

Filip PACHLA*
Politechnika Krakowska

OCENA SZKODLIWOŚCI WYBRANYCH WSTRZĄSÓW Z OBSZARU LGOM PRZEZ GÓRNICZE SKALE INTENSYWNOŚCI GSI-2004

Streszczenie. W pracy przedstawiono charakterystykę reprezentatywnych wstrząsów z obszaru Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM). Analiza ww. zjawisk objęła charakterystykę prędkościową, przyspieszeniową oraz częstotliwościową (z wykorzystaniem spektrum odpowiedzi) drgań powierzchniowych. Omówiono proponowane przez Górnicze Skale Intensywności GSI-2004 kryteria i sposoby oceny wpływu drgań sejsmicznych wywołanych wstrząsami na powierzchniowe obiekty budowlane. Dokonano oceny szkodliwości wybranych wstrząsów na podstawie GSI-2004, podano wnioski i uwagi.

ESTIMATION OF HARMFULNESS OF CHOSEN ROCKBURSTS FROM LGOM AREA BY MEANS OF MINING INTENSITY SCALES GSI-2004

Summary. The paper presents characteristics of representative mining rockbursts from LGOM area. Analysis includes characteristics of velocity, acceleration as well as frequency (by means of response spectra) of surface mining related vibrations. The criteria proposed in GSI-2004 scales and ways of estimation of seismic vibrations influence on surface structures have been discussed. Estimation of harmfulness of representative surface vibrations has been performed using GSI-2004 scales. Conclusions and remarks have been included.

1. Wprowadzenie

Eksploatacji rud miedzi w zagłębiu LGOM (Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym) towarzyszy od kilku dziesięcioleci sejsmiczność powodująca powstawianie drgań na powierzchni. Z jednej strony drgania te są z różną intensywnością odczuwane przez mieszkańców, stanowiąc dla nich w niektórych sytuacjach istotną uciążliwość, z drugiej strony są przyczyną wzbudzenia sił bezwładności, szczególnie poziomych, które musi przejąć układ nośny konstrukcji.

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Tadeusz Tatar, prof. Politechniki Krakowskiej.

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 ocenić spodziewane skutki działania drgań mechanicznych z użyciem skal dynamicznych. Pierwsze skale wpływów drgań na budynki powstały w związku z oceną skutków działań sejsmicznych [1], nie mogą być one generalnie przydatne w ocenie skutków wpływów dynamicznych innych niż trzęsienia ziemi. W ostatnich latach coraz częściej mieszkańcy dochodzili swoich praw przed sądami powszechnymi w sprawach uznania uszkodzeń, jakie występują w ich obiektach budowlanych w związku ze szkodami spowodowanymi działalnością górnictwa, a w szczególności wstrząsami pochodzenia górniczego. Przy braku jednoznacznych podstaw prawnych (brak normy lub zasad (skali) oceny) występowały trudności w rozstrzygnięciu tego typu spraw. Z tego względu opracowanie empirycznej górniczej skali oceny oddziaływania wstrząsów górnicznych na powierzchnię, w tym na budynki, stało się elementem koniecznym zarówno dla opinii publicznej, jak i dla samego górnictwa. Z tych względów, z inspiracji zarówno Wyższego Urzędu Górniczego, jak i kierownictwa KGHM „Polska Miedź” SA oraz potrzeb zgłaszanych przez mieszkańców terenów poddanych dynamicznym wpływom eksploatacji górnictwa, w Głównym Instytucie Górnictwa podjęto pracę naukowo-badawczą, której finalnym celem było opracowanie Górniczych Skal Intensywności (GSI-2004) [2].

