

FILIP PACHLA\*, TADEUSZ TATARA\*\*

## Przybliżona ocena dynamicznej odporności niskiej zabudowy mieszkalnej w obszarze LGOM

### Wprowadzenie

W ostatnich latach wzrosło zagrożenie zabudowy powierzchniowej ze strony drgań generowanych podziemną eksploatacją górnictw. Szczególnie w obszarze Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) intensywność wstrząsów górniczych jest wysoka. Na obszarach objętych bezpośrednimi i pośrednimi wpływami górniczymi, zabudowa powierzchniowa jest zróżnicowana. Tworzą ją zarówno budynki mieszkalne oraz obiekty własne zakładów górniczych. Obiekty budowlane charakteryzują się istotnymi różnicami konstrukcyjnymi wpływającymi na ich charakterystyki dynamiczne, a zatem i na reakcję dynamiczną na skutek działania drgań powierzchniowych.

Zabudowa mieszkalna jest zróżnicowana. Można wyróżnić budynki wznoszone metodami uprzemysłowionymi (od 5–12 kondygnacji) oraz metodami tradycyjnymi na ogół nie przekraczające 3 kondygnacji. Budynki murowe, szczególnie te wzniesione w ostatnim dziesięcioleciu, są wzmocnione poprzez wprowadzone usztywnienia w postaci żelbetowych wieńców obwodowych i słupów w miejscach krzyżowania się ścian nośnych.

Przeprowadzenie oceny odporności zabudowy powierzchniowej poprzez wykorzystanie wyników obliczeń ich modeli dynamicznych jest trudnym zadaniem (Maciąg i in. 1999; Tatara 2002, 2006; Wawrzynek i in. 2000; Fedorowicz i in. 2001). Powyższe spowodowane jest przede wszystkim dużą liczbą budynków występujących na tym terenie, o istotnych różnicach konstrukcyjnych i materiałowych, szczególnie w grupie budynków niskich wzniesionych metodami tradycyjnymi (Tatara 2006, Wawrzynek i in. 2000). Dlatego też uzasadnionym jest stosowanie różnego typu skal umożliwiających dokonanie takiej oceny.

---

\* Mgr inż., \*\* Dr hab inż., prof. PK, Politechnika Krakowska, Kraków; e-mail: ttatara@pk.edu.pl

W pracy (Maciąg, Tataro 2004) autorzy dokonywali ocen szkodliwości wpływu drgań powierzchniowych pochodzenia górniczego na budynki poprzez skalę MSK-64, która opisuje masowe skutki trzęsień ziemi. Skala ta nie powinna być stosowana do ocen szkodliwości drgań w indywidualnych budynkach. Skala MSK-64 nie została opracowana na podstawie wyników analiz dynamicznych. Pomimo tego zakłady górnicze, oceniając szkodliwość wpływu wstrząsów górniczych na zabudowę powierzchniową, jeszcze do niedawna posługiwały się tą skalą.

Przybliżonej oceny szkodliwości drgań powierzchniowych dla jednorodzinnych, niskich budynków mieszkalnych wznoszonych metodą tradycyjną oraz budynków wielorodzinnych do 5 kondygnacji, można dokonać wykorzystując Skalę Wpływów Dynamicznych (SWD) zawarte w normie PN-85/B-02170 „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki”. Skale te opracowane zostały na podstawie wyników analiz dynamicznych (Ciesielski 1961). Ten sposób oceny pozwala odpowiedzieć czy drgania działające na budynek, traktowany jako jedna całość, są dla niego szkodliwe, czy też nie (Maciąg, Tataro 1997, 1999a, b). Stosując skalę SWD do przeprowadzenia przybliżonej oceny szkodliwości drgań wykorzystuje się zarejestrowane, pełne przebiegi drgań powierzchniowych (Maciąg, Tataro 1999a, b; Tataro 2001, 2002, 2003; Maciąg 2005).

W ostatnich latach w GIG powstała Górnicza Skala Intensywności GSI-2004 (Dubieński i in. 2006). Skala ta stosowana jest do oceny działania drgań sejsmicznych od wstrząsów górniczych na powierzchnię i ludzi w LGOM (Dubieński, Mutke 2005, 2006). Wykorzystując doświadczenia ze stosowania skali GSI-2004 w LGOM, GIG zaproponował skalę GSI-GZW do oceny skutków działania wstrząsów górniczych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym na obiekty budowlane i ludzi (Dubieński, Mutke 2007). Górnicze Skale Intensywności są skalami empirycznymi, w których przyjęto koncepcję oceny oddziaływania bazującą na parametrze prędkości drgań i czasu ich trwania.

W pracy przedstawia się charakterystyki wstrząsów górniczych i reprezentatywnych przebiegów drgań powierzchniowych z wybranych stacji sejsmicznych zlokalizowanych w obszarach górniczych LGOM z ostatnich kilku lat. Szczegółowej analizie poddano przebiegi składowych poziomych drgań ze stacji w mieście Polkowice. Przedstawiono charakterystykę niskiej, murowej zabudowy. Wykorzystując wyniki analiz zarejestrowanych przebiegów drgań powierzchniowych wykonanych pod kątem oceny działania wstrząsów górniczych na analizowane budynki dokonano oceny odporności dynamicznej tej zabudowy. W pracy przedstawiono i porównano wyniki przybliżonej oceny odporności niskich budynków murowych poprzez skalę SWD oraz Górnicze Skale Intensywności GSI-2004. W celach porównawczych przedstawiono także wyniki ocen z zastosowaniem skali MSK-64, pomimo tego, że jak wspomniano już powyżej, skala ta nie powinna być stosowana w ocenach wpływu drgań górniczych na zabudowę powierzchniową. Przedstawiono problemy, wątpliwości i pytania jakie zrodziły się podczas wykonywania tych porównawczych analiz.

## 1. Charakterystyka budynków murowych w Polkowicach

Do analizy wybrano zabudowę typu murowego na obszarze czterech osiedli mieszkaniowych w Polkowicach: Staszica, Młodych, Dąbrowskiego i Polanka. Trzy pierwsze z wyżej wymienionych osiedli mieszkaniowych leżą w obszarze filaru ochronnego miasta Polkowice.

Na obszarze osiedli Staszica, Polanka, Młodych i Dąbrowskiego występują obiekty o konstrukcji murowej o wysokości 1–3 kondygnacji. W sumie na terenie wymienionych osiedli zlokalizowanych jest kilkaset obiektów. Na osiedlu Dąbrowskiego występują nieliczne obiekty w zabudowie półzwartej („bliźniaki”). W zdecydowanej większości zabudowę osiedla stanowią budynki wolnostojące. Na osiedlach Młodych, Polanka i Staszica przeżywa zabudowa szeregowa, choć występują także budynki wolnostojące oraz „bliźniaki”.

Zastosowane przy wznoszeniu analizowanej zabudowy osiedli rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe stosunkowo często się powtarzają. Spostrzeżenie to pozwoliło na dokonanie podziału całej populacji obiektów na klasy. Przy podziale brano pod uwagę przyjęte rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe, liczbę kondygnacji, pełnioną funkcję oraz aktualny stan techniczny (Tatara 2007).

### 1.1. Charakterystyka konstrukcyjna

Praktycznie wszystkie analizowane budynki są zabezpieczone na wpływy ciągłych deformacji terenu wywołanych eksploatacją górniczą. Zabezpieczenia te występują w postaci: miejsca stałego poziomu posadowienia fundamentów w przypadkach niecałkowitego podpiwniczenia obiektu, żelbetowych łąw fundamentowych bez/lub ze ściągami zukosowanymi, bądź przekątniowymi, ciągłych, obwodowych wieńców żelbetowych w poziomach stropów poszczególnych kondygnacji, żelbetowej przepony pod posadzką parteru – dotyczy budynków wznoszonych w ostatnim dziesięcioleciu, dylatacji pomiędzy budynkami wchodzącymi w skład zabudowy szeregowej i bliźniaczej, bitumicznej warstwy poślizgowej pod fundamentami – dotyczy budynków wznoszonych na przełomie lat dziewięćdziesiątych i nowego stulecia.

W wielu budynkach zwiększono ich sztywność poprzez wzmocnienie ścian nośnych, w narożach i węzłach, żelbetowymi słupami, co w przypadkach niektórych obciążeń kinematycznych może powodować wzrost możliwości przeniesienia dodatkowych sił sejsmicznych.

W budynkach występują także elementy, które nie są korzystne z punktu widzenia przenoszenia obciążeń dynamicznych. Do elementów tych zaliczyć można: rozczłonkowany kształt budynku – wielobryłowość, zróżnicowany poziom stropów w ramach poszczególnych kondygnacji, niecałkowite podpiwniczenie obiektów oraz brak zbrojenia ścian murowych.

Budynki murowe miasta Polkowice (osiedla Staszica, Młodych, Dąbrowskiego i Polanka) w większości zostały wybudowane według typowych projektów. Budynki posadowione są na fundamentach żelbetowych. Część obiektów jest całkowicie lub częściowo

podpiwniczona. Występują także budynki bez podpiwniczenia. Kondygnacje piwniczne są monolityczne betonowe lub z bloczków betonowych lub żużlobetonowych. Ściany wyższych kondygnacji wzniesiono z cegły pełnej, pustaków ceramicznych, betonu komórkowego lub z pustaków żużlobetonowych, jako jedno- lub wielowarstwowe. Stropy budynków wykonano jako monolityczne płytowe żelbetowe lub gęstożebrowe, a także z prefabrykowanych płyt wielokanałowych. Stropodachy są o konstrukcji drewnianej lub z prefabrykowanych płyt żelbetowych, często ocieplonych warstwą żużlu paleniskowego. Niektóre budynki wzmocnione zostały poprzez obwodowe, żelbetowe wieńce i żelbetowe trzpienie w narożach i węzłach ścian nośnych.

### 1.1.1. Stan techniczny

W analizowanych budynkach murowych nie dostrzeżono uszkodzeń, mogących stanowić zagrożenie bezpieczeństwa. Stwierdzono jednak znaczną ilość drobnych uszkodzeń, występujących przede wszystkim w elementach drugorzędnych. Tylko nieliczne obiekty były całkowicie wolne od uszkodzeń i wad budowlanych. W przeważającej większości stan techniczny budynków oceniono jako bardzo dobry lub dobry. Nie stwierdzono obiektów charakteryzujących się złym stanem technicznym. Nieliczną grupę stanowią budynki w zadawalającym stanie. W budynkach nie stwierdzono uszkodzeń typu konstrukcyjnego. W wielu budynkach przeprowadzono przeróbki oraz remonty. Przykładem niekorzystnej, z punktu widzenia odporności dynamicznej budynku, przeróbki jest oparcie ściany nośnej na stalowym podciągu podpartym żelbetowym słupem. W niektórych budynkach stwierdzono wady budowlane, szczególnie istotne w warunkach obciążeń ruchem podłoża.

## 2. Charakterystyka wybranych wstrząsów górniczych i drgań powierzchniowych z terenu LGOM (obszar miasta Polkowice)

### 2.1. Podstawowe charakterystyki

Do scharakteryzowania przebiegów drgań powierzchniowych stosuje się wiele parametrów. Spośród tych parametrów wymienić można: maksymalne wartości składowych przyspieszeń drgań (składowe poziome:  $x - (PGA_{x\max})$ ,  $y - (PGA_{y\max})$  i składowa pionowa  $z - (PGA_{z\max})$ ), maksymalną wartość przyspieszenia drgań poziomych ( $PGA_{H\max}$ ), czas trwania intensywnej fazy składowej poziomej przyspieszeń drgań  $t_{Ha}$  wyznaczany ze znormalizowanego wykresu intensywności Arias'a, maksymalne przyspieszenie składowych poziomych drgań  $a_{10x\max}$ ,  $a_{10y\max}$  wyznaczone w paśmie częstotliwości do 10 Hz, maksymalne przyspieszenie drgań poziomych wyznaczone w paśmie do 10 Hz ( $PGA_{10H\max}$ ), jako maksimum długości wektora drgań gruntu, maksymalną prędkość drgań poziomych ( $PGV_{H\max}$ ).

## 2.2. Charakterystyka wstrząsów górniczych

Wysoki poziom sejsmiczności w obszarach LGOM utrzymuje się już od kilkunastu lat. W pracy (Tatara 2002) zestawiono dane o sejsmiczności obszaru LGOM za lata 1995–2001. W tabeli 1 zestawiono ilościowe rozkłady zjawisk sejsmicznych w O/ZG „Rudna” za lata 2004–2007 o energiach  $E_n$  większych od  $10^6$ J. Z zestawienia podanego w tabeli 1 wynika, że tylko w latach 2006–2007 w O/Z.G. „Rudna” miały miejsce łącznie 204 zjawiska wstrząsowe o energiach  $E_n$  większych od  $10^6$ J. Wstrząsów o energiach rzędu  $10^6$ ,  $10^7$ ,  $10^8$  i  $10^9$  J w tych latach było odpowiednio 148, 41, 9 i 2.

TABELA 1

Zestawienie górniczych wstrząsów sejsmicznych w O/ZG „Rudna” w latach 2004–2007

TABLE 1

Juxtaposition of mining tremors at O/ZG „Rudna” in 2004–2007

Rok	$E_n$ [J]			
	E6	E7	E8	E9
2004	52	34	9	1
2005	35	15	7	0
2006	75	22	7	1
2007	73	19	2	1
Razem	235	90	25	3

## 2.3. Charakterystyka drgań powierzchniowych

Pomiary powierzchniowych drgań wykonywane są na stacjach pomiarowych zlokalizowanych na swobodnej powierzchni gruntu oraz na fundamentach budynków. Pomiary drgań fundamentów przeprowadza się w budynkach jednorodzinnych, 5- i 11-kondygnacyjnych. W obszarze miasta Polkowice pomiary drgań powierzchniowych realizowane są w kilku stacjach sejsmicznych zlokalizowanych na gruncie i w budynkach – por. tabela 2. W niniejszej pracy ograniczamy się do szczegółowej analizy powierzchniowych drgań mierzonych na stacji pomiarowej zlokalizowanej przy ul. Akacyjnej w Polkowicach.

W tabeli 3 zestawiono charakterystyki reprezentatywnych przebiegów drgań zarejestrowanych jednocześnie na swobodnym gruncie obok budynku i na fundamencie budynku na stanowiskach przy ul. Akacyjnej w Polkowicach. Na rysunkach 1a i 2a pokazano przykładowe przebiegi składowych poziomych odpowiednio (y) i (x) przyspieszeń drgań wymienionych w poz. 1 i 5 tabeli 3, które uznaje się za reprezentatywne dla zjawisk nisko- i wysokoenergetycznych. Przebieg przyspieszeń drgań z rysunku 1a jest obrazem jednych z najintensywniejszych jakie udało się zarejestrować w obszarze miasta Polkowice. Dla zjawisk o wysokich energiach rzędu  $10^8$  i  $10^9$  J maksymalne wartości przyspieszenia

TABELA 2

Stanowiska pomiarowe (sejsmiczne) w Polkowicach

TABLE 2

Juxtaposition of mining tremors at O/ZG „Rudna” in 2004–2007

Nr stanowiska, lokalizacja i charakterystyka obiektu	Położenie stanowiska	Składowe sejsmiczne
ul. Akacyjowa 4 – budynek jednorodzinny	grunt/budynek	X = 30578, Y = 5882
ul. Sosnowa 14– budynek jednorodzinny	grunt/budynek	X = 30531, Y = 6717
ul. 3 Maja 8 – bud. 5 kond.	grunt/budynek (piwnica i IVp.)	X = 31129, Y = 5550
ul. Miedziana 9 – bud. 11 kond.	grunt	X = 30864, Y = 5756
ul. Fiołkowa 7 – budynek jednorodzinny	grunt	X = 30847, Y = 4508

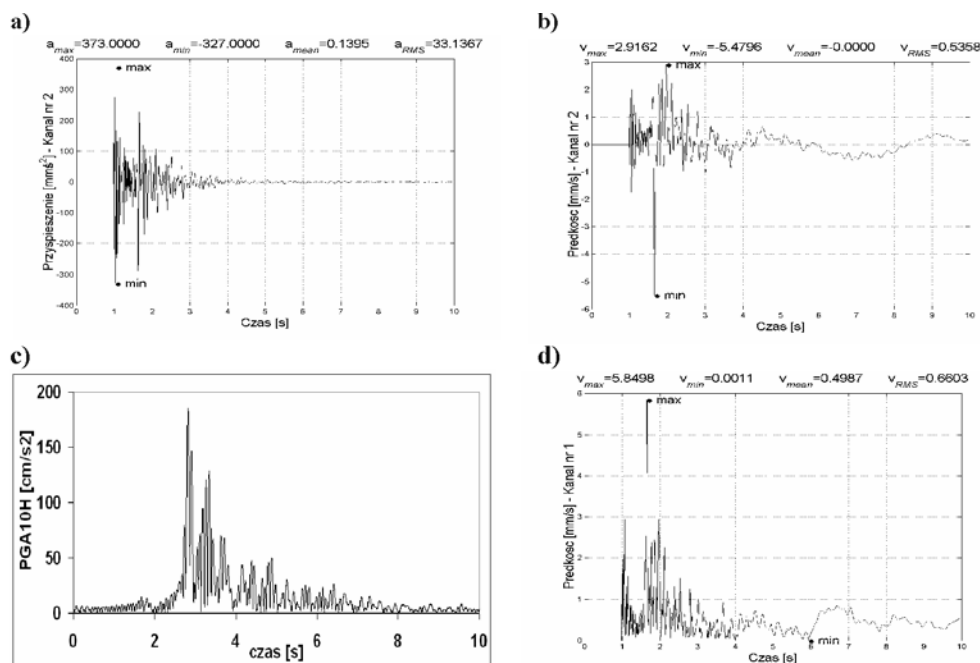
TABELA 3

Charakterystyki drgań powierzchniowych pomierzonych na gruncie i w piwnicy budynku

TABLE 3

Characteristics of surface vibrations measured at ground and in buildings at foundation level

L.p.	$E_n$ , [J]	$r_e$ , [m]	$PGA_x$ , [mm/s <sup>2</sup> ]	$PGA_y$ , [mm/s <sup>2</sup> ]	$PGA_{10Hmax}$ , [mm/s <sup>2</sup> ]	$t_{Ha}$ , [s]	$a^{MSK}$ , [mm/s <sup>2</sup> ]	$PGV_{Hmax}$ , [mm/s]	$t_{Hv}$ , [s]
stacja przy ul. Akacyjowej – grunt									
1.	4.3E6	548	316	373	185,5	8,08	188,9	5,85	11,36
2.	3.9E7	499	1 133	1 321	566,8	10,43	588,0	16,43	15,62
3.	1.2E7	470	205	121	186,8	11,08	200,6	4,82	11,67
4.	1.7E8	450	1 335	1 079	1 356,4	11,05	1 375,4	60,63	13,92
5.	1.9E9	980	1 477	1 054	1 552,2	7,71	1 621,2	179,4	8,02
stacja przy ul. Akacyjowej – piwnica									
L.p.	$E_n$ , [J]	$r_e$ , [m]	$PGA_{x max}$ , [mm/s <sup>2</sup> ]	$PGA_{y max}$ , [mm/s <sup>2</sup> ]	$PGA_{H max}$ , [mm/s <sup>2</sup> ]	$t_{Ha}$ , [s]	$a^{MSK}$ , [mm/s <sup>2</sup> ]	$PGV_{Hmax}$ , [mm/s]	$t_{Hv}$ , [s]
6.	4.3E6	548	144	220	177,0	5,23	192,8	7,52	10,28
7.	3.9E7	499	595	299	645,4	9,75	660,3	21,67	14,63
8.	1.2E7	470	249	120	228,5	8,61	240,1	7,21	11,48
9.	1.7E8	450	1 393	494	1 491,2	9,59	1502	59,28	13,52
10.	1.9E9	980	1 435	822	1 581,0	4,30	1 497,9	175,54	13,79

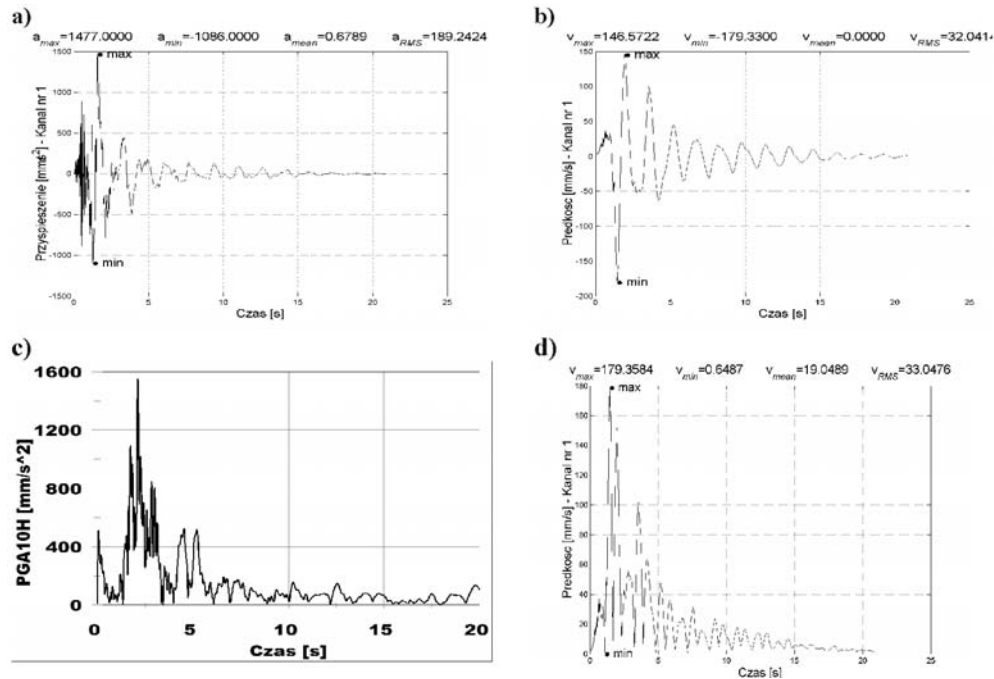


Rys. 1. Przebiegi: składowej poziomej y drgań gruntu (przyspieszeń (a)), prędkości (b)), wypadkowej poziomej: przyspieszeń (c), prędkości (d) – poz. 1 tabeli 3

Fig. 1. Ground vibration records of: horizontal component y (acceleration (a), velocity (b)), resultant horizontal acceleration (c) and velocity (d) – pos. 1 table 3

pojedynczych składowych poziomych x, y drgań osiągają wartości około  $1500 \text{ mm/s}^2$  – por. tabela 3. Pojedyncze przebiegi składowych poziomych przyspieszeń drgań poddano filtracji w paśmie częstotliwości 0,5–10 Hz. Przykładowe przebiegi wypadkowej poziomej przyspieszeń drgań obliczone z wykorzystaniem odfiltrowanych przebiegów pojedynczych składowych poziomych (y, x) przyspieszeń drgań z pokazano odpowiednio na rysunkach 1c i 2c. Dla zjawisk o wysokich energiach rzędu  $10^8$  i  $10^9$  J maksymalne wartości wypadkowego przyspieszenia przekraczają  $1000 \text{ mm/s}^2$ , a w przypadku wstrząsu opisanego w poz. 5 tabeli 3 wartość ta wynosi  $1552,2 \text{ mm/s}^2$ .

Na rysunkach 1b i 2b pokazano przykładowe przebiegi składowych poziomych odpowiednio (y) i (x) prędkości drgań wymienionych w poz. 1 i 5 tabeli 3. Przebiegi te otrzymano na drodze numerycznego całkowania przebiegów składowych poziomych (y, x) przyspieszeń drgań pokazanych odpowiednio na rysunkach 1a i 2a. Maksymalne wartości pojedynczych składowych poziomych prędkości drgań wyznaczone na podstawie przebiegów z rysunków 1b i 2b wynoszą odpowiednio 5,5 i 179,3 mm/s. Dla zjawisk, nawet o wysokich energiach rzędu  $10^8$  i  $10^9$  J maksymalne wartości pojedynczych składowych poziomych (y, x) prędkości drgań osiągają wartości nie przekraczające 70 mm/s – por. tabela 3. Wykresy z rysunków 1d i 2d przedstawiają przebiegi wypadkowej poziomej prędkości drgań obliczone na podstawie przebiegów składowych poziomych drgań zjawisk opisanych w poz. 1



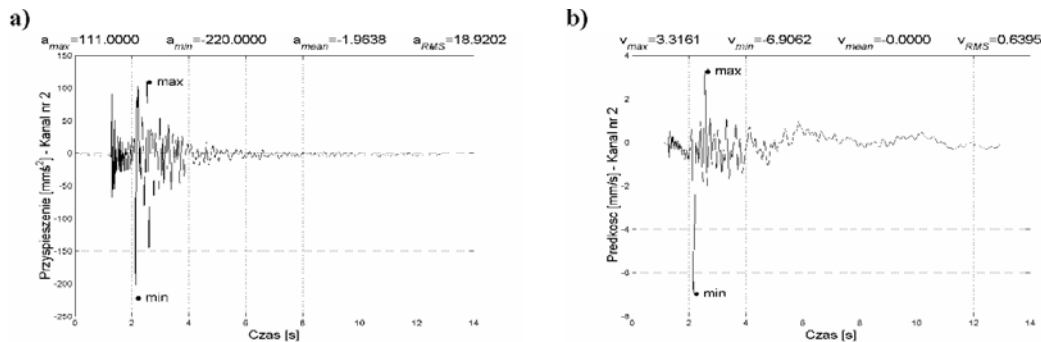
Rys. 2. Przebiegi: składowej poziomej x drgań gruntu (przyspieszeń (a)), prędkości (b)), wypadkowej poziomej: przyspieszeń (c), prędkości (d) – poz. 5 tabeli 3

Fig. 2. Ground vibration records of: horizontal component x (acceleration (a), velocity (b)), resultant horizontal acceleration (c) and velocity (d) – pos. 5 table 3

i 5 tabeli 3. Dla zjawisk o wysokich energiach rzędu  $10^8$  i  $10^9$  J maksymalne wartości wypadkowej prędkości drgań gruntu nie przekraczają 75 mm/s (por. tab. 3), a w przypadku wstrząsu z poz. 5 tabeli 3 wartość ta jest znacznie wyższa i wynosi aż 179,4 mm/s.

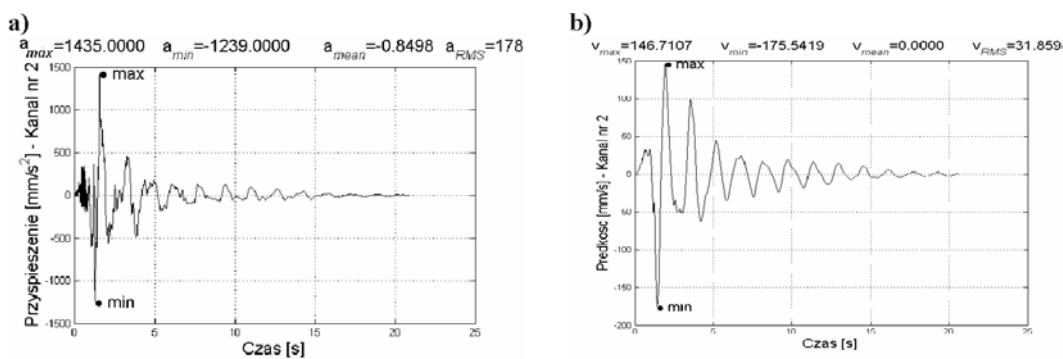
W celu przedstawienia różnic w charakterystykach przebiegów drgań zarejestrowanych na swobodnym gruncie i w budynku na fundamencie, na rysunkach 3a i 4a pokazano przebiegi składowych poziomych odpowiednio (y) i (x) przyspieszeń drgań wymienionych w poz. 6 i 10 tabeli 3, które odpowiadają zarejestrowanym drganiom zestawionym w poz. 1 i 5 tabeli 3. Na rysunkach 3b i 4b pokazano przebiegi prędkości drgań otrzymane na drodze numerycznego całkowania przebiegów składowych poziomych (y, x) przyspieszeń drgań pokazanych odpowiednio na rysunkach 3a i 4a. Maksymalne wartości pojedynczych składowych poziomych prędkości drgań wyznaczone na podstawie przebiegów z rysunków 3b i 4b wynoszą odpowiednio 6,9 i 175,5 mm/s. Dla zjawisk o wysokich energiach rzędu  $10^8$  i  $10^9$  J maksymalne wartości wypadkowej prędkości drgań gruntu nie przekraczają 60 mm/s, a więc są mniejsze niż w przypadku drgań na swobodnym gruncie – por. tabela 3. W przypadku wstrząsu z poz. 10 tabeli 3 wartość ta jest znacznie wyższa i wynosi 175,5 mm/s i jest nieznacznie mniejsza w stosunku do wartości obliczonej na podstawie prędkości drgań gruntu.





Rys. 3. Przebiegi składowej poziomej y drgań fundamentu budynku: przyspieszeń (a), prędkości (b) – poz. 6 tabeli 3

Fig. 3. Vibration records of building's foundation: acceleration (a), velocity (b) – pos. 6 table 3

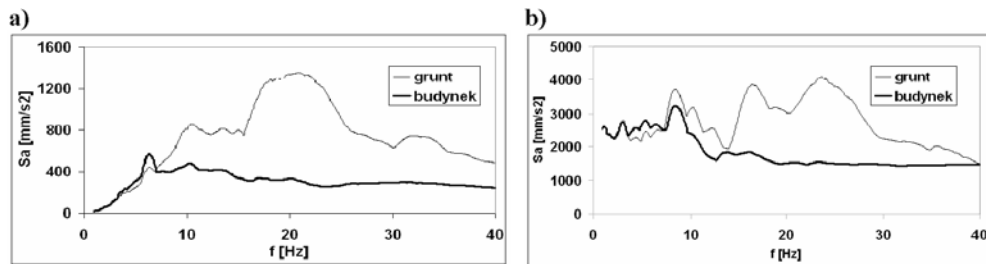


Rys. 4. Przebiegi składowej poziomej x drgań fundamentu budynku: przyspieszeń (a), prędkości (b) – poz. 10 tabeli 3

Fig. 4. Vibration records of building's foundation: acceleration (a), velocity (b) – pos. 10 table 3

Dodatkowo na rysunku 5 pokazano przykładowe przyspieszeniowe spektra odpowiedzi wykonane na podstawie przebiegów składowych poziomych przyspieszeń drgań z rysunków 1a i 3a (por. rys. 5a) oraz z rys. 2a i 4a (por. rys. 5b), przy założeniu wartości ułamka tłumienia krytycznego  $\xi = 5\%$ .

Porównanie krzywych spektralnych z rysunku 5 wskazuje na rolę budynku jako filtra dolnoprzepustowego. W przypadku wstrząsów wysokoenergetycznych drgania z częstotliwościami od 1 do 12 Hz przekazują się na budynek praktycznie bez większych zmian – por. rys. 5b. W przypadku wstrząsów niskoenergetycznych redukcja drgań budynku względem drgań gruntu jest istotna – por. rys. 5a. W przedziale częstotliwości od 1 do 12 Hz w przypadku najintensywniejszych przebiegów składowych poziomych przyspieszeń drgań, maksymalne wartości spektrów nie przekraczają  $4000 \text{ mm/s}^2$  – por. rys. 5b.



Rys. 5. Spektre odpowiedzi obliczone na podstawie przebiegów drgań z rys. 1a, 3a (a) i z rys. 2a, 4a (b)  
 Fig. 5. Acceleration spectra calculated on the basis of the records from fig. 1a, 3a (a) and from fig. 2a, 4a (b)

TABELA 4

Wartości wybranych wielkości charakteryzujących drgania gruntu pomierzone w stacjach sejsmicznych w Polkowicach w roku 2006

TABLE 4

Characteristics of ground surface vibrations measured in 2006 at seismological stations in Polkowice

Stanowisko	$E_n$ [J]	$r_e$ [m]	$t_{Ha}$ [s]	$PGA_{10Hmax}$ [ $\text{mm/s}^2$ ]	$PGV_{Hmax}$ [ $\text{mm/s}$ ]	$a^{MSK}$ [ $\text{mm/s}^2$ ]
ul. Akacyjowa 4	2.5E7–1.9E9	760–4420	3,3–10	95–1080	4,9–72	95–1080
ul. Fiołkowa 7	2.5E7–1.9E9	727–5790	4,0–7,4	103–1800	5,0–56	103–1800
Sosnowa 14	2.5E7–3.7E8	221–3580	3,1–9,4	90–330	5–12,5	135–680
ul. 3 Maja 8	2.5E7–1.9E9	1076–4780	3,3–8,1	68–1390	2,3–60	70–1400
ul. Miedziana 9	2E7–1.9E9	1003–4550	3,5–8,6	68–1390	2,3–60	70–1400

Z porównania wartości czasów  $t_{Ha}$  i  $t_{Hv}$  (określonych na podstawie wykresu Husid'a) trwania intensywnej fazy drgań gruntu i budynku w poziomie gruntu widać istotne różnice. Wartości czasów  $t_{Hv}$  są większe od wartości czasów  $t_{Ha}$ . Różnice te w większości przypadków wynoszą kilkadziesiąt procent, ale mogą być wyższe – por. tabela 3.

W celu zobrazowania poziomu sejsmiczności obszaru miasta Polkowice w ostatnim okresie, w tabeli 4 zestawiono charakterystyki przebiegów drgań swobodnego gruntu od wstrząsów w 2006r. zarejestrowanych na stacjach sejsmicznych w Polkowicach (stanowiska przy ul. Akacyjowej, Fiołkowej, Sosnowej, 3 Maja i ul. Miedzianej).

### 3. Przyjęte kryteria przybliżonej oceny odporności analizowanych budynków na wpływy dynamiczne

Ocenę odporności wykonano w dwóch wariantach według zasad Skal Wpływów Dynamicznych (SWD) oraz Górniczych Skal Intensywności (GSI-2004) i podano kryteria oceny

odporności dynamicznej analizowanych obiektów – Dodatkowo oceny tej dokonano posługując się skalą MSK-64 ( $a^{\text{MSK}}$ ). W ocenie odporności na wpływy dynamiczne analizowanych obiektów pomocna była znajomość wyników pomiarów drgań od wstrząsów górniczych na tym terenie oraz charakterystyki przebiegów drgań powierzchniowych, istotne z uwagi na przyjęte kryteria oceny.

W wymienionych kryteriach ocen odporności dynamicznej przyjęto, że przy określonych parametrach drgań nie występują uszkodzenia, nawet elementów drugorzędnych (architektonicznych), co odpowiada pojęciu „pełnej odporności dynamicznej”. Określana w taki sposób odporność nie może być traktowana za nośność konstrukcji, która z punktu widzenia bezpieczeństwa obiektu (układu konstrukcyjnego) jest najistotniejsza. Za nośność konstrukcji uważa się bowiem taki poziom obciążeń, przy których nie wystąpią uszkodzenia elementów konstrukcyjnych i w konsekwencji osłabienie konstrukcji oraz zmniejszenie odporności na dalsze wpływy.

Rezultatem oceny odporności analizowanej zabudowy na wpływy dynamiczne jest przypisanie poszczególnym obiektom odpowiednich stopni skali MSK-64, to jest określonego w sposób pośredni, poziomu przyspieszeń drgań wyrażonych przez  $a^{\text{MSK}}$ , które nie powinny być szkodliwe dla tych obiektów. Stopień skali MSK-64 przypisany obiektom i  $a^{\text{MSK}}$  odpowiadające temu stopniowi określa odporność obiektów na wpływy dynamiczne.

Stosowanie skal SWD do oceny odporności dynamicznej analizowanych budynków wymaga wykonania analizy trójwymiarowej składowych poziomych drgań w celu określenia maksymalnych wartości przyspieszeń w poszczególnych pasmach częstotliwościowych. Wartości tych przyspieszeń odnosi się do stref szkodliwości opisanych w normie PN-85/B-01270.

Rezultatem oceny budynków murowych w Polkowicach na wpływy dynamiczne poprzez zastosowanie skal GSI-2004 jest określenie wartości prędkości i przyspieszeń drgań poziomych, przy których nie powinny wystąpić uszkodzenia w analizowanych obiektach.

### 3.1. Ocena odporności budynków murowych w Polkowicach na podstawie skali MSK-64

W skali MSK-64 ocena na wpływy dynamiczne określona jest niezależnie od stanu technicznego obiektów. Jest to istotna wada tej metody. W skali tej wprowadza się klasyfikację typów uszkodzeń, a więc pośrednio jest mowa o stanie technicznym obiektów, ale jako już o skutku zdarzenia sejsmicznego. Chcąc zróżnicować odporność analizowanych budynków murowych na wpływy dynamiczne, dokonano ich podziału na klasy (Tatara 2007) – por. p.2. Z tych względów w V i VI stopniu skali MSK-64 wyróżniono odpowiednio stopień Va ( $a^{\text{MSK}} = 120\text{--}200 \text{ mm/s}^2$ ), Vb ( $a^{\text{MSK}} = 200\text{--}250 \text{ mm/s}^2$ ) i stopień VIa ( $a^{\text{MSK}} = 250\text{--}375 \text{ mm/s}^2$ ) oraz VIb ( $a^{\text{MSK}} = 375\text{--}500 \text{ mm/s}^2$ ).

Odporność dynamiczna budynków przypisanych do danej klasy została określona poprzez  $a^{\text{MSK}}$ . Każdą klasę budynków oceniano odrębnie, przyjmując, że poszczególnym obiektom z danej klasy przyporządkowuje się tę samą odporność dynamiczną. Odporność dynamiczna analizowanych budynków murowych została określona poprzez

$a^{\text{MSK}} = 200\text{--}500 \text{ mm/s}^2$ , co odpowiada stopniowi intensywności drgań według skali MSK-64 od Vb–VIb. W pracy (Tatara 2007) przedstawiono szczegółowe wyniki analiz wymienionej zabudowy.

### 3.2. Ocena odporności budynków murowych na podstawie skal SWD

Skale SWD można stosować w przypadku budynków z elementów murowych oraz w przypadku budynków z wielkich bloków. Opracowując skale SWD założono, że dotyczą one tylko częściej spotykanych w praktyce typów budynków. Na podstawie analiz wybranych budynków uznanych za wzorcowe, wykonano obliczenia dynamiczne, które posłużyły do skonstruowania tych skal. W obliczeniach uwzględniano m.in. typ konstrukcji, różne rodzaje podłoża gruntowego na którym posadowiony jest budynek, stan zachowania budynku. Kryteria doboru poszczególnych stopni szkodliwości oparto na sprawdzeniu spełnienia warunków sztywności, wytrzymałości i stateczności. Skale SWD zostały określone przy założeniu drgań harmonicznym i to działających długotrwanie (np. kilka godzin dziennie). W przyjętym poziomie dopuszczalnych drgań uwzględnione jest już i zmęczenie materiału. Ogólna charakterystyka skal SWD oraz kryteria podziału na strefy szkodliwości podane są w normie PN-85/B-02170 „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoża na budynki”. Do przybliżonej oceny szkodliwości wg skal SWD przyjmuje się parametry drgań pomierzone w budynku w poziomie otaczającego terenu lub poniżej na ścianach nośnych piwnic lub fundamentach, zgodnie z wymogiem normy. Oceny są wykonywane przy założeniu, że zarejestrowane przebiegi składowych poziomych drgań odpowiadają drganiom działającym bezpośrednio na przedmiotowy budynek, a więc tak jakby były zarejestrowane na gruncie w sąsiedztwie budynku lub w budynku w poziomie otaczającego terenu lub poniżej.

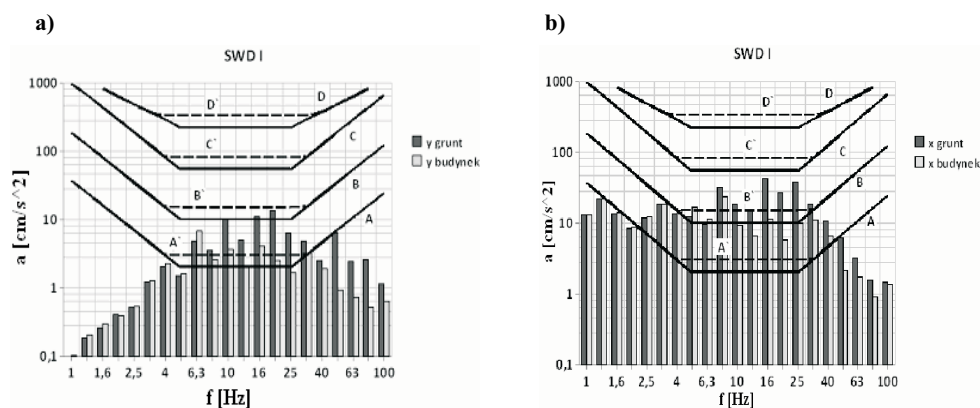
Dla analizowanej zabudowy dokonuje się oceny szkodliwości drgań na podstawie skali wpływów dynamicznych SWD-I. W ocenach wykorzystuje się zapisy drgań powierzchniowych zarejestrowanych w budynkach w poziomie terenu oraz w celach porównawczych na swobodnym gruncie. Poniżej przedstawiona jest ocena szkodliwości poziomych drgań w budynkach, wykonana na podstawie pełnych, zarejestrowanych przebiegów drgań pokazanych na rysunkach 3a i 4a i traktowanych jako reprezentatywne dla wstrząsów odpowiednio nisko- i wysokoenergetycznych. Dokonano także oceny szkodliwości drgań na podstawie zarejestrowanych drgań na swobodnym gruncie – por. rys. 1a i 2a. Na rysunku 6a, b pokazano wyniki analizy tercjojowej (1/3 oktawowej) przebiegów składowych drgań odpowiednio z rysunków 1–4. Na rysunku 6 podano wartości szczytowe przyspieszeń w  $[\text{cm/s}^2]$  w pasmach 1/3 oktawowych oraz naniesiono krzywe skali SWD-I. Krzywa SWD-I-A oznacza granicę odczuwalności drgań przez budynki i granicę uwzględniania wpływów dynamicznych na budynki.

W przypadku analizy przebiegu składowej drgań z rysunku 3a pod kątem oceny jej szkodliwości na przyjęte tu budynki widać, że parametry drgań odpowiadające częstotli-

wościom środkowym pasm 1/3 oktawowych w całym zakresie analizowanych częstotliwości mieszczą się w II strefie skali SWD-I. Wynik analizy dotyczy zarówno budynków uszkodzonych jak i bez uszkodzeń. Podobny rezultat analiz otrzymuje się dla drgań z rysunku 1a pomierzonych na gruncie, gdy ocenia się szkodliwość tych drgań w budynkach bez uszkodzeń. W przypadku analizy przebiegu drgań z rysunku 1a, parametry drgań w niewielkim stopniu przekraczają granicę krzywej SWD-I-B (III strefa szkodliwości), która oznacza granicę sztywności budynku i dolną granicę powstawania zarysowań i spękań w elementach konstrukcyjnych.

W przypadku wstrząsu wysokoenergetycznego i analizy przebiegu składowej drgań z rysunku 4a pod kątem oceny jej szkodliwