



Krystyna KUŹNIAR\*, Tadeusz TATARA\*\*

## **Drgania pochodzenia górniczego gruntu i fundamentu budynku w ocenie ich szkodliwości**

**Streszczenie:** Wstrząsy pochodzenia górniczego (zaliczane do tzw. parasejsmicznych źródeł drgań) nie są kontrolowane przez człowieka. Są zjawiskami losowymi z uwagi na czas, miejsce i intensywność, podobnie jak jest to w przypadku trzęsień ziemi. Drgania gruntu wywołane przez takie wstrząsy mogą skutkować uszkodzeniami konstrukcji powierzchniowych.

Szkodliwość drgań wywołanych wstrząsami górniczymi dla budynków można w sposób przybliżony oceniać za pomocą specjalnie przygotowanych skal, które bazują na parametrach drgań gruntu.

Jednak na skutek przekazywania drgań gruntu na fundamenty budynku, jednocześnie mierzone przebiegi drgań gruntu obok budynku i przebiegi drgań fundamentu mogą się znacząco różnić. Różnice te można tłumaczyć zjawiskiem interakcji dynamicznej podłoże-budynek.

Praca dotyczy oceny szkodliwości drgań pochodzenia górniczego w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM). Pod uwagę wzięto cztery wstrząsy wysokoenergetyczne, które wystąpiły w strefie epicentralnej, w zbliżonych odległościach epicentralnych od analizowanego budynku mieszkalnego średniej wysokości. Wykorzystano uaktualnioną empiryczną Górniczą Skalę Intensywności GSI-2004/11 w wersji prędkościowej (skala podstawowa) i wersji przyspieszeniowej (skala pomocnicza). Ocenę intensywności drgań powierzchniowych według skali GSI-2004/11 prowadzono z użyciem jednocześnie zarejestrowanych przebiegów drgań gruntu obok budynku, a w celach poznawczych i fundamentu budynku. Analizowano wpływ miejsca pomiaru drgań na powierzchni terenu na wyznaczany stopień intensywności drgań. Stwierdzono, że klasyfikacja stopnia intensywności drgań od tego samego wstrząsu może się istotnie różnić w zależności od tego czy oceny dokonywano na podstawie drgań gruntu, czy na podstawie jednocześnie mierzonych drgań fundamentu budynku. Wniosek ten dotyczy zarówno wersji prędkościowej, jak i wersji przyspieszeniowej skali GSI-2004/11.

**Słowa kluczowe:** wstrząsy pochodzenia górniczego, drgania gruntu, drgania fundamentu, budynek mieszkalny, przekazywanie drgań gruntu, szkodliwość drgań, skala GSI

\* Prof. dr hab. inż., Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, e-mail: [kkuzniar@up.krakow.pl](mailto:kkuzniar@up.krakow.pl)

\*\* Prof. dr hab. inż., Politechnika Krakowska, e-mail: [ttatara@pk.edu.pl](mailto:ttatara@pk.edu.pl)

## **Mine-induced ground and building foundation vibrations for the evaluation of their harmfulness**

Abstract: Mining tremors (which belong to so-called paraseismic sources of vibrations) are not subject to human control. They are random events with respect to their time, place and magnitude, as with earthquakes. The free-field vibrations caused by mining rockbursts can result in damage of the surface structures. The harmfulness of mine-induced vibrations to buildings can be estimated using appropriately prepared scales which are based on the parameters of ground vibrations. As a result of the transmission of ground vibrations to building foundations, the records of vibrations simultaneously registered on the ground close to a building and at the foundation level of the building can differ significantly. These differences can be explained by the soil-structure interaction effect. The paper deals with the evaluation of harmfulness of mine-induced vibrations in the Legnica-Glogow Copper field (LGC). Four strong mining tremors with similar epicentral distances from the analyzed medium-rise apartment building have been taken into account. The GSI-2004/11 velocity version Mining Intensity Scale (the basis scale) as well as acceleration version (supporting version) have been applied. The evaluation of the intensity of surface vibrations according to the GSI-2004/11 scale has been performed using recorded ground and also building foundations vibrations, for research purposes. The influence of the place of surface vibrations measurements on the evaluated intensity of vibrations has been analyzed. It was stated that significant differences can occur in the classification of the same mining tremor depending on whether the evaluation had been performed on the basis of ground vibrations or on the building foundation vibrations measured at the same time. The conclusion concerns the velocity version as well as acceleration version of the GSI-2004/11 scale.