2. Charakterystyka wybranych wstrząsów z obszaru LGOM

2.1. Podstawowe dane i zależności

Do scharakteryzowania przebiegów drgań powierzchniowych stosuje się wiele parametrów [3], spośród których wymienić można: maksymalne wartości składowych przyspieszeń drgań (składowe poziome x – $(PGA_{x_{max}})$ i y – $(PGA_{y_{max}})$ oraz składowa pionowa z – $(PGA_{z_{max}})$); maksymalną wartość przyspieszenia drgań poziomych $(PGA_{H_{max}})$; czas trwania intensywnej fazy składowej poziomej przyspieszeń drgań t_{H_a} , wyznaczany ze znormalizowanego wykresu intensywności Arias’a; maksymalne przyspieszenie składowych poziomych drgań (PGA_{10x}) , (PGA_{10y}) , wyznaczone w paśmie częstotliwości do 10 Hz; maksymalne przyspieszenie drgań poziomych, wyznaczone w paśmie częstotliwości do 10 Hz (PGA_{10H}) , maksymalną prędkość drgań poziomych $(PGV_{H_{max}})$.

2.2. Charakterystyka drgań powierzchniowych

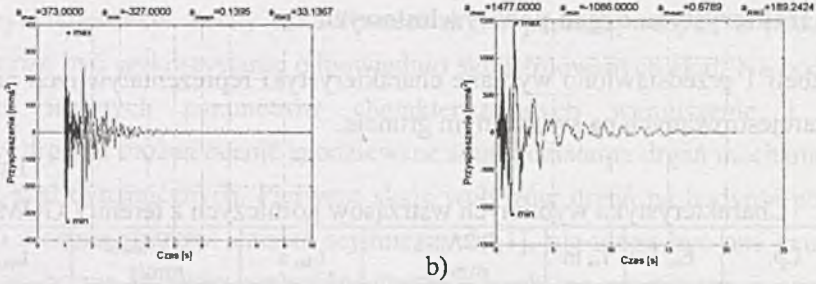
W tabeli 1 przedstawiono wybrane charakterystyki reprezentatywnych przebiegów drgań zarejestrowanych na swobodnym gruncie.

Tabela 1

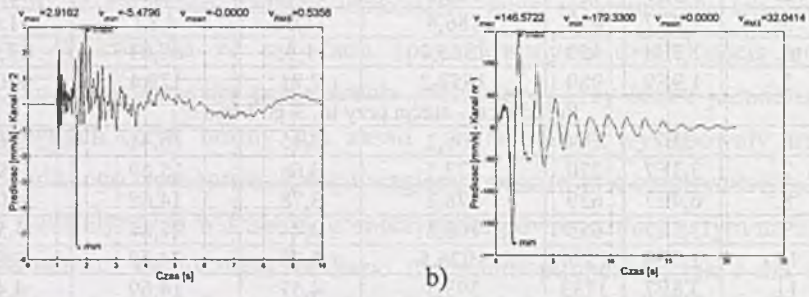
Charakterystyka wybranych wstrząsów górniczych z terenu LGOM

Lp.	E_n, J	r_e, m	$PGA_{10H}, mm/s^2$	t_{11a}, s	$PGV_{11max}, mm/s$	t_{11v}, s
Polkowice – stacja przy ul. Akacjowej						
1.	4,3E6	548	185,5	8,08	5,85	11,36
2.	3,9E7	499	566,8	10,43	16,43	15,62
3.	1,2E7	470	186,8	11,08	4,82	11,67
4.	1,7E8	450	1356,4	11,05	60,63	13,92
5.	1,9E9	980	1552,2	7,71	179,4	8,02
Polkowice – stacja przy ul. 3-go Maja						
6.	2E7	2346	408,2	3,45	16,41	3,66
7.	3,3E7	270	337,1	3,66	15,69	3,90
8.	6,4E7	629	378,2	3,78	14,68	4,06
9.	3,5E7	655	762,2	3,44	21,87	3,55
10.	1,5E9	1174	1026,5	5,70	74,79	5,82
11.	3,8E7	1733	393,5	4,51	14,69	4,46
12.	1,7E8	912	598,3	11,50	36,42	12,89
Polkowice – stacja przy ul. Miedzianej						
13.	4,3E7	903	422	3,23	17,96	3,39
14.	6,4E7	472	668,8	3,15	19,66	3,36
15.	1,7E8	963	545	4,11	29,29	4,26
15.	1,3E8	650	350,9	3,06	13,71	1,01
17.	1,1E7	537	499,4	2,86	16,61	2,94
18.	5,4E8	676	643,6	2,09	26,9	2,30
19.	8,4E8	923	502,3	10,79	25,64	11,31
20.	1,2E8	1020	629,3	7,16	27,65	8,94

