



Korelacja oceny oddziaływania drgań według skali GSI-2004/11 z uszkodzeniami budynków po wstrząsach górniczych w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym

Correlation of the GSI-2004/11 scale with building damage caused by mining tremors in Legnica-Głogow Copper Region

Dr inż. Izabela Jaśkiewicz-Proć*)

Treść: Jedną z konsekwencji podziemnej eksploatacji rudy miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM) są podziemne wstrząsy górnicze. Występowanie zjawisk dynamicznych łączy się z oddziaływaniem ich na powierzchnię terenu, a co za tym idzie wiąże się z występowaniem szkód górniczych w obiektach budowlanych. Celem artykułu jest analiza uszkodzeń budynków na terenie górniczym po dużych wstrząsach górniczych oraz porównanie ich ze wskazaniami Górniczej Skali Intensywności (GSI-2004/11). W tym celu wykorzystane zostały dane pomiarowe drgań, przypisane im stopnie zgodnie z procedurami skali GSI-2004/11 oraz rzeczywiste obserwacje zachowania się obiektów po wstrząsach górniczych, sporządzane na podstawie protokołów z przeglądów po zaistniałych wstrząsach górniczych. Uwzględniając aktualny stan obiektów budowlanych, artykuł ma charakter pogładowy i informujący o zgodności oceny drgań gruntu według empirycznej skali GSI-2004/11 z zaistniałymi uszkodzeniami w budynkach oraz o problemach w ocenie poszczególnych przypadków.

Abstract: Mining tremors are one of the consequences of underground exploitation of copper ore in Legnica-Głogow Copper Region. The occurrence of dynamic phenomena affects the surface area and results in building damages. The aim of this paper is to analyze the building damages on the surface after mining tremors and to compare the obtained results with the mining intensity scale. The study makes use of the tremor measurement data, their assigned marks, according to the procedures of the GSI-2004/11 scale, and the observation records after mining tremors that are prepared on the basis of the protocols. Taking into account the current conditions of building, the paper is rather a survey that provides information on reliability of the empirical scale GSI-2004/11 and certain problems with assessment of individual cases.

Słowa kluczowe:

dynamiczne oddziaływanie drgań, szkody górnicze

Key words:

dynamic impact of vibration, mining damages

1. Wprowadzenie

Do oceny wpływu oddziaływania drgań na istniejącą zabudowę powierzchni terenu w warunkach Legnicko – Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) zastosowano empiryczną górniczą skalę intensywności sejsmicznej GSI-2004/11. Skala ta podaje jednolite procedury do oceny wpływu oddziaływania drgań na budynki, ludzi oraz kwalifikuje uciążliwość użytkowania obiektów budowlanych. Opracowana skala pozwala wyznaczyć stopnie intensywności drgań, a na tej podstawie może określić spodziewane szkody w budynkach.

Celem artykułu jest porównanie stopni intensywności drgań wyznaczonych w oparciu o skalę GSI-2004/11 z rzeczywistymi uszkodzeniami budynków, jakie zaistniały po wstrząsach górniczych na terenie LGOM. Bazując na materiałach dotyczących wyników przeglądów z budynków, porównano wskazania skali z rzeczywistymi uszkodzeniami po wstrząsach górniczych.

2. Górnicza skala intensywności sejsmicznej GSI-2004/11

Podstawowymi parametrami w stosowanej skali GSI-2004/11, jakie określa się na podstawie zapisów sejsmicznych drgań są następujące parametry [1,2,4]:

- maksymalna amplituda prędkości drgań poziomych, PGV_{Hmax} , wyznaczana jako poziome maksimum długości wektora drgań gruntu;
- maksymalna amplituda przyspieszenia drgań poziomych w paśmie częstotliwości do 10 Hz, PGA_{H10} , wyznaczana, jako poziome maksimum długości wektora drgań gruntu;
- czas trwania składowej poziomej prędkości drgań zarejestrowany na sejsmogramie t_{HV} , wyznaczany pomiędzy momentami czasowymi, kiedy intensywność Ariasa (określona wzorem 2.1) osiąga 5% i 95% swojej maksymalnej wartości

$$I_{HV}(t) = \frac{\int_0^t [V_x^2(t) + V_y^2(t)] dt}{\int_0^{t_V} [V_x^2(t) + V_y^2(t)] dt} \quad (2.1)$$

*) KGHM Cuprum, Wrocław

gdzie:

- $V_x(t)$ – sejsmogram prędkości drgań zarejestrowany na składowej poziomej x,
 $V_y(t)$ – sejsmogram prędkości drgań zarejestrowany na składowej poziomej y,
 t_V – całkowity czas trwania zapisu prędkości drgań;
 - czas trwania składowej poziomej przyspieszenia drgań zarejestrowany na akcelerogramie t_{Ha} ,
 wyznaczany pomiędzy momentami czasowymi, kiedy intensywność określona wzorem (określona wzorem 2.2) osiąga 5% i 95% swojej maksymalnej wartości

$$I_{Ha}(t) = \frac{\int_0^t [a_x^2(t) + a_y^2(t)] dt}{\int_0^{t_A} [a_x^2(t) + a_y^2(t)] dt} \quad (2.2)$$

gdzie:

- $a_x(t)$ – akcelerogram drgań zarejestrowany na składowej poziomej x poddany filtracji dolnoprzepustowej 10 Hz,
 $a_y(t)$ – akcelerogram drgań zarejestrowany na składowej poziomej y poddany filtracji dolnoprzepustowej 10 Hz,
 t_A – całkowity czas trwania zapisu przyspieszenia drgań.