Keywords: mining tremors, ground vibrations, building foundation vibrations, apartment building, transmission of ground vibrations, harmfulness of vibrations, GSI scale

## **Wprowadzenie**

Podziemna eksploatacja górnictwa generuje wstrząsy górotworu. Tego typu wstrząsy mają charakter losowy i przypominają słabe trzęsienia ziemi. W Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM), który jest jednym z najbardziej aktywnych sejsmicznie regionów górniczych w Polsce, energia występujących wstrząsów jest zróżnicowana, od umownie przyjętej dolnej granicy  $10^3$  J do  $10^{10}$  J. Wstrząsy o energiach  $10^6$  J i większej, a więc wstrząsy wysokoenergetyczne, uważane są za wstrząsy silne i bardzo silne.

Drgania górotworu propagujące się do powierzchni terenu stanowią wymuszenie kinematyczne konstrukcji budowlanych, wywołują ich drgania i obciążenie obiektów w postaci sił bezwładności. Niezbędna jest zatem analiza skutków tego typu oddziaływań na budowlane konstrukcje powierzchniowe, a więc ocena wpływu (szkodliwości) drgań pochodzenia górniczego.

Wygodnym w praktyce, prostym, przybliżonym sposobem oceny szkodliwości drgań górniczych dla budynków jest wykorzystanie odpowiednio przygotowanych skal (Biessikowski 2014; Ciesielski 1973; Dubiński i in. 2011a; Dubiński i in. 2011b; Jaśkiewicz-Proć 2014; Tataro 2002; Tataro 2012). Tego typu skale pozwalają na określenie stopnia intensywności drgań i dalej, na oszacowanie ich wpływu na budynki. Bazują one na parametrach drgań gruntu (np. prędkości drgań, czasie trwania intensywniej fazy drgań). Tymczasem drgania pomierzone na fundamentach budynków mogą się istotnie różnić od jednocześnie rejestrowanych drgań na gruncie obok budynków (Kuźniar i in. 2006; Kuźniar i Tataro 2015; Maciąg 2006; Maciąg i in. 2015; Tataro 2012). Natomiast w pracy Maciąga (2005) wykazano, że dokładniejsze określanie szkodliwości drgań dla budynków możliwe jest na podstawie przebiegów drgań ich fundamentów.

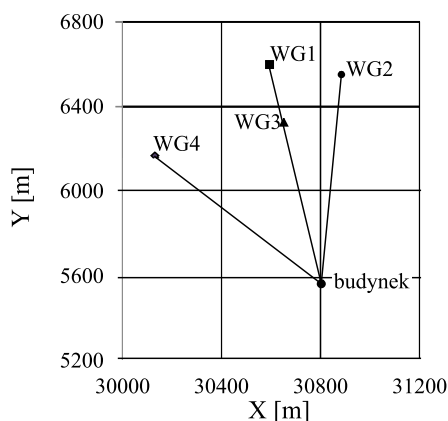
Zatem interesujące byłoby porównanie ocen szkodliwości drgań pochodzenia górniczego uzyskanych na podstawie informacji o drganiach gruntu zarejestrowanych w bliskim sąsiedztwie budynku, z ocenami uzyskanymi z użyciem parametrów jednocześnie mierzonych drgań fundamentu budynku.

Praca dotyczy oceny szkodliwości drgań pochodzenia górniczego w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM). Pod uwagę wzięto cztery wstrząsy wysokoenergetyczne, które wystąpiły w strefie epicentralnej, w zbliżonych odległościach epicentralnych od analizowanego budynku mieszkalnego średniej wysokości. Wykorzystano uaktualnioną empiryczną Górniczą Skalę Intensywności GSI-2004/11 w wersji prędkościowej (skala podstawowa) i wersji przyśpieszeniowej (skala pomocnicza). Ocenę intensywności drgań powierzchniowych wg skali GSI-2004/11 prowadzono z użyciem jednocześnie zarejestrowanych przebiegów drgań gruntu obok budynku, a w celach poznawczych i fundamentu budynku. Analizowano wpływ miejsca pomiaru drgań powierzchniowych na wyznaczany stopień intensywności drgań.

### 1. Analizowane wyniki pomiarów

Zarejestrowane drgania były wynikiem wstrząsów zaistniałych w LGOM. Pod uwagę wzięto cztery wstrząsy o stosunkowo dużych energiach: rzędu E6, E7, E8, E9 J. Pary przebiegów drgań (gruntu i fundamentu budynku) użyte do analiz były rejestrowane jednocześnie (za pomocą aparatury „czuwającej”) na stacji sejsmicznej zlokalizowanej na gruncie obok pięciokondygnacyjnego budynku mieszkalnego (w odległości kilku metrów od budynku) oraz stacji umieszczonej na fundamencie tego budynku.