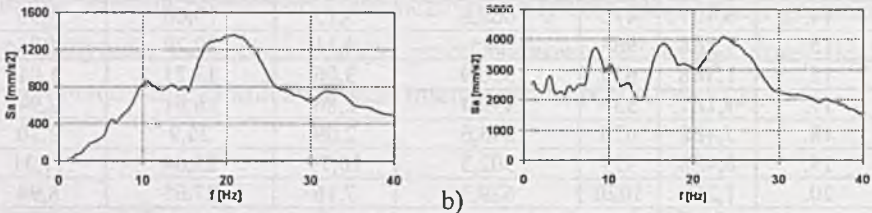
Rysunek 1 przedstawia przykładowe przebiegi składowych poziomych odpowiednio (y) i (x) przyspieszeń drgań wymienionych w pozycjach 1 i 5 tabeli 1, które uznaje się za reprezentatywne dla zjawisk nisko- i wysokoenergetycznych. Przebieg z rys. 1b jest obrazem jednych z najintensywniejszych, jakie udało się zarejestrować w obszarze miasta Polkowice. Dla zjawisk o wysokich energiach ($>10^8$) J maksymalne wartości przyspieszenia pojedynczych składowych poziomych x, y drgań osiągają wartości około $1500 mm/s^2$ (por. rys. 1b). Pojedyncze przebiegi składowych poziomych przyspieszeń drgań poddano filtracji w paśmie częstotliwości $0,5-10 Hz$.



Rys. 1. Przebiegi składowych poziomych y (a), x (b) przyspieszeń drgań z poz. 1 i 5 tabeli 1
 Fig. 1. Acceleration records of: horizontal component y (a), x (b), – pos. 1 and 5 tabeli 1



Rys. 2. Przebiegi składowych poziomych y (a), x (b) prędkości drgań z poz. 1 i 5 tabeli 1
 Fig. 2. Velocity records of: horizontal component y (a), x (b), – pos. 1 and 5 tabeli 1



Rys. 3. Przyspieszeniowe spektrum odpowiedzi dla drgań z rys. 1a i 1b
 Fig. 3. Acceleration spectra calculated on basis of the record from fig. 1a and 1b

Dla zjawisk o wysokich energiach ($>10^8$ J) maksymalne wartości wypadkowego przyspieszenia przekraczają 1000 mm/s^2 , a w przypadku wstrząsu opisanego w pozycji 5 tabeli 1, wartość ta wynosi aż $1552,2 \text{ mm/s}^2$. Na rys. 2 pokazano przykładowe przebiegi składowych poziomych odpowiednio (y) i (x) prędkości drgań wymienionych w pozycjach 1 i 5 tabeli 1. Przebiegi te otrzymano na drodze numerycznego całkowania przebiegów składowych poziomych (y, x) przyspieszeń drgań pokazanych odpowiednio na rys. 1a i 1b. Maksymalne wartości pojedynczych składowych poziomych prędkości drgań, wyznaczone na podstawie przebiegów z rys. 2, wynoszą odpowiednio 5,5 i $179,3 \text{ mm/s}$. Dla zjawisk o wysokich energiach ($>10^8$ J) maksymalne wartości wypadkowej prędkości drgań gruntu nie przekraczają 75 mm/s (por. tabela 1), a w przypadku wstrząsu z pozycji 5 tabeli 1 wartość ta jest

znacznie wyższa i wynosi aż 179,3 mm/s. Na rys. 3 pokazano przyspieszeniowe spektra odpowiedzi wykonane na podstawie przebiegów składowych poziomych odpowiednio y i x przyspieszeń drgań gruntu przedstawionych na rys. 1a i 1b. Spektra wykonano przy założeniu wartości ułamka tłumienia krytycznego $\xi = 5\%$.

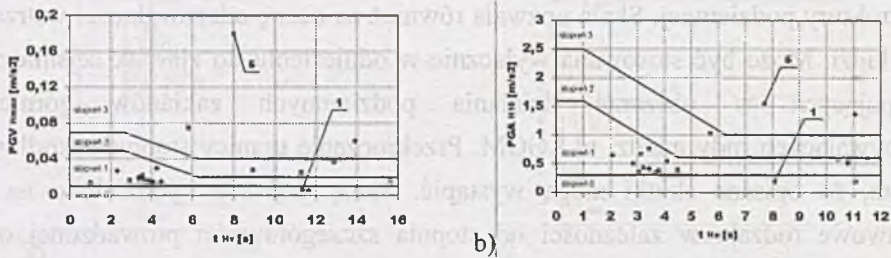
3. Górnicze skale intensywności GSI-2004

Skala GSI-2004 jest skalą empiryczną i pozwala na przybliżoną ocenę wpływu oddziaływania wstrząsów górniczych na budynki oraz na liniowe obiekty infrastruktury podziemnej. Skala pozwala również na ocenę odczuwalności wstrząsów przez ludzi. Może być stosowana wyłącznie w odniesieniu do zjawisk sejsmicznych występujących w obszarze działania podziemnych zakładów górniczych wydobywających rudy miedzi w LGOM. Przekroczenie granicy stopnia szkodliwości oznacza, że opisane skutki mogą wystąpić. Skalę GSI-2004 podzielono na trzy podstawowe rodzaje w zależności od stopnia szczegółowości prowadzonej oceny oddziaływań: GSI-2004-V – skala wykorzystująca amplitudę prędkości drgań poziomych gruntu (PGV_{Hmax}) oraz ich czas trwania t_{Hv} (skala podstawowa), GSI-2004-S – skala bazująca na parametrze przyspieszeniowego spektrum odpowiedzi, GSI-2004-A – skala wykorzystująca amplitudę przyspieszenia drgań poziomych gruntu w paśmie częstotliwości do 10 Hz (PGA_{H10}) oraz ich czas trwania t_{Ha} . Skale GSI-2004 wyróżniają 4 stopnie, dla których opisano skutki oddziaływania drgań w budynkach i liniowych obiektach infrastruktury podziemnej oraz odczuwalność przez ludzi [2]. Na etapie tworzenia skal GSI-2004 wykorzystano analizy dotyczące intensywności i charakterystyk wstrząsów górniczych, przedstawione w pracy [6].

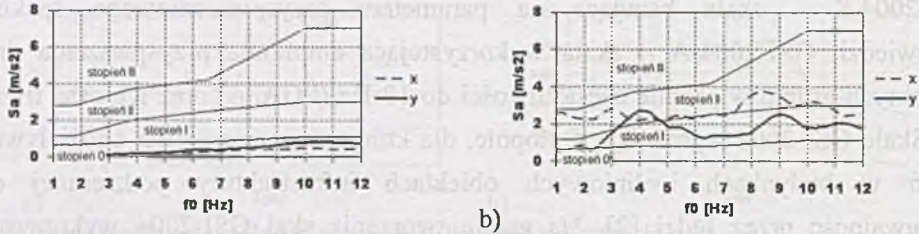
4. Ocena szkodliwości wybranych reprezentatywnych wstrząsów

Dokonano oceny szkodliwości wybranych reprezentatywnych wstrząsów górniczych przedstawionych w tabeli 1 przez skale GSI-2004. Analizie poddano wszystkie wstrząsy. Graficzne interpretacje oceny przez skale GSI-2004-A i GSI-2004-V przedstawiono na rys. 4. Skale GSI-2004-V i GSI-2004-A nie uwzględniają w ocenie wpływu działania wstrząsów typu konstrukcji, ani jej stanu technicznego. Trudno zatem zgodzić się z faktem, że skutki wstrząsu na budynki o skrajnie różnych charakterystykach dynamicznych będą takie same [4]. Podobnie skutek działania wstrząsu na dwa zbliżone do siebie charakterystykami dynamicznymi

budynki, ale o skrajnie różnym stanie technicznym, zdaniem autorów skali jest taki sam [2]. Nie inaczej jest z czasem trwania zjawiska, który w sposób istotny wpływa na otrzymane oceny szkodliwości drgań. W przypadku skali GSI-2004-V i krótkiego czasu trwania (<3 s) wstrząs o maksymalnej wypadkowej prędkości drgań poziomych ($>0,04$ mm/s i $<0,05$ mm/s) zostanie przyporządkowany do stopnia I, natomiast gdy czas jego intensywnej fazy będzie dłuższy (>6 s), to przyporządkuje się go do stopnia III. Niejasno sformułowany przez autorów skal czas zapisu zjawiska może być przyczyną błędnego zinterpretowania szkodliwości wstrząsu [5].



Rys. 4. Ocena szkodliwości drgań z wykorzystaniem skali GSI-2004-V (a) i GSI-2004-A (b)
Fig. 4. Estimation of harmfulness of vibrations by means of GSI-2004-V (a) and GSI-2004-A (b)



Rys. 5. Ocena szkodliwości drgań z wykorzystaniem skali GSI-2004-S dla drgań z poz. 1 i 5
Fig. 5. Estimation of harmfulness by means of GSI-2004-S of vibrations – pos. 1 and 5 table 1

Skala GSI-2004-S wykorzystuje do oceny wpływu oddziaływania wstrząsów górniczych maksymalne wartości przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi uzyskanych na podstawie zarejestrowanych składowych poziomych przyspieszeń drgań (por. rys. 4). Skala ta uwzględnia charakterystykę dynamiczną budynku, jednak zdaniem autorów ma jedynie charakter pomocniczy. Graficzną interpretację oceny przez skalę GSI-2004-S przedstawiono na rys. 5.

W tabeli 2 podano wyniki oceny szkodliwości wybranych wstrząsów z tabeli 1, z wykorzystaniem skal GSI-2004. Wynikiem tej oceny są podane stopnie, którym przyporządkowano w instrukcji [2] fizyczne skutki zaistniałych zjawisk sejsmicznych o takim stopniu. W przypadku skali GSI-2004-S podano maksymalny stopień z całej dziedziny częstotliwości.

Tabela 2

Ocena szkodliwości wybranych wstrząsów

Lp.	GSI-2004-V	GSI-2004-A	GSI-2004-S
1.	Stopień 0	Stopień 0	Stopień 0
2.	Stopień I	Stopień I	Stopień I
3.	Stopień 0	Stopień 0	Stopień 0
4.	Stopień III	Stopień III	Stopień II
5.	Stopień III	Stopień III	Stopień II
6.	Stopień I	Stopień I	Stopień I
7.	Stopień I	Stopień I	Stopień I
8.	Stopień I	Stopień I	Stopień I
9.	Stopień I	Stopień I	Stopień I
10.	Stopień III	Stopień II	Stopień II
11.	Stopień I	Stopień I	Stopień I
12.	Stopień II	Stopień I	Stopień I
13.	Stopień I	Stopień I	Stopień I
14.	Stopień I	Stopień I	Stopień I
15.	Stopień I	Stopień I	Stopień I
16.	Stopień I	Stopień I	Stopień I
17.	Stopień I	Stopień I	Stopień II
18.	Stopień I	Stopień I	Stopień I
19.	Stopień II	Stopień I	Stopień I
20.	Stopień II	Stopień II	Stopień I

5. Wnioski i uwagi końcowe

Przedstawione w tabeli 2 wyniki pokazują zróżnicowanie zaistniałych zjawisk sejsmicznych (z uwagi na intensywność). Dominują zjawiska przyporządkowane do stopnia I. W przypadku tego stopnia widać praktycznie całkowitą zgodność pomiędzy skalami GSI-2004-V, GSI-2004-A i GSI-2004-S. Zdaniem autorów, takie wstrząsy nie powodują uszkodzeń w budynkach, ale mogą powodować intensyfikację już istniejących zarysowań. Drgania takie są również nieszkodliwe dla liniowych obiektów podziemnej infrastruktury technicznej, mogą jednak wzbudzać niekorzystne reakcje wśród ludzi, zwłaszcza przebywających na wyższych piętrach w budynkach, gdzie mogą być one silnie odczuwalne. Potwierdza to niechęć i niezadowolenie ludzi z prowadzonej w pobliżu ich miejsca zamieszkania eksploatacji podziemnej. Niewielką liczbę zjawisk sejsmicznych analizowanych w pracy stanowią te przypisane do stopni 0, II, III. Oczywiście najniekorzystniejsze są te opisane stopniem III. W takim przypadku autorzy skali nie wykluczają pojawienia się zarysowań w ścianach konstrukcyjnych budynków i uszkodzeń w liniowych obiektach infrastruktury podziemnej. Drgania o takim stopniu wywołują bardzo niekorzystne reakcje u ludzi, łącznie ze strachem. Autorzy skali podkreślają, że każdy wstrząs zakwalifikowany do

III stopnia intensywności, z uwagi na związane z tym potencjalne zagrożenie, wymaga indywidualnej oceny skutków drgań na obiekty budowlane przez specjalistę z zakresu budownictwa. Różnice otrzymanych wyników pomiędzy poszczególnymi skalami można tłumaczyć szerokim opisem zjawisk, który niekiedy stwarza pewne trudności w przypisaniu poszczególnym wstrząsom konkretnego stopnia szkodliwości. Niemniej jednak ocena według skali GSI-2004-S nie wskazała na to, aby którykolwiek z zanotowanych wstrząsów znalazł się w III stopniu intensywności. Skale GSI-2004 wciąż są weryfikowane, jak dotychczas z pozytywnym skutkiem. Trwają jednak dyskusje dotyczące sposobu zapisu czasu trwania zjawiska i uwzględniania charakterystyk dynamicznych obiektów. Niewątpliwa prostota w posługiwaniu się tymi skalami i jak dotychczas skuteczna weryfikacja wpłynęły na fakt, że obecnie powstała już skala GSI-2004_{ROW}, która obowiązuje w Rybnickim Okręgu Węglowym, i powstaje skala GSI-2004_{GZW} dla Górnośląskiego Okręgu Węglowego, która będzie obowiązywać w obszarze kopalń Kompanii Węglowej SA.

BIBLIOGRAFIA

1. Ciesielski R.: Ocena szkodliwości wpływów dynamicznych w budownictwie. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1973.
2. Dubiński J. i in.: Instrukcja prowadzenia powierzchniowych pomiarów sejsmometrycznych, interpretacji wyników oraz oceny i prognozowania drgań sejsmicznych wywołanych wstrząsami górnictwymi na powierzchni w LGOM w oparciu o skalę GSI-2004. Czerwiec 2006.
3. Trifunac M.D, Brady A.G.: On correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion. Bull. Seismol. Soc. Am, Vol. 65, No. 1, 1975, p.139-162.
4. Pachla F., Tataro T.: Obliczeniowa weryfikacja skal GSI-2004. Seminarium pt. „Doświadczenia ze stosowania skal GSI-2004”, Kraków, maj 2008.
5. Maciąg E.: Znaczenie czasu trwania drgań od wstrząsów górnictwowych w skali GSI-2004. Seminarium pt. „Doświadczenia ze stosowania skal GSI-2004”. Kraków, maj 2008.
6. Zembaty Z.: Rockburst induced ground motion – a comparative study. Int. Journal: Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 24, 2004, p. 11-23.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Zembaty