Podstawową skalą empiryczną do oceny intensywności drgań jest skala GSI-2004/11-V, oparta na amplitudzie prędkości drgań poziomych PGV_{Hmax} oraz czasie ich trwania t_{HV} . Skalami pomocniczymi jest: skala GSI-2004/11-A, wykorzystująca amplitudę przyspieszenia drgań poziomych PGA_{H10} i czas trwania t_{Ha} oraz skala GSI-2004/11-S, bazująca na parametrze przyspieszeniowego spektrum odpowiedzi. Każda skala uwzględnia 4 stopnie intensywności drgań (od stopnia 0 do stopnia III), dla których opisane zostały intensywności oddziaływania drgań na budynki oraz intensywność odczuwania tych drgań przez ludzi. Należy podkreślić, że wpływy drgań podłoża na obiekty budowlane zasadniczo zależą od ich stanu technicznego oraz wcześniejszych zabezpieczeń budynków na wstrząsy górnicze.

3. Uszkodzenia budynków po wstrząsach górniczych w obszarze górniczym ZG Rudna

3.1. Czynniki wpływające na szkodliwość drgań

Podstawowym czynnikiem wpływającym na szkodliwość drgań na zabudowę jest wartość energii wstrząsu sejsmicznego, odległość od ogniska i litologia oraz budowa warstw

przypowierzchniowych. Uszkodzenia w budynkach występują od wstrząsów o energiach rzędu E6, E7, E8 i E9 J. Rozkład wartości rejestrowanych drgań wykazuje pewną kierunkowość w zależności od budowy geologicznej. Decydującym elementem oddziaływującym na zabudowę są parametry drgań – amplitudy prędkości i przyspieszenia drgań oraz czas trwania. Przyczynia się on do występowania drgań rezonansowych budynku. Z przeprowadzonych analiz wynika, że nawet pojedynczy o dużej wartości amplitudy prędkości lub przyspieszeń pik nie jest w stanie wywołać odpowiedzi dynamicznej konstrukcji budowlanej [4]. W zależności od istniejącej konstrukcji budowlanej obserwuje się różne wpływy drgań na istniejące budowle. Zabudowę powierzchni terenu ZG Rudna stanowią budynki posadowione w miejscowościach zabudowy wiejskiej, charakteryzujące się zróżnicowanym wiekiem istnienia, budynki typu willowego oraz budynki wielkopłytkowe (4-, 5- i 11-kondygnacyjne) [2,3,5]. Pojawienie się szkód górniczych zależy od stanu technicznego, wieku budynku i stopnia zużycia naturalnego. Wszystkie wymienione czynniki determinują zróżnicowane oddziaływanie wstrząsów górniczych na budynki.

3.2. Korelacja stopni intensywności skali GSI-2004/11 z odnotowanymi uszkodzeniami budynków

Podstawę przeprowadzenia korelacji był zbiór parametrów drgań zarejestrowanych na poszczególnych powierzchniowych stanowiskach sejsmometrycznych oraz opis uszkodzeń uznanych podczas przeglądów technicznych, przeprowadzonych po zaistnieniu wstrząsów. Zgromadzony materiał wraz z opisem szkód górniczych pochodzi z pracy dotyczącej weryfikacji skali GSI-2004 [3]. Poniżej przedstawiono wyniki przeprowadzonych obserwacji przez kopalniane służby ds. szkód górniczych i odnotowane uszkodzenia w budynkach w latach 2006-2010. Wszystkie wstrząsy górnicze wraz z informacją o uszkodzeniach po przeglądach posegregowane zostały według stopnia intensywności drgań według skali GSI-2004/11-V w zależności od odległości epicentralnej R_e w grupach: do 500 m; 500–1000 m; 1000–2000 m; większej niż 2000 m.

3.2.1. Klasyfikacja wpływu drgań dla 0 stopnia intensywności

a) $R_e < 500$

W odległości epicentralnej do 500 m zebrano dane z 6 przeglądów budynków wykonanych po wystąpieniu wstrząsów o energii sejsmicznej rzędu E6 J. Wszystkie zarejestrowane drgania według skali GSI-2004/11-V wykazały 0 stopień intensywności, a według skali GSI-2004/11-A w 3 przypadkach wystąpił I stopień intensywności. Nie stwierdzono również uszkodzeń w budynkach (tab.1).

Tabela 1. Zestawienie danych dla stopnia 0 według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej do 500 m

Table 1. Summary of parameters for 0 degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance up to 500 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odle. epicen., R_e , m	Stopień skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Trzebcz	2006.02.26	5,60E+06	488	I	0	brak
Trzebcz	2007.06.09	7,60E+06	386	I	0	brak
Guzice	2010.05.29	7,60E+06	385	I	0	brak
Guzice	2010.10.07	4,30E+06	461	0	0	brak
Guzice	2010.10.22	1,50E+06	448	0	0	brak
Guzice	2010.11.18	1,20E+06	380	0	0	brak

b) $R_e \in (500, 1000)$

W przedziale od 500 m do 1000 m zgromadzono informacje z 19 przeglądów budynków wykonanych po wstrząsach sejsmicznych, z czego 2 pochodzą od zjawiska o energii rzędu E7 J, a pozostałe po wstrząsach o energii E6 J. Zgodnie z górnictwem skalą GSI- 2004/11-V drgania charakteryzowały się zerowym stopniem intensywności, natomiast według skali GSI-2004/11-A – 7 zjawiskom przypisano I stopień intensywności. Po przeprowadzonych przeglądach nie stwierdzono żadnych uszkodzeń (tab.2.b).

c) $R_e \in (1000, 2000)$

W tym zbiorze danych zebrano 14 rejestracji drgań, z czego 5 pochodziło od wstrząsów o energii E6 J, 8 od wstrząsów E7 J oraz 1 od wstrząsu E8 J. W tym przedziale odległości epicentralnej zarówno według prędkości, jak i przyspieszenia drgania zakwalifikowano do 0 stopnia intensywności drgań zgodnie ze skalą GSI-2004/11 (tab.3.1.c).