Na rysunku 1 schematycznie pokazano mapę lokalizacji analizowanych wstrząsów i rozważanego budynku z uwzględnieniem współrzędnych sejsmologicznych (X, Y) obowiązującego w LGOM lokalnego układu odniesienia. Natomiast w pierwszych wierszach tabeli 1 zamieszczono charakterystykę tych wstrząsów – podano wartości energii ( $E_n$ ) oraz odległości epicentralnych ( $r_e$ ).



Rys. 1. Schematyczna mapa lokalizacji analizowanych ognisk wstrząsów i budynku

Fig. 1. Schematically shown locations of the analyzed foci and building tremors

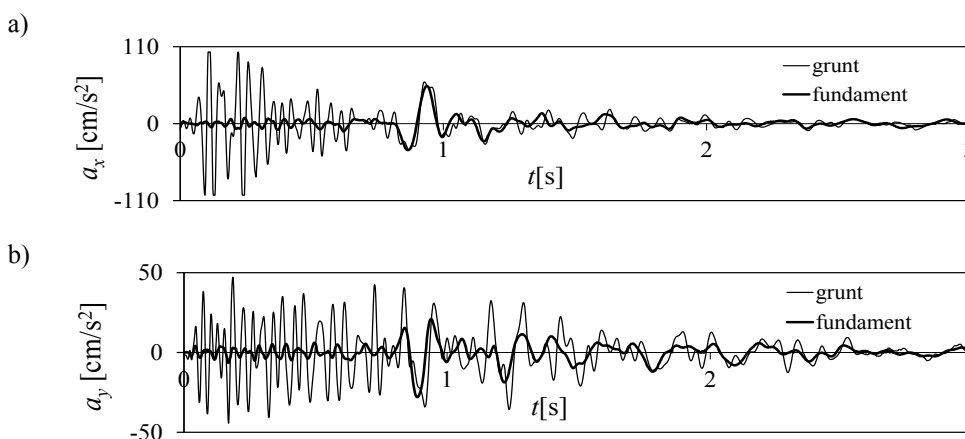
TABELA 1. Parametry analizowanych wstrząsów górniczych i drgań powierzchniowych

TABLE 1. Parameters of analyzed mining tremors and surface vibrations

Wstrząs górniczy		WG1	WG2	WG3	WG4
En [J]		$5,7 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^9$
re [m]		1248	1032	912	1174
Przyspieszenia drgań	PGA <sub>x</sub> [cm/s <sup>2</sup> ]	39,20	102,40	135,00	102,4
	PGA <sub>y</sub> [cm/s <sup>2</sup> ]	28,65	47,20	57,60	102,4
	PGA [cm/s <sup>2</sup> ]	39,20	108,83	135,15	144,82
	PFA <sub>x</sub> [cm/s <sup>2</sup> ]	10,60	53,80	28,90	63,70
	PFA <sub>y</sub> [cm/s <sup>2</sup> ]	13,25	28,00	36,6	102,4
	PFA [cm/s <sup>2</sup> ]	16,55	57,65	38,44	104,29
Prędkości drgań	PGV <sub>x</sub> [cm/s]	0,4	1,7	4,8	5,7
	PGV <sub>y</sub> [cm/s]	0,5	0,8	2,2	5,8
	PGV [cm/s]	0,6	1,8	4,9	8,0
	PFV <sub>x</sub> [cm/s]	0,4	1,6	1,8	5,2
	PFV <sub>y</sub> [cm/s]	0,4	0,6	2,1	7,6
	PFV [cm/s]	0,6	1,7	2,4	8,6

