of  $1.0E+08$  J registered by the Upper Silesian Seismological Network



Rys. 3. Położenie ogniska wstrząsu z 11.02.2014 r. oraz stanowisk pomiarowych na tle zarysu stref uskokowych

Fig. 3. Location of the source of tremor on 11 February 2014 and location of measuring posts in the light of fault zones outline

może być reprezentowany przez takie parametry drgań jak maksymalna amplituda prędkości lub przyspieszenia drgań poziomych, natomiast czynnikami wpływającymi na wielkość tych parametrów są: energia wstrząsu, odległość od ogniska, a także lokalne warunki geologiczne [3]. Określenie relacji tłumienia może być dokonane na podstawie pomiarów drgań powierzchni (pomiarów sejsmometrycznych), przy znanych parametrach wstrząsów (miejsce wystąpienia, energia sejsmiczna), które te drgania wywołują. W przypadku badania wpływu wstrząsów na obiekty budowlane decydujące znaczenie mają wstrząsy silne, gdyż tylko one mogą powodować oddziaływanie zbliżone, czy przekraczające wartości oddziaływań uznanych na szkodliwe.

W celu wykreślenia izolinii rozkładu amplitud prędkości i przyspieszenia drgań gruntu od wstrząsu z 11.02.2014 r. wykorzystano relację tłumienia dla GZW, która określa zależność pomiędzy wypadkową poziomą składową szczytową wartością prędkości ( $PPV_{Hmax}$ ) oraz przyspieszenia drgań

gruntu ( $PGA_{H10}$ ) w paśmie do 10 Hz, a energią sejsmiczną, odległością epicentralną i klasą gruntów w badanym miejscu [1]. Klasyfikacji gruntów dokonano według wytycznych normy konstrukcyjnej Eurocode 8 – „Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym”. Relacje tłumienia opracowano na podstawie danych sejsmometrycznych (przyspieszenia drgań gruntu, przefiltrowane w paśmie 0 – 10 Hz oraz prędkości drgań gruntu pochodzące z rejestracji powierzchniowych stanowisk pomiarowych), danych sejsmologicznych (współrzędne ogniska i energia wstrząsów określane z sejsmogramów zarejestrowanych przez kopalniane sieci sejsmologiczne) oraz wyników powierzchniowych badań sejsmicznych wykonanych metodą MASW, która umożliwia wyznaczanie rozkładu prędkości fali S w skali głębokości dla trzydziestometrowej warstwy przypowierzchniowej, poprzez analizę powierzchniowych fal Rayleigh’a [4]. W tabeli 1 przedstawiony jest podział podłoża na klasy wg Polskiej Normy PN-EN 1998-1: 2005U Eurocode 8. Pełna klasyfikacja utworów podłoża według tej normy zawiera dodatkowo grunty klasy E, ( $S_1$ , i  $S_2$ ), jednak grunty klasy A, B, C i D w pełni wystarczają do opisu wszystkich typów podłoża.

**Tabela 1. Klasyfikacja podłoża przyjmowana w normie Eurocode 8 i przyjęta do wyznaczenia regionalnych relacji tłumienia**

**Table 1. Classification of the land approved by the Eurocode 8 standard and adopted for determination of the regional damping relations**

| Typ gruntu | Opis stratygraficzny  | $V_{s,30}$ , m/s |
|------------|---|------------------|
| A          | Skąły lub inne skalne formacje geologiczne z co najwyżej pięciometrową słabą warstwą przypowierzchniową   | > 800            |
| B          | Piaski, żwiry i twarde gliny, co najmniej kilkunastometrowej miąższości, charakteryzujące się stopniowym wzrostem własności mechanicznych z głębokością | 360 - 800        |
| C          | Gęste lub średnio gęste piaski, żwiry lub twarde gliny o miąższości od kilkunastu do kilkuset metrów  | 180 - 360        |
| D          | Utwory słabo lub średnio zwięzłe  | < 180            |

Zależności wyznaczenia prędkości i przyspieszenia drgań gruntu dla wstrząsów regionalnych opracowane zostały na podstawie licznej bazy danych, zawierającej kilkadziesiąt rejestracji z powierzchniowych stanowisk sejsmometrycznych rozmieszczonych na terenie GZW i mają następującą postać [1]:

$$\log(PPV_{Hmax}) = 0.176 \times \log(E) - 0.1084 \times R - \log(R) + S_1 \quad (2.1)$$

$$\log(PPA_{H10}) = 0.147 \times \log(E) - 0.099 \times R - \log(R) + S_2 \quad (2.2)$$

gdzie:

- $PPV_{Hmax}$  – szczytowa wartość prędkości, m/s,
- $PPA_{H10}$  – szczytowa wartość przyspieszenia, m/s<sup>2</sup>,
- $E$  – energia wstrząsu, J,
- $R$  – odległość epicentralna od źródła wstrząsu, km.

Wartości parametrów  $S_1$  i  $S_2$ , w zależności od typu gruntu podana jest w tabeli 2.

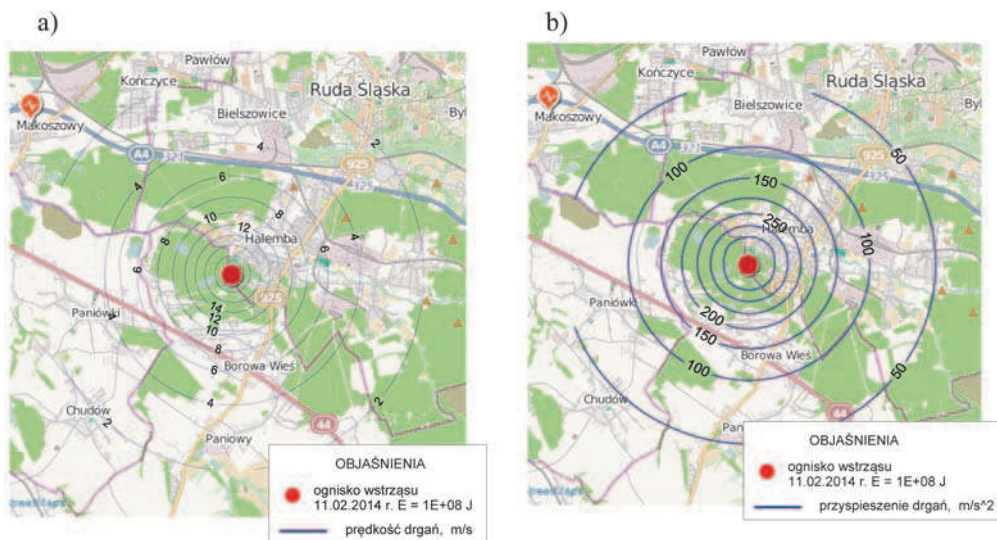
**Tabela 2. Zestawienie wartości parametru  $S_1$  i  $S_2$  od typu gruntu wg normy Eurocode 8**

**Table 2. Comparison of values of  $S_1$  and  $S_2$  parameters and the type of land in accordance with the Eurocode 8 standard**

| Parametr | Typ gruntów wg europejskiej normy Eurocode 8 |        |         |
|----------|--|--------|---------|
|          | A  | B      | C       |
| $S_1$    | -0,289                                       | -0,171 | -0,0591 |
| $S_2$    | 1.247  | 1.361  | 1.500   |

**3. Mapy rozkładu maksymalnych prędkości drgań i intensywności dla wstrząsu z 11.02.2014 r.**

Oddziaływanie drgań gruntu wywołanych wstrząsami górotworu na powierzchnię terenu zależy od wielu czynników sejsmo-geologicznych związanych z aktywnością sejsmiczną i budową górotworu w analizowanym obszarze. Miarą tego oddziaływania jest wartość maksymalnych przyspieszeń i prędkości drgań. W oparciu o zależności (2.1) i (2.2) dla klasy gruntów C obliczono wartości maksymalnych wypadkowych prędkości i przyspieszeń drgań podłoża dla wstrząsu z 11.02.2014 r. Obliczenia te, jak podano w poprzednim rozdziale, uwzględniają wpływ wszystkich czynników



**Rys. 4. Rozkład izolinii prędkości drgań gruntu  $PGV_{Hmax}$  – a i przyspieszeń  $PGA_{H10}$  – b dla wstrząsu z 11.02.2014 r. wg empirycznych zależności regionalnych dla klasy gruntów C**  
**Fig. 4. Layout of ground vibration velocity isolines  $PGV_{Hmax}$  (a) and the acceleration  $PGA_{H10}$  (b) for the tremor from 11 February 2014 in empirical regional dependencies for C class lands**

istotnych na wartość efektu sejsmicznego na powierzchni, czyli zależność maksymalnych prędkości i przyspieszenia drgań od energii sejsmicznej wstrząsu, odległości epicentralnej oraz wpływu budowy geologicznej warstw nadkładu, uwzględniającej klasy gruntów wg klasyfikacji zawartej w Eurocode 8. Wyniki prognozy maksymalnych wartości prędkości i przyspieszenia przedstawione są na rysunkach 4a i 4b. Wynika z nich, że w epicentrum analizowanego wstrząsu prędkość drgań gruntu mogła osiągnąć maksymalnie 0,018 m/s, a wartości przyspieszenia nie przekroczyły 0,450 m/s<sup>2</sup>.

#### 4. Ocena wpływu wstrząsu z 11.02.2014 r. na zabudowę powierzchni wg skali GSI<sub>GZWKW</sub>-2012-V

Do oceny wpływów drgań od wstrząsów sejsmicznych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, na zlecenie Kompanii Węglowej S.A, została opracowana w latach 2007 – 2009 Górnicza Skala Intensywności GSI-GZWKW [2] i [6], która w nowej wersji, jako skala GSI<sub>GZWKW</sub>-2012-V umożliwia najbardziej wiarygodną ocenę wpływu drgań gruntu od wstrząsów indukowanych eksploatacją górnictw. W 2012 roku skala GSI<sub>GZWKW</sub>-2012-V została pozytywnie zaopiniowana przez Komisję ds. Ochrony Powierzchni przy Wyższym Urzędzie Górniczym i zalecona do stosowania w kopalniach Kompanii Węglowej S.A. [7]. Skala GSI<sub>GZWKW</sub>-2012-V jest skalą empiryczną i pozwala na ocenę wpływu oddziaływania wstrząsów górniczych na budynki, w zakresie od drgań nieszkodliwych, przez drgania powodujące uszkodzenie elementów wykończeniowych, aż do granicy, powyżej której możliwe jest wystąpienie uszkodzeń o charakterze konstrukcyjnym. Stopnie intensywności drgań przedstawione są na wykresach w funkcji parametrów drgań powierzchni, takich jak prędkość drgań i czas trwania wstrząsu.

Rozpatrywany wstrząs z 11.02.2014 r. został zarejestrowany na 5 powierzchniowych stanowiskach sejsmometrycznych (rys. 4). W tabeli 3 zestawione są parametry drgań gruntu dla tego wstrząsu. Najsilniejsze drgania gruntu zostały zarejestrowane na stanowiskach nr 3 oraz nr 4, które znajdowały się w odległości epicentralnej 1521 i 1601 m. Maksymalna zarejestrowana prędkość drgań wywołanych tym wstrząsem wynosiła 0,009 m/s, a przyspieszenie 0,233 m/s<sup>2</sup>. Czas trwania wstrząsu wyniósł ponad 3 s. Wartości te, zgodnie ze skalą GSI<sub>GZWKW</sub>-2012-V odpowiadały drganiom gruntu w I stopniu intensywności. Na pozostałych stanowiskach drgania gruntu od tego wstrząsu charakteryzowały się 0 stopniem intensywności. Wartości prędkości i przyspieszenia na poszczególnych stanowiskach pomiarowych były stosunkowo niskie jak na tak wysoką energię wstrząsu. Niejednokrotnie, przy słabszych wstrząsach eksploatacyjnych, w obszarze epicentralnym rejestrowano impuls przyspieszeniowy o wyższej amplitudzie nawet do 1,0 m/s<sup>2</sup> [5].

Tabela 3. Zmierzone parametry drgań gruntu na stanowiskach pomiarowych

Table 3. Measured parameters of ground vibration on the measurement posts

| Nr stanowiska | Odległość do stanowiska, m | A m/s <sup>2</sup> | V, m/s | Czas t dla V, s | I |  |
|---------------|----------------------------|--------------------|--------|-----------------|---|--|
| 1             | 3668                       | 0,071              | 0,0026 | 4,96            | 0 |  |
| 2             | 3517                       | sejsmogram ucięty  |        |                 |   |  |
| 3             | 1521                       | 0,233              | 0,009  | 3,57            | I |  |
| 4             | 1601                       | 0,220              | 0,009  | 4,71            | I |  |
| 5             | 3106                       | 0,205              | 0,0039 | 4,35            | 0 |  |

Oddziaływanie analizowanego wstrząsu na powierzchnię terenu poza miejscami bezpośrednich pomiarów drgań gruntu, oszacowano w oparciu o mapę intensywności drgań. Mapa intensywności drgań wykreślona została na podstawie wartości parametru  $PGV_{Hmax}$  estymowanych wg zależności 2.1 (rys. 5). Z rysunku tego wynika, że drgania gruntu wywołane tym wstrząsem, w jego strefie epicentralnej mającej około 2 km średnicy, osiągnęły II stopień intensywności. Drgania gruntu w II stopniu intensywności oznaczają:

- dla budynków o dobrym stanie technicznym (szczególnie w górnym zakresie stopnia II), że w pojedynczych przypadkach może wystąpić powiększenie się (przyrost) już istniejących w budynkach uszkodzeń elementów niekonstrukcyjnych,
- w przypadku budynków o dużym naturalnym zużyciu i w złym stanie technicznym mogą powodować pierwsze (nowe) uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych budynków.
- ponadto dla tych budynków drgania w górnym zakresie stopnia II, mogą powodować zwiększenie (przyrost) istniejących uszkodzeń konstrukcyjnych,
- w pojedynczych przypadkach drgania takie mogą być szkodliwe dla liniowych obiektów podziemnej infrastruktury technicznej, szczególnie w starych instalacjach, w miejscu ich łączenia,
- odczuwalność drgań przez ludzi jest silna i wzbudzająca niekorzystne reakcje, a uciążliwość mała.

Na rysunku 5 widoczny jest również obszar o średnicy około 5 km, w którym drgania gruntu osiągnęły I stopień intensywności, co oznacza, że:

- dla budynków o dobrym stanie technicznym drgania są całkowicie nieszkodliwe dla wszystkich elementów konstrukcyjnych oraz niekonstrukcyjnych budynków,
- dla budynków o dużym naturalnym zużyciu i w złym stanie technicznym drgania są całkowicie nieszkodliwe



Rys. 5. Mapa intensywności drgań wg skali GSI<sub>GZWKW</sub> dla wstrząsu z 11.02.2014 r.

Fig. 5. Map of vibration intensity in accordance with GSI<sub>GZWKW</sub> (Intensity Scale of Mining Seismic Events) scale for the tremor from 11 February 2014

dla wszystkich elementów konstrukcyjnych; drgania w górnym zakresie stopnia I, w pojedynczych przypadkach mogą powodować nieznaczne powiększanie się (przyrost), już istniejących w tych budynkach, uszkodzeń elementów niekonstrukcyjnych.

Drgania w tym stopniu są nieszkodliwe dla liniowych obiektów podziemnej infrastruktury technicznej. Odczuwalność drgań przez ludzi jest zauważalna i silna, a uciążliwość jest mała. Poza tym obszarem drgania charakteryzowały się 0 stopniem intensywności, co oznacza brak szkodliwego wpływu tego wstrząsu na powierzchnię.

Wiarygodność przedstawionej prognozy potwierdzają zaobserwowane skutki w budynkach, które wystąpiły po tym wstrząsie. W strefie epicentralnej zgłoszono kilka uszkodzeń w budynkach. Były to uszkodzenia typu: zarysowania tynku w warstwie elewacyjnej i drobne pęknięcia glazury ściennej.

## 5. Podsumowanie

W dniu 11.02.2014 r, poza czynnymi rejonami eksploatacji, wystąpił wysokoenergetyczny wstrząs regionalny o energii  $1,0E+08$  J, którego przyczyną mogło być nałożenie się istniejących w górotworze naturalnych naprężeń, z naprężeniami wynikającymi z prowadzonej eksploatacji. Wstrząs ten nie spowodował uszkodzeń w infrastrukturze powierzchniowej, ale był wyraźnie odczuty na dużym obszarze w odległości kilku kilometrów od epicentrum.

Ocena wartości parametrów  $PGV_{H_{max}}$  i  $PGA_{H10}$ , estymowanych na podstawie empirycznych zależności opisujących relacje tłumienia dla wstrząsów regionalnych w GZW i uwzględniających klasę gruntu wg normy Eurocode 8,

wykazała dobrą korelację z wartościami pomierzonymi na powierzchniowych stanowiskach sejsmometrycznych.

Wielkość i charakter drobnych uszkodzeń zaistniałych w budynkach w analizowanym przypadku również potwierdzają dużą wiarygodność opracowanej prognozy.

## Literatura

1. *Chodacki J.*: Określenie modelu propagacji fal sejsmicznych w ośrodku skalnym z uwzględnieniem lokalnych warunków geologicznych dla GZW. W: *Górnictwo i Środowisko* 2011, nr 4/2, s.60–68.
2. *Dubiński J., Mutke G., Stec K., Lurka A., Barański A.*: Górnictwa Skala Intensywności GSI-GZW do oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego w Zakładach Górnictwa i Środowiska S.A. na obiekty budowlane i na ludzi. *Prace Naukowe GIG „Górnictwo i Środowisko”* 2009, nr 2/2, s. 73–90.
3. *Dulińska J.*: Ziemne budowle hydrotechniczne na terenach sejsmicznych i parasejsmicznych w Polsce. Wybrane aspekty modelowania i obliczeń. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
4. *Siata R., Chodacki J.*: Zastosowanie metody MASW do wyznaczenia profilu prędkościowego warstw przypowierzchniowych. *Miesięcznik WUG*, 2005, nr 6,(130).
5. *Stec K., Barański A.*: Charakterystyka i ocena skutków drgań wstrząsów w kopalniach Kompanii Węglowej S.A. o pikowym przyspieszeniu drgań gruntu powyżej  $0,5$  m/s<sup>2</sup>. *Prace Naukowe GIG „Górnictwo i Środowisko”* 2010, nr 4/4, s. 81–100.
6. *Tatara T.*: Odporność dynamiczna obiektów budowlanych w warunkach wstrząsów górnictwa. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
7. *Uszko M., Barański A., Kowal T., Mutke G.*: Zagrożenia naturalne w kopalniach Kompanii Węglowej SA. Część II. Oddziaływanie wstrząsów górnictwa na powierzchnię. *„Wiadomości Górnicze”* 2013, nr 12, s. 708–720.