Tabela 2. Zestawienie danych dla stopnia 0 według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej od 500 do 1000 m

Table 2. Summary of parameters for 0 degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance between 500 and 1000 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odległość epicen., Re, m	Stopień skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Biedrzychowa	2006.02.04	2,10E+07	977	0	0	brak
Guzice	2007.07.20	6,70E+06	635	I	0	brak
Trzebcz	2007.08.19	1,60E+06	756	I	0	brak
Guzice	2008.08.13	3,40E+06	612	0	0	brak
Biedrzychowa	2008.09.25	8,00E+06	650	I	0	brak
Biedrzychowa	2008.12.04	1,10E+06	705	0	0	brak
Biedrzychowa	2008.12.06	4,90E+06	699	I	0	brak
Trzebcz	2008.12.19	1,10E+06	533	0	0	brak
Guzice	2008.12.27	2,00E+06	579	0	0	brak
Guzice	2009.05.26	5,60E+06	730	0	0	brak
Trzebcz	2009.06.18	6,50E+06	519	I	0	brak
Guzice	2009.07.04	4,40E+06	623	I	0	brak
Guzice	2009.09.05	8,20E+06	590	I	0	brak
Żuków	2009.09.24	5,30E+06	961	0	0	brak
Komorniki	2009.12.18	1,10E+06	735	0	0	brak
Biedrzychowa	2010.05.28	1,20E+07	539	0	0	brak
Moskorzyn	2010.06.05	3,40E+06	973	0	0	brak
Biedrzychowa	2010.11.26	1,90E+06	591	0	0	brak
Moskorzyn	2010.12.11	2,90E+06	906	0	0	brak

Tabela 3. Zestawienie danych dla stopnia 0 według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej od 1000 do 2000 m

Table 3. Summary of parameters for 0 degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance between 1000 and 2000 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odległość epicen., Re, m	Stopień skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Guzice	2007.03.15	1,00E+08	1797	0	0	brak
Biedrzychowa	2007.06.22	2,00E+07	1200	0	0	brak
Moskorzyn	2007.11.17	4,60E+06	1517	0	0	brak
Biedrzychowa	2008.01.19	6,20E+06	1100	0	0	brak
Trzebcz	2008.02.29	7,10E+06	1007	0	0	brak
Polk. ul.Akacyjowa	2008.04.19	1,20E+07	1106	0	0	brak
Biedrzychowa	2008.11.15	1,60E+07	1350	0	0	brak
Trzebcz	2009.03.13	4,60E+06	1007	0	0	brak
Biedrzychowa	2009.05.16	1,20E+07	1500	0	0	brak
Guzice	2009.07.31	4,60E+06	1152	0	0	brak
Moskorzyn	2009.08.23	1,00E+07	1280	0	0	brak
Guzice	2010.02.09	4,10E+07	1636	0	0	brak
Moskorzyn	2010.10.31	1,00E+07	1724	0	0	brak
Pieszkowice	2010.12.05	1,60E+07	1792	0	0	brak

d) $R_e > 2000$

W tej odległości epicentralnej zebrano informację z 2 przeglądów po wstrząsach górniczych o energii rzędu $E7$ i $E8$ J (tab.4.d).

Podsumowanie uzyskanych wyników dla 0 stopnia intensywności

Stopień 0 w uszkodzeniach budowlanych charakteryzuje się tym, że wstrząsy górnicze nie powodowały uszkodzeń w budynkach, a uciążliwość ich generalnie była nieodczuwalna. Niezależnie od energii sejsmicznej, jaka była emitowana przez górotwór, czy też od odległości epicentralnej, prawie we wszystkich przypadkach nie odnotowano uszkodzeń po wstrząsach górniczych, mimo że 27 % rejestracji drgań gruntu z poszczególnych stanowisk wykazało I stopień według skali GSI-2004/11-A. W analizowanym zbiorze rejestracji drgań w jednym przypadku stwierdzono uszkodzenia nieadekwatne dla stopnia 0.

3.2.2. Klasyfikacja wpływu drgań dla I stopnia intensywności

a) $R_e < 500$

W odległości epicentralnej do 500 m zebrano dane z 13 przeglądów, z czego 2 wykonano po zaistnieniu wstrząsów górniczych o energii rzędu $E6$ J, 9 – po wstrząsach $E7$ J i 1 – po wstrząsie $E8$ J. Stopień I intensywności pokrywał się ze stopniem I wyznaczonym w oparciu o skale GSI-2004/11-A. Zarejestrowane drgania zarówno według skali GSI-2004/11-V, jak i według skali GSI-2004/11-A wykazały I stopień intensywności (tab.5).

W 9 przypadkach nie stwierdzono uszkodzeń; w 4 przypadkach powstałe uszkodzenia charakteryzują się intensyfikacją szkód, co jest charakterystyczne dla stopnia I.

b) $R_e \in (500, 1000)$

W przedziale epicentralnym od 500 do 1000 m zgromadzono informację z 36 przeglądów stanu zabudowy wykonanych po zaistnieniu wstrząsów górniczych o energiach sejsmicznych: $E6$ J (10 przeglądów), $E7$ J (25 przeglądów) i $E8$ J (1 przegląd). Wartości zarejestrowanych drgań w tym zbiorze odpowiadały I stopniowi intensywności według skali GSI-2004/11-V. Natomiast według skali GSI-2004/11-A w 3 przypadkach drgania zaliczono do II stopnia intensywności (tab. 6.).

Tabela 4. Zestawienie danych dla stopnia 0 według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej od 1000 do 2000 m

Table 4. Summary of parameters for 0 degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance of over 2000 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odległość epicen., Re, m	Stopień skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Polk. ul. Sosnowa	2008.06.13	1,10E+08	2159	0	0	brak
Polk. ul. 3-go Maja	2010.02.09	4,10E+07	2862	I	I	Odspojenie i wybrzuszenie fragmentu płytek ceramicznych

Tabela 5. Zestawienie danych dla stopnia I według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej do 500 m

Table 5. Summary of parameters for I degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance up to 500 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odległość epicen., Re, m	Stopień skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Trzebcz	2006.04.08	7,60E+06	481	I	0	brak
Biedrzychowa	2006.05.13	1,90E+07	475	I	0	brak
Biedrzychowa	2006.07.29	2,30E+08	371	I	I	Intensyfikacja uszkodzeń; spadek telewizor; odpadnięcie fragmentu zaprawy przy kominie
Trzebcz	2007.03.15	1,00E+08	596	I	I	Intensyfikacja uszkodzeń
Trzebcz	2007.03.16	1,00E+07	238	I	0	brak
Polk. ul. Sosnowa	2007.08.26	1,50E+07	217	I	0	brak
Polk. ul. Sosnowa	2008.04.19	1,20E+07	270	I	0	brak
Komorniki	2009.05.28	6,80E+07	320	I	0	brak
Biedrzychowa	2010.01.10	3,80E+06	430	I	0	brak
Guzice	2010.02.22	1,90E+07	489	I	I	Intensyfikacja uszkodzeń – poziomych zarysowań
Guzice	2010.05.29	1,60E+07	425	I	0	brak
Guzice	2010.09.20	2,20E+07	449	I	I	Intensyfikacja uszkodzeń; zarysowania wypraw malarskich i tynkowych; drobne rysy przy otworach drzwiowych
Guzice	2010.12.02	1,80E+07	453	I	0	brak

Tabela 6. Zestawienie danych dla stopnia I według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej od 500 do 1000 m
 Table 6. Summary of parameters for I degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance between 500 and 1000 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odle. epicen., Re, m	Stopień wg skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Trzebcz	2006.03.01	1,60E+07	513	I	0	brak
Biedrzychowa	2006.05.11	6,00E+07	800	I	0	brak
Polkowice miasto 40 adresów	2006.08.26	8,10E+07	764	I	I/II	Intensyfikacja uszkodzeń; liczne zarysowania na tynkach na styku prefabrykatów ściennych; odspojenie płytek glazurowanych od podłoża; zarysowania pionowe i poziome; spadnięcie płytki ze ścian; wypadnięcie szyby z segmentu meblowego; spadnięcie perfum; naczyń szklanych; spadnięcie z półek sklepowych artykułów spożywczych; pęknięcie szyby w drzwiach wewnętrznych; rysy na stropie; opadnięcie tynku; odpadnięcie ze stropów wypraw tynkarskich; zarysowania na suficie
Trzebcz	2007.01.05	1,80E+07	527	I	0	brak
Biedrzychowa	2007.01.17	1,30E+07	500	I	0	brak
Trzebcz	2007.03.15	1,00E+08	594	I	I	Intensyfikacja uszkodzeń: okrojenie fasety; zarysowania ściany szczytowej
Biedrzychowa	2007.05.26	3,00E+07	792	I	0	brak
Trzebcz	2007.06.07	2,10E+07	584	II	I/II	Odspojenie fragmentu i wybrzuszenie płytek glazurowanych; intensyfikacja uszkodzeń
Trzebcz	2007.06.07	4,90E+06	731	I	0	brak
Trzebcz	2007.08.08	3,60E+07	600	I	II	Odpadnięcie płyt tynku; zarysowania i pęknięcia tynków
Biedrzychowa	2007.09.15	1,10E+07	950	I	0	brak
Trzebcz	2007.12.14	1,20E+07	756	II	II	Widoczne liczne zarysowania; intensyfikacja zarysowań na kominie; odpadnięcie gipsowej wyprawy
Trzebcz	2008.04.27	5,20E+06	772	I	0	brak
Trzebcz	2008.08.09	1,60E+06	843	I	0	brak
Trzebcz	2008.10.03	6,50E+06	791	I	0	brak
Trzebcz	2008.10.14	1,50E+07	813	II	I	Intensyfikacja zarysowań i pęknięcia na ścianach
Biedrzychowa	2008.11.14	7,90E+06	941	I	0	brak
Guzice	2009.01.10	3,30E+07	962	I	0	brak
Guzice	2009.01.11	5,20E+06	661	I	0	brak
Trzebcz	2009.01.14	1,30E+07	615	I	0	brak
Trzebcz	2009.01.15	1,70E+07	705	I	0	brak
Guzice	2009.02.28	1,00E+07	587	I	0	brak
Guzice	2009.04.10	9,30E+06	871	I	I	Intensyfikacja uszkodzeń; rozluźnienie kamieni w dolnej części budynku i powysuwane dachówki
Guzice	2009.04.26	1,70E+07	592	I	0	brak
Guzice	2009.05.27	2,30E+07	619	I	0	brak
Trzebcz	2009.05.28	3,50E+06	738	I	0	brak
Guzice	2009.08.14	9,40E+06	609	I	0	brak
Guzice	2009.09.14	1,30E+07	964	I	0	brak
Guzice	2009.09.24	1,30E+07	543	I	0	brak
Guzice	2009.11.10	1,40E+07	519	I	I	Wypadnięcie pojedynczej cegły i uszkodzenie samochodu
Komorniki	2009.11.11	1,30E+07	818	I	0	brak
Trzebcz	2010.01.20	1,30E+07	553	I	0	brak
Trzebcz	2010.01.29	4,10E+06	869	I	0	brak
Trzebcz	2010.03.18	1,60E+07	881	I	II	Odpadnięcia i rozluźnienie dachówek
Guzice	2010.08.03	1,60E+07	506	I	0	brak
Komorniki	2010.12.18	1,30E+07	795	I	0	brak

Uszkodzenia występowały w 25% przypadkach. W większości była to intensyfikacja uszkodzeń, charakterystyczna dla I stopnia intensywności drgań, a także: wypadnięcia cegieł, dachówek, odpadnięcie płyt tynku, zarysowania oraz rozluźnienie komin.

c) $R \in (1000, 2000)$

W tym zbiorze zebrano 7 przeglądów po wstrząsach górniczych, a wśród nich 6 pochodzi od zjawiska E7 J, a 1 – E8 J. Trzy rejestracje uzyskały 0 stopień klasyfikacji według skali GSI-2004/11-A. W zbiorze tym zebrano dane z 7 przeglądów

przeprowadzonych po wstrząsach górniczych, z których 6 wykonano po wystąpieniu zjawisk o energii rzędu $E7$ J, a 1 po wstrząsie o energii $E8$ J. Wartości zarejestrowanych drgań odpowiadały I stopniowi intensywności według skali GSI-2004/11-V, natomiast według skali GSI-2004/11-A w 3 przypadkach drgania zaliczono do 0 stopnia intensywności (tab.7).

d) $R_e > 2000$

W odległości większej niż 2000 m zebrano dane z 5 przeglądów przeprowadzonych po wstrząsach górniczych o energiach: $E7$ J (1 zjawisko), $E8$ J (3 zjawiska) i $E9$ J (1 zjawisko). Zarejestrowane drgania według skali GSI-2004/11-V odpowiadały dla wszystkich przypadków I stopniowi intensywności, a według skali GSI-2004/11-A w jednym przypadku drgania wykazały II stopień intensywności (tab.8).

Poza intensyfikacją wcześniej zaistniałych uszkodzeń stwierdzono uszkodzenia tj.: pęknięta szyba, pęknięcie nadproża, odspojenie fragmentu muru. Stopień intensywności według skutków określono dla 4 przypadków jako I, a dla jednego jako II.

Podsumowanie uzyskanych wyników I stopnia intensywności

Zarejestrowane drgania według skali GSI-2004/11-V odpowiadające I stopniowi, w odniesieniu do stwierdzonych

uszkodzeń pokrywały się w większości obserwacji (88%) z I stopniem wyznaczonym według skali GSI-2004/11-A. W 72% przypadków obserwacje charakteryzowały się brakiem uszkodzeń. W 15% uszkodzenia uległy intensyfikacji. Rozpatrywane wstrząsy górnicze wywołały uszkodzenia, tj.: odspojenie tynków, pęknięcia nadproży, wypadnięcie pojedynczych cegieł. Na podstawie analizowanego zbioru danych stwierdzono, że w 6 przypadkach miały miejsce uszkodzenia właściwe dla stopnia II, natomiast w bliskich odległościach epicentralnych intensyfikacja uszkodzeń pojawiła się przy wstrząsach o energiach 1,0 $E8$ J, 2,3 $E8$ J, 2,2 $E7$ J i 1,9 $E7$ J. W dalszych odległościach, szczególnie dla ognisk wstrząsów znajdujących się w odległości epicentralnej większej niż 1000 m, decydujące znaczenie miały wstrząsy o najwyższych energiach sejsmicznych.

3.2.3. Klasyfikacja wpływu drgań dla II stopnia intensywności

a) $R_e < 500$

W bardzo bliskiej odległości od epicentrum zarejestrowano 3 wstrząsy górnicze, których parametry drgań zostały zakwalifikowane do II stopnia intensywności według skali GSI-2004/11-V. Jedna rejestracja drgań pochodzi od zjawiska o energii $E8$ J, a dwie od zjawiska o energii $E7$. Drgania pochodzące od wstrząsów o energii $E7$ wykazały I stopień intensywności według skali GSI-2004/11-A (tab.9).

Tabela 7. Zestawienie danych dla stopnia I według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej od 1000 do 2000 m

Table 7. Summary of parameters for I degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance between 1000 and 2000 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odle. epicen., Re, m	Stopień skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Polkowice miasto	2007.08.26	1,50E+07	1437	0	0	brak
Polkowice miasto	2008.04.19	1,20E+07	1545	0	0	brak
Moskorzyn	2009.01.10	3,30E+07	1639	0	0	brak
Moskorzyn	2009.01.11	2,40E+08	1481	I	0	brak
Guzice	2009.12.16	6,00E+07	1696	I	0	brak
Trzebech	2009.12.27	1,60E+07	1027	I	0	brak
Trzebech	2010.02.25	2,60E+07	1097	I	0	brak

Tabela 8. Zestawienie danych dla stopnia I według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej od 1000 do 2000 m

Table 8. Summary of parameters for I degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance of over 2000 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odle. epicen., Re, m	Stopień skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Trzebech	2006.05.21	1,90E+09	2440	I	0/I	Intensyfikacja licznych zarysowań
Trzebech	2009.05.28	6,80E+07	2685	I	0	brak
Polkowice ul. Sosnowa	2010.02.20	1,20E+08	2675	I	I	Intensyfikacja uszkodzeń
Polkowice ul. Sosnowa	2010.12.30	1,50E+08	2454	I	I	Pęknięta szyba w oknie
Komorniki	2010.12.30	1,50E+08	2491	II	II	Pęknięcie nadproża ceglanego wraz z odspojeniem fragmentu muru; uszkodzenia w postaci wyruszeń tynków; szpachli gipsowych; okrojania fasety

Tabela 9. Zestawienie danych dla stopnia II według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej do 500 m

Table 9. Summary of parameters for II degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance up to 500 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odległość epicen., R_e, m	Stopień skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Biedrzychowa	2008.06.29	2,60E+07	307	I	0	brak
Biedrzychowa	2009.07.21	9,30E+07	330	I	0	brak
Biedrzychowa	2010.02.20	1,20E+08	236	II	I/II	Intensyfikacja uszkodzeń; liczne zarysowania ukośne i pionowe; odpryski szpachli i farby; spadnięcie przedmiotów na podłogę; spadnięcie pojedynczych dachówek

Tylko w jednym przypadku uszkodzenie zakwalifikowane zostało do II stopnia intensywności drgań.

odpowiadały I stopniowi intensywności, a w trzech przypadkach drgania zakwalifikowano do II stopnia (tab. 10).

b) $R_e \in (500, 1000)$

W przedziale od 500 do 1000 m uzyskano dane z 5 przeglądów wykonanych po wystąpieniu wstrząsów górniczych. Wszystkie zarejestrowane drgania według skali GSI-2004/11-V zakwalifikowano do I stopnia, natomiast według skali GSI-2004/11-A w dwóch przypadkach drgania

c) $R_e \in (1000, 2000)$

W tym przedziale znalazły się dane z 5 przeglądów budynków przeprowadzonych po wstrząsach, z czego 3 po wstrząsach o energii rzędu E7 J, a 2 po wstrząsach o energii rzędu E8 J. W dwóch przypadkach parametry drgań według skali GSI-2004/11-A uzyskały I stopień intensywności (tab. 11).

Tabela 10. Zestawienie danych dla stopnia II według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej od 500 do 1000 m

Table 10. Summary of parameters for II degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance between 500 and 1000 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odległość epicen., R_e, m	Stopień skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Biedrzychowa	2007.08.15	1,10E+08	650	II	II	Poluzowanie i spadnięcie pojedynczych dachówek; spadnięcie płyt tynku z komina; nowe zarysowania
Trzebcz	2008.06.13	1,10E+08	633	II	0	brak
Trzebcz	2008.06.17	2,60E+07	707	II	I/II	Ubytek wyprawy malarskiej; zarysowania tynków na ścianach i na suficie; spadnięcie pojedynczych dachówek; intensyfikacja zarysowań
Guzice	2008.08.15	2,50E+07	632	I	0	brak
Biedrzychowa	2010.02.06	4,80E+08	750	I	I	Minimalne mikrorysy

Tabela 11. Zestawienie danych dla stopnia II według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej od 1000 do 2000 m

Table 11. Summary of parameters for II degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance between 1000 and 2000 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odległość epicen., R_e, m	Stopień skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Guzice	2007.08.24	5,40E+07	1200	I	0	brak
Moskorzyn	2008.07.23	6,70E+07	1400	II	0	brak
Trzebcz	2008.08.06	4,30E+07	1340	II	II	Spadek pojedynczych dachówek; odpadnięcie wyprawy malarskiej
Guzice	2009.01.11	2,40E+08	1021	I	0	brak
Polkowice miasto	2009.01.11	2,40E+08	2801	II	I	Spadnięcie kilkunastu półek sklepowych z towarem

Podsumowanie uzyskanych wyników II stopnia intensywności

Zarejestrowane drgania odpowiadające II stopniowi według skali GSI-2004/11-V zostały zakwalifikowane według skali GSI-2004/11-A do stopnia I i II, a określone uszkodzenia w budynkach według skutków zakwalifikowano do 0, I i II stopnia.

3.2.4. Klasyfikacja wpływu drgań dla III stopnia intensywności

a) $R_e \in (500, 1000)$

W odległości epicentralnej od 500 do 1000 m rejestrowane parametry drgań odpowiadały III stopniowi intensywności według skali GSI-2004/11-V. Drgania te według skali GSI-2004/11-A zakwalifikowano w dwóch przypadkach do II stopnia oraz w jednym przypadku do III stopnia intensywności. Natomiast według skutków szkody zakwalifikowano do stopnia I, II i III (tab. 12).

b) $R_e \in (1000, 2000)$

W tej grupie znalazły się dane o uszkodzeniach z 2 przeglądów, które miały miejsce po wstrząsach górniczych o energii rzędu $E7 J$. Zarejestrowane parametry drgań zarówno dla skali GSI-2004/11-V, jak i dla skali GSI-2004/11-A odpowiadały III stopniowi intensywności (tab. 13).

Podsumowanie uzyskanych wyników III stopnia intensywności

Na podstawie analiz uszkodzeń budowlanych określonych dla 5 rejestracji drgań gruntu od zaistniałych wstrząsów zostały wyszczególnione uszkodzenia tzw. szkody górnicze, tj. zarysowania, odpadnięcie tynków, zaprawy malarskiej, pęknięcie ścian szczytowych. W jednym przypadku stwierdzono uszkodzenie polegające na rozwarstwieniu muru, które zakwalifikowano jako uszkodzenie typu konstrukcyjnego. Uszkodzenie to powstało w wyniku wstrząsu o energii sejsmicznej $9,3 E7 J$, który wystąpił w odległości epicentralnej od budynku 891 m.

3.3. Porównanie skal GSI-2004/11-V i GSI-2004/11-A

Po przeprowadzonych analizach obserwacji uszkodzeń w budynkach oraz kwalifikacji stopnia uszkodzeń w oparciu o skalę intensywności sejsmicznej dla poszczególnych rejestracji, przedstawiono histogram oceny wpływu drgań według skali GSI-2004/11-V i GSI-2004/11-A (rys. 1). Na osi x-owej odłożony został stopień intensywności drgań, natomiast na osi y-owej liczba zakwalifikowanych obserwacji szkód górniczych po przeprowadzonych przeglądach. Na podstawie uzyskanych danych stwierdza się, że przy ocenie szkodliwości drgań na podstawie parametru prędkości bądź przyspieszenia drgań, uzyskuje się zbliżoną ocenę wpływu intensywności drgań na zabudowę terenu.

Tabela 12. Zestawienie danych dla stopnia III według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej od 500 do 1000 m

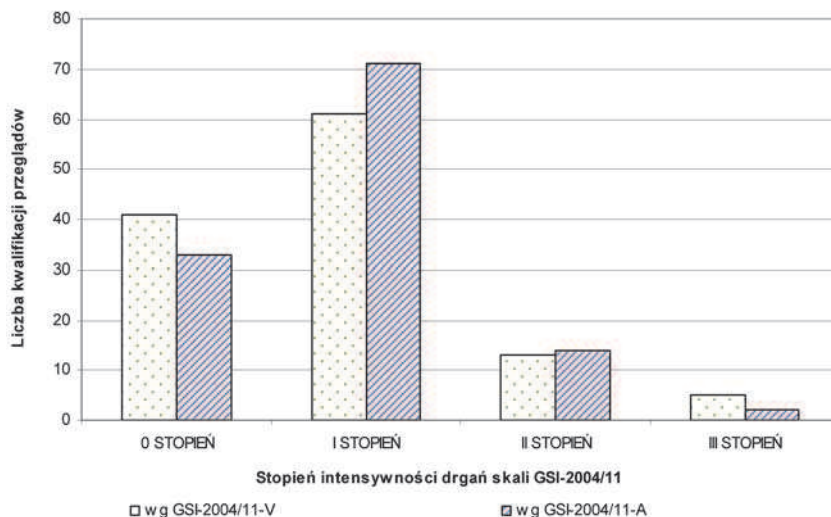
Table 12. Summary of parameters for III degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance between 500 and 1000 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odle. epicen., R_e, m	Stopień skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Trzebeż	2009.02.28	3,80E+07	930	II	II	Pęknięcia; zarysowania i odpadnięcia lokalnych kawałków tynku oraz powłoki malarskiej i płytów szpachli
Guzice	2010.04.03	9,30E+07	891	III	II/III	Wyruszenie się zaprawy uszczelniającej dachówki; odpadnięcie dachówek; powstało rozwarstwienie muru w ścianie szczytowej (uznano za uszkodzenie konstrukcyjne)
Komorniki	2010.06.26	3,10E+07	595	II	II	Na strychu wykruszyła się zaprawa wapienna; spadły pojedyncze dachówki; poluzowały się gąsiorzy w kaletnicy

Tabela 13. Zestawienie danych dla stopnia III według skali GSI-2004/11-V w odległości epicentralnej od 1000 do 2000 m

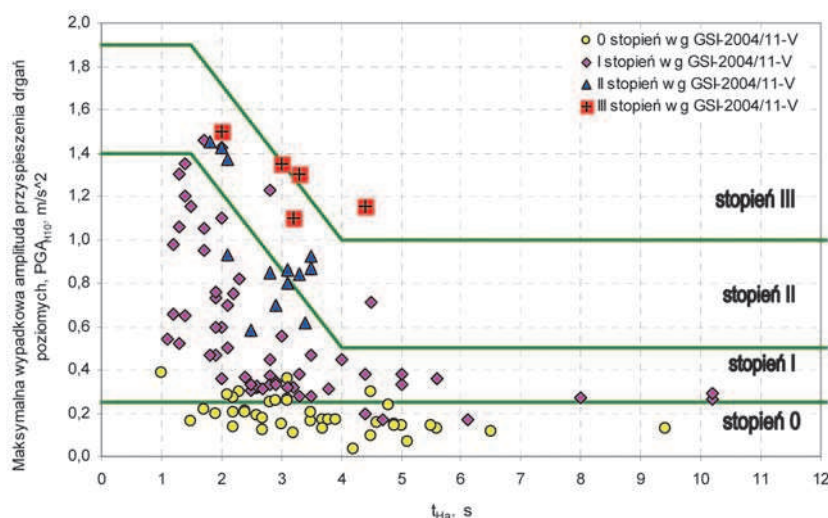
Table 13. Summary of parameters for III degree of GSI-2004/11-V scale in epicenter distance between 1000 and 2000 m

Stanowisko	Data	Energia sejsmiczna, E, J	Odle. epicen., R_e, m	Stopień wg skali GSI-2004/11-A	Stopień skali GSI wg skutków	Uszkodzenia
Trzebeż	2007.12.13	5,10E+07	1333	III	II	Zarysowania tynków na suficie; zarysowania i pęknięcia ściany szczytowej w górnej części
Trzebeż	2009.10.15	4,20E+07	1029	III	I	Odpadnięcia warstwy wyprawy malarskiej



Rys. 1. Kwalifikacja szkód według skali GSI-2004/11-V i GSI-2004/11-A

Fig. 1. Classification of mining damages according to the GSI-2004/11-V scale and the GSI-2004/11-A scale



Rys. 2. Porównanie skali GSI-2004/11-V ze skalą pomocniczą GSI-2004/11-A

Fig. 2. Comparison of the GSI-2004/11-V scale with the GSI-2004/11-A support scale

Na wykresie (rys. 2) przedstawiono porównanie wskazań skal intensywności drgań GSI-2004/11-A i GSI-2004/11-V według stwierdzonych uszkodzeń przypisanych poszczególnym stopniom intensywności drgań w zabudowie.

Na rysunku 3.2. przedstawiono wyniki przeprowadzonej analizy drgań według skali GSI-2004/11-A. Natomiast odpowiedni kolor punktów przedstawia wynik obliczeń drgań według skali GSI-2004/11-V – kolejne stopnie intensywności. Na granicach poszczególnych stopni intensywności widoczne jest, że stopnie intensywności wyznaczone na podstawie parametru prędkości drgań wykazują pewne rozbieżności względem stopni intensywności wyznaczonych na podstawie parametru przyspieszenia drgań. Można zaobserwować największe „odstępstwa” w stopniu II i III.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki oceny wpływu drgań gruntu pochodzących od wstrząsów górniczych występu-

jących w latach 2006-2010 na terenie ZG Rudna. Oceny wykonano według stopni intensywności określonych zgodnie ze wskazaniami skali GSI-2004/11.

Rejestracje drgań gruntu od wstrząsów sejsmicznych wraz z przypisanymi im uszkodzeniami określonymi w czasie przeglądów technicznych budynków podzielono na przedziały w zależności od odległości epicentralnej. W promieniu do 1000 m od epicentrum zjawisk sejsmicznych drgania wykazywały stopień 0, I, II i III. W przedziale odległości epicentralnej od 1000 do 2000 m drgania również zakwalifikowane były do stopnia 0, I, II i III. Natomiast rejestracje drgań powyżej 2000 m kwalifikowano do 0, I i II stopnia.

W kilku przypadkach stwierdzono, że uszkodzenia w budynkach powstały od wstrząsów o energii sejsmicznej większej od $1,0 E6 J$. Jednak zdecydowanie większy udział w powstawaniu uszkodzeń miały wstrząsy sejsmiczne o energiach od $1,0 E7 J$.

Występowały również przypadki, że drgania gruntu według wskazań skali GSI2004/11 wykazywały stopień II a po przeprowadzonych przeglądach budynków nie stwierdzono żadnych uszkodzeń.

Generalnie, stopnie intensywności wyznaczone na podstawie charakteru stwierdzonych uszkodzeń odpowiadały stopniom intensywności wyznaczonym według skali GSI 2004/11. Zdarzały się jednak pojedyncze przypadki, kiedy uszkodzenia dla tego samego parametru drgań były charakterystyczne zarówno dla stopnia I i II, jak i dla stopnia II i III. Niewątpliwym wpływem na stwierdzane uszkodzenia ma wiek oraz stan techniczny budynku.

Reasumując, wyniki analizy wykazały, że występuje dobra korelacja oceny drgań gruntu według stopni intensywności dla skali GSI-2004/11 z intensywnością uszkodzeń w budynkach położonych w obszarze górniczym ZG Rudna. Określone stopnie intensywności drgań generalnie odpowiadają rzeczywistym uszkodzeniom budynków.

Literatura

1. *Arias A.*: A measure of earthquake intensity, Seismic Design of Nuclear Power Plants (ED. R.I. Hansen). MIT Press, Cambridge, 1970.
2. *Dubiński J., Jaśkiewicz K., Lurka A., Mutke G.*: Górnicza skala intensywności sejsmicznej GSI-2004/11 dla wstrząsów górniczych, KGHM Polska Miedź S.A., Lubin 2012.
3. *Dubiński J. i inni*: Weryfikacja skal GSI-2004, KGHM Cuprum, Wrocław 2011.
4. *Dubiński J., Jaśkiewicz K., Lurka A., Mutke G.*: Górnicza Skala Intensywności GSI-2004 do oceny skutków drgań wywołanych wstrząsami górniczymi w obszarze LGOM – geneza, skala, weryfikacja, „Prace Naukowe GIG Górnictwo i środowisko”, 2009, nr 2/2.
5. *Zębaty Z.*: Rola prędkości w ocenie intensywności wstrząsów górniczych. Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko, 2010, nr 4/4.

Przypominamy!

Na łamach Przeglądu Górniczego trwa **KONKURS O NAGRODĘ IMIENIA PROFESORA BOLESŁAWA KRUPIŃSKIEGO**

na

*najlepszy artykuł upowszechniający doświadczenia kopalń
podziemnych w zakresie działań skutkujących poprawą
bezpieczeństwa górniczego i ekonomicznej efektywności
eksploatacji złóż.*

Doświadczenia, które gromadzą się w kopalniach są istotnym źródłem wiedzy i postępu. Dzielimy się swymi doświadczeniami!