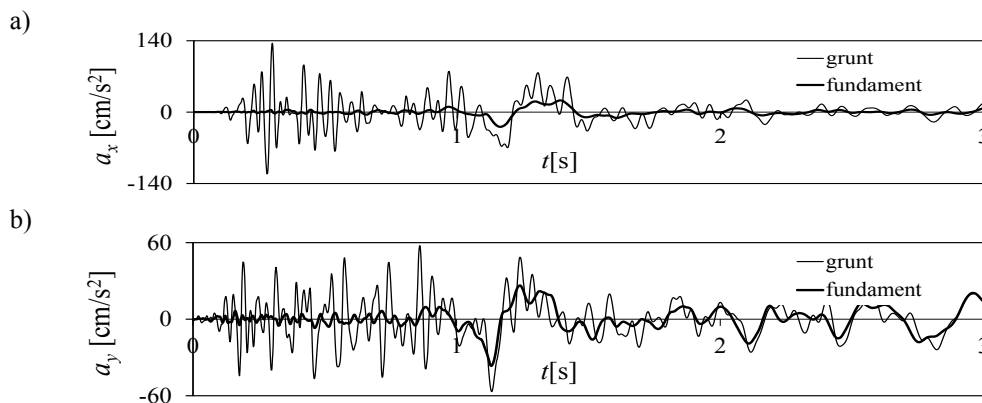
Mierzono składowe przebiegi przyspieszeń drgań równocześnie na gruncie i na fundamencie budynku w dwóch kierunkach drgań poziomych:  $x$  i  $y$ , równoległych odpowiednio do osi poprzecznej i podłużnej budynku. Przebiegi prędkości drgań uzyskiwano poprzez całkowanie zarejestrowanych przebiegów przyspieszeń drgań. Wykorzystując przebiegi drgań składowych, wyznaczano odpowiednie przebiegi drgań wypadkowych.

Na rysunkach 2 i 3 pokazano porównania jednocześnie pomierzonych przebiegów przyspieszeń drgań składowych gruntu i fundamentu budynku indukowanych odpowiednio wstrząsem WG2 i WG3. Z kolei na rysunku 4 przedstawiono analogiczne porównania doty-



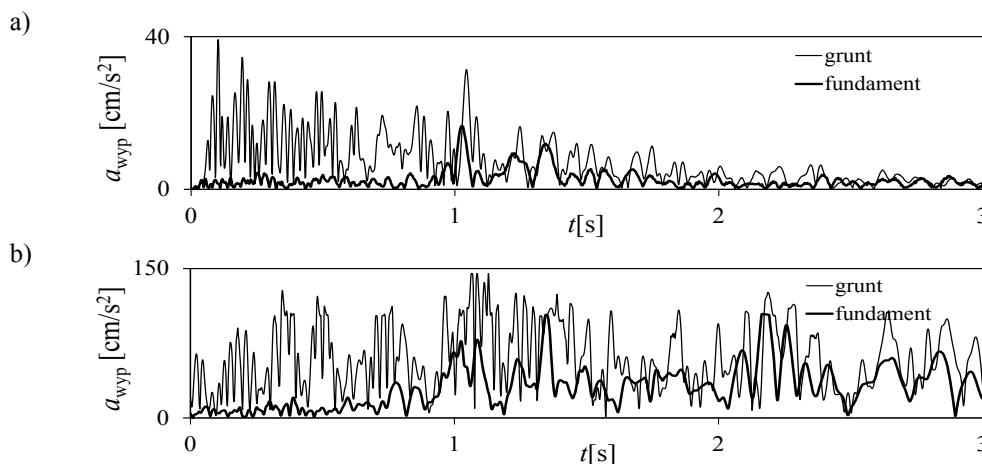
Rys. 2. Przebiegi przyspieszeń drgań od wstrząsu WG2: a) w kierunku  $x$ ; b) w kierunku  $y$

Fig. 2. Accelerograms of the WG2 tremor: a)  $x$  direction; b)  $y$  direction



Rys. 3. Przebiegi przyspieszeń drgań od wstrząsu WG3: a) w kierunku  $x$ ; b) w kierunku  $y$

Fig. 3. Accelerograms of the WG3 tremor: a)  $x$  direction; b)  $y$  direction



Rys. 4. Przebiegi przyspieszeń drgań wypadkowych od wstrząsu: a) WG1; b) WG4

Fig. 4. Resultant accelerograms of tremor: a) WG1; b) WG4

czące przebiegów przyspieszeń drgań wypadkowych w przypadku wstrząsów WG1 i WG4. Widać, że różnice w przebiegach drgań gruntu i fundamentu odbywających się w tym samym czasie mogą być znaczące tak w zakresie przebiegów składowych przyspieszeń drgań, jak również wypadkowych.

Dodatkowo w tabeli 1 zamieszczono maksymalne wartości przyspieszeń oraz prędkości drgań gruntu i fundamentu budynku wzbudzanych rozważanymi wstrząsami. Zastosowano oznaczenia:  $PGA_x$ ,  $PGA_y$ ,  $PGA$  – maksymalne wartości przyspieszeń poziomych drgań gruntu odpowiednio w kierunku  $x$ , kierunku  $y$  i wypadkowych;  $PFA_x$ ,  $PFA_y$ ,  $PFA$  – maksymalne wartości przyspieszeń poziomych drgań fundamentu odpowiednio w kierunku  $x$ , kierunku  $y$  oraz wypadkowych;  $PGV_x$ ,  $PGV_y$ ,  $PGV$  – maksymalne wartości prędkości poziomych drgań gruntu odpowiednio w kierunku  $x$ , kierunku  $y$  i wypadkowych;  $PFV_x$ ,  $PFV_y$ ,  $PFV$  –

maksymalne wartości prędkości poziomych drgań fundamentu odpowiednio w kierunku  $x$ , kierunku  $y$  oraz wypadkowych.

Różnice w maksymalnych wartościach drgań gruntu i fundamentu oceniano poprzez wyliczenie odpowiednich ułamków równych stosunkowi maksymalnej wartości drgań na fundamencie i maksymalnej wartości drgań na gruncie dla wszystkich analizowanych par grunt-fundament przebiegów przyspieszeń i prędkości drgań składowych oraz wypadkowych. Oczywiście maksymalne wartości składowych przyspieszeń drgań na gruncie i na fundamencie budynku zwykle nie pojawiają się w tym samym czasie ze względu na modyfikację przebiegów drgań na styku grunt-fundament. Z uzyskanych wyników, które zostały zamieszczone w tabeli 2 i tabeli 3 widać, że przy przekazywaniu drgań od wstrząsów górniczych WG1–WG4 z gruntu na fundament budynku, redukcja maksymalnych wartości prędkości drgań jest mniejsza niż redukcja maksymalnych wartości przyspieszeń drgań dla tych samych wstrząsów. Wniosek ten dotyczy wszystkich analizowanych przypadków drgań składowych i wypadkowych.

TABELA 2. Wartości ułamków  $a_{fmax}/a_{gmax}$

TABLE 2. Values of the  $a_{fmax}/a_{gmax}$  ratios

Kierunek drgań	$a_{fmax}/a_{gmax}$ [-]			
	WG1	WG2	WG3	WG4
$x$	0,27	0,53	0,21	0,62
$y$	0,46	0,59	0,64	1,00
Wypadkowa	0,42	0,53	0,28	0,72

TABELA 3. Wartości ułamków  $v_{fmax}/v_{gmax}$

TABLE 3. Values of the  $v_{fmax}/v_{gmax}$  ratios

Kierunek drgań	$v_{fmax}/v_{gmax}$ [-]			
	WG1	WG2	WG3	WG4
$x$	1,00	0,94	0,38	0,91
$y$	0,80	0,75	0,95	1,31
Wypadkowa	1,00	0,94	0,49	1,08

## 2. Przybliżona ocena szkodliwości drgań powierzchniowych w LGOM z użyciem drgań gruntu i drgań fundamentu budynku

Przybliżoną ocenę wpływu drgań górniczych w LGOM przeprowadzono przy pomocy uaktualnionej empirycznej Górniczej Skali Intensywności GSI-2004/11 (Dubiński i in. 2011a; Dubiński i in. 2011b) w wersji prędkościowej (skala podstawowa) i przyspieszeniowej (skala pomocnicza). Skala ta, po pozytywnym zaopiniowaniu przez Komisję ds. Ochrony powierzchni Wyższego Urzędu Górniczego, w marcu 2012 r. została przyjęta do stosowania. Szczegółowy opis skutków działania wstrząsów pochodzenia górniczego w stopniach

intensywności (cztery stopnie intensywności – od stopnia 0 do stopnia III) sejsmicznej skali GSI-2004/11 został podany w monografii Tatary (2012).

Podstawowymi parametrami, niezbędnymi w ocenie wpływu drgań powierzchniowych od wstrząsów poprzez zastosowanie skali GSI-2004/11, są: maksymalna wartość wypadkowej poziomej prędkości drgań gruntu  $PGV$  – skala GSI-2004/11V, maksymalna wartość wypadkowego poziomego przyspieszenia drgań gruntu  $PGA_{H10}$ , uzyskana na podstawie odfiltrowanych przebiegów składowych poziomych drgań w paśmie do 10Hz – skala GSI-2004/11A oraz czas trwania intensywnej fazy drgań – odpowiednio  $t_{Hv}$  w przypadku prędkości i  $t_{Ha}$  w przypadku przyspieszeń.

Opisu skutków oddziaływania drgań wywołanych analizowanymi wstrząsami WG1–WG4 (ich charakterystykę podano w p. 1) dokonano w odniesieniu do typowego, prefabrykowanego (wieloblokowego), wielosegmentowego budynku mieszkalnego średniej wysokości – pięciokondygnacyjnego. Budynek jest w całości podpiwniczony, posadowiony na ławach fundamentowych. Podłoże gruntowe stanowi warstwa gleby, poniżej glina piaszczysta, miejscami piasek średni i piasek drobny.

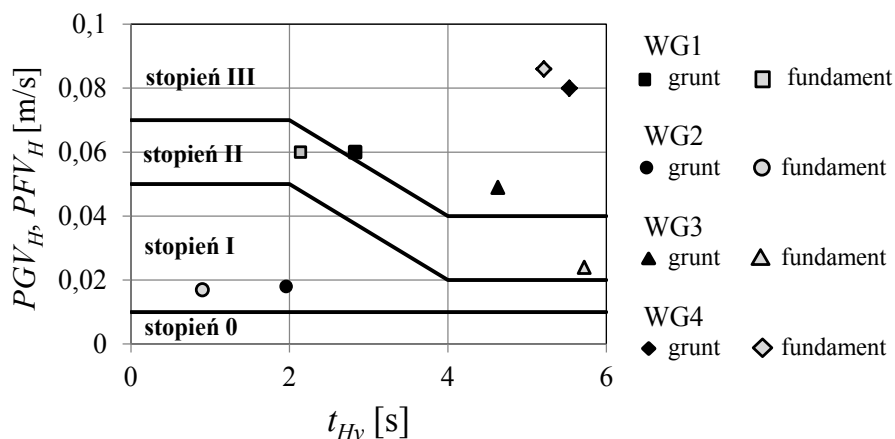
W tabeli 4 zestawiono parametry charakteryzujące cztery analizowane zjawiska sejsmiczne wykorzystywane w ocenie ich intensywności według skali GSI-2004/11 – wersja prędkościowa ( $PGV$ ,  $t_{Hv}$ ). Dodatkowo w celach porównawczych podano także parametry wykorzystywane w ocenie wg skali pomocniczej – wersja przyspieszeniowa ( $PGA_{H10}$ ,  $t_{Ha}$ ). Poza tym w celach poznawczych w tabeli 4 zestawiono także parametry drgań powierzchniowych zarejestrowanych na fundamencie analizowanego budynku. Wyniki analizy będą pomocne w udzieleniu odpowiedzi na pytanie, jakie różnice w ocenie intensywności ( $I$ ) uzyskuje się na podstawie parametrów drgań gruntu w bezpośrednim sąsiedztwie budynku i jego fundamentu.

TABELA 4. Parametry drgań powierzchniowych wykorzystane w ocenach intensywności według skal GSI-2004/11 oraz ocena intensywności ( $I$ )

TABLE 4. Surface vibration parameters applied in the evaluation of intensity by the GSI-2004/11 scale and the evaluation of intensity ( $I$ )

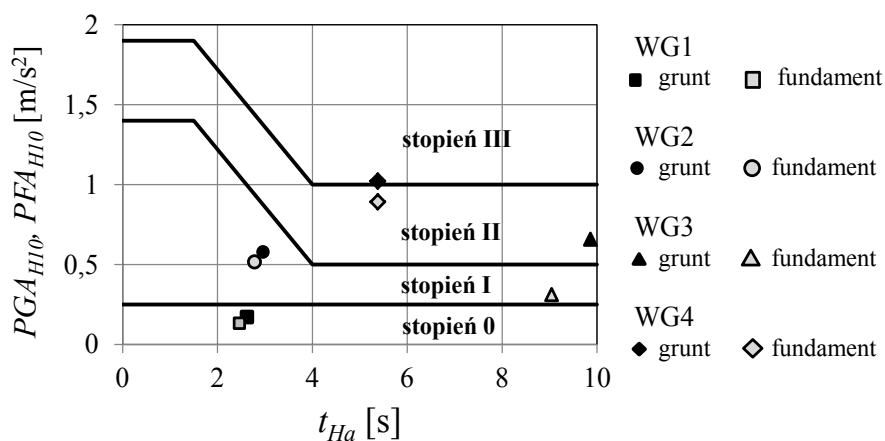
Parametry drgań		Analizowany wstrząs							
		WG1		WG2		WG3		WG4	
		parametry drgań	$I$	parametry drgań	$I$	parametry drgań	$I$	parametry drgań	$I$
Prędkości	$PGV$ [cm/s]	0,6	III	1,8	I	4,9	III	8,0	III
	$t_{Hv}$ [s] – grunt	2,83		1,96		4,63		5,53	
	$PFV$ [cm/s]	0,6	II	1,7	I	2,4	II	8,6	III
	$t_{Hv}$ [s] – fundament	2,14		0,90		5,72		5,21	
Przyspieszenia	$PGA_{H10}$ [cm/s <sup>2</sup> ]	17,25	0	57,83	I	65,93	II	102,29	III
	$t_{Ha}$ [s] – grunt	2,62		2,96		9,86		5,38	
	$PFA_{H10}$ [cm/s <sup>2</sup> ]	13,41	0	51,73	I	31,23	I	89,34	II
	$t_{Ha}$ [s] – fundament	2,46		2,78		9,04		5,38	

Ilustrację graficzną wyników oceny intensywności drgań powierzchniowych wywołanych analizowanymi wstrząsami WG1–WG4 według skali GSI-2004/11V i GSI-2004/11A przedstawiono odpowiednio na rysunkach 5 i 6.



Rys. 5. Wyniki oceny intensywności drgań powierzchniowych wywołanych wstrząsami WG1–WG4 według skali GSI-2004/11V

Fig. 5. Results of the evaluation of the intensity of the surface vibrations induced by WG1–WG4 tremors using the GSI-2004/11V scale



Rys. 6. Wyniki oceny intensywności drgań powierzchniowych wywołanych wstrząsami WG1–WG4 według skali GSI-2004/11A

Fig. 6. Results of the evaluation of the intensity of the surface vibrations induced by WG1–WG4 tremors using the GSI-2004/11A scale

Z analizy rysunku 5 widać, że wyniki oceny intensywności drgań według skali GSI-2004/11V mogą różnić się w przypadku przyjęcia parametrów drgań gruntu i fundamentu. Przykłado-



wo parametry wstrząsu WG1 (o najniższej energii) wskazują na III stopniu intensywności, natomiast jeśli w ocenach uwzględnia się parametry drgań fundamentu, wówczas stopień intensywności drgań wynosi II. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku wstrząsu WG3.

Z kolei ocena intensywności drgań wstrząsów WG2 i WG4 nie zależy od przyjętego miejsca pomiaru drgań powierzchniowych.

Parametry wstrząsów WG1, WG3 i WG4 znajdują się w III strefie intensywności. Szczególnie niebezpieczny może być wstrząs WG4, którego parametry znajdują się znacznie powyżej linii opisującej III stopień intensywności – por. rys. 5. Z opisu skutków działania drgań o intensywności w III stopniu, podanych w (Tatara 2012) wynika, że w takim przypadku mogą drgać całe budynki, a wstrząsy mogą spowodować uszkodzenie elementów drugorzędnych – wykończeniowych w budynkach. Najbardziej typowe uszkodzenia to: odpadanie i zarysowanie płytek ściennych, rysy wokół ościeżnic drzwi oraz wokół okien, pęknięcia szyb, zarysowania lub spękania ścianek działowych, zarysowania bądź też spękania tynku. Czasami obserwuje się uszkodzenia pokryć z dachówek i zarysowania elewacji. Mogą wystąpić szkody w mieniu ruchomym: przewracanie się drobnych, luźno stojących przedmiotów (np. książek, figurek itp.), stłuczenie naczyń i szklanej zastawy. Meble mogą drgać, a w pojedynczych przypadkach mogą się lekko przemieszczać. W budynkach starych, ilościowy wymiar uszkodzeń może być istotnie zwiększony. Uszkodzeniu mogą ulec zużyte technicznie kominy (zarysowania, poluzowanie cegieł). Uszkodzone mogą zostać fragmenty pokrycia dachowego z dachówek na styku z kominami. Natomiast w budynkach wykonanych w systemach uprzemysłowionych prawdopodobne są zarysowania lub ich intensyfikacja na stykach elementów prefabrykowanych, a także uszkodzenia w postaci odspajania gzymsów, spadania dachówek, odspajania tynku, uszkodzenia kominów, zarysowania ścian działowych oraz nośnych w systemowym budownictwie uprzemysłowionym i tradycyjnym. Mogą wystąpić poważniejsze szkody w mieniu: przesuwanie się lub przewracanie mebli (szczególnie smukłych meblówścianek na wyższych piętrach), spadanie obrazów, spadanie większych przedmiotów (np. telewizorów). Zawaleniu mogą ulec wiotkie ściany szczytowe i kominy. Poważnym uszkodzeniom mogą ulec ścianki kolankowe i konstrukcje więźby dachowej. Uszkodzenia w budynkach mogą dotyczyć elementów konstrukcyjnych, istotnych dla bezpieczeństwa budynku i jego użytkowników.

Wykorzystanie skali pomocniczej GSI-2004/11A do oceny intensywności drgań powierzchniowych w przypadku wstrząsów WG1 i WG2 daje takie same wyniki bez względu na uwzględniane miejsce pomiaru drgań (grunt, fundament budynku). Natomiast w przypadku wstrząsów WG3 i WG4 wyniki oceny intensywności drgań różnią się – zależą od przyjętych parametrów drgań: gruntu albo fundamentu budynku – por. rys. 6.

### **Wnioski końcowe**

Stwierdzono, że klasyfikacja stopnia intensywności drgań od tego samego wstrząsu z obszaru LGOM może się istotnie różnić w zależności od tego czy oceny dokonywano na podstawie drgań gruntu, czy na podstawie jednocześnie mierzonych drgań fundamentu budynku. Wniosek ten dotyczy zarówno wersji prędkościowej, jak i wersji przyspieszeniowej skali GSI-2004/11.

## Literatura

- Biessikirski, A. 2014. Ocena oddziaływania drgań parasejsmicznych na budynki mieszkalne dla wybranych skal wpływów dynamicznych, *Przegląd Górniczy* 6/2014, s. 1–6.
- Ciesielski, R. 1973. *Ocena szkodliwości wpływów dynamicznych w budownictwie*, Arkady, Warszawa, 251 s.
- Dubiński i in. 2011a – Dubiński, J., Jaśkiewicz, K., Lurka, A. i Mutke, G. 2011a. Górnicza skala intensywności sejsmicznej GSI-2004/11 dla wstrząsów górniczych w LGOM. [W:] *Weryfikacja skal GSI-2004*, Wrocław: KGHM CUPRUM sp. z o.o. – CBR, (praca niepublikowana), s. 150–169.
- Dubiński i in. 2011b – Dubiński, J., Lurka, A., Mutke, G., Stec, K., Jaśkiewicz, K., Jaśkiewicz, I. i Stolecki, L. 2011b. Weryfikacja skal GSI-2004, KGHM CUPRUM sp. z o.o. – CBR, Wrocław lipiec 2011 (praca niepublikowana), 169 s.
- Jaśkiewicz-Proć, I. 2014. Korelacja oceny oddziaływania drgań według skali GSI-2004/11 z uszkodzeniami budynków po wstrząsach górniczych w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym, *Przegląd Górniczy* 6/2014, s. 14–23.
- Kuźniar i in. 2006 – Kuźniar, K., Maciąg, E. i Tatar, T. 2006. Acceleration response spectra from mining tremors, *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (ECEES)*, Geneva, 3-8 September 2006, Switzerland, Abstract Book, s. 466–467 (całość dostępna na płycie CD).
- Kuźniar, K. i Tatar, T. 2015. Wpływ typu budynku na transmisję spektrów odpowiedzi od drgań górniczych z gruntu na fundamenty, *Przegląd Górniczy* 10/2015, s. 31–36.
- Maciąg, E. 2005. Ocena szkodliwości wstrząsów górniczych dla budynków na podstawie drgań ich fundamentów czy gruntu?, *Inżynieria i Budownictwo* 12/2005, s. 670–677.
- Maciąg, E. 2006. Interakcja układu budynek-podłoże gruntowe w świetle doświadczalnego badania drgań parasejsmicznych, *Inżynieria Morska i Geotechnika* 4, s. 240–250.
- Maciąg i in. 2015 – Maciąg, E., Kuźniar, K. i Tatar, T. 2015. Spektra odpowiedzi drgań gruntu i fundamentów budynków od wstrząsów górniczych w LGOM. [W:] Stypuła, K. red. *Aktualne problemy wpływów sejsmicznych i parasejsmicznych na budowlę*, Tom II: *Badania wstrząsów górniczych i drgań komunikacyjnych*, Monografia 477/2, Seria Inżynieria Lądowa, Kraków: Wyd. PK, s. 39–66.
- Tatar, T. 2002. *Działanie drgań powierzchniowych wywołanych wstrząsami górniczymi na niską tradycyjną zabudowę mieszkalną*, Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, seria Inżynieria Lądowa, 74, Kraków: Wyd. PK, 144 s.
- Tatar, T. 2012. *Odporność dynamiczna obiektów budowlanych w warunkach wstrząsów górniczych*, Kraków: Wyd. PK, 258 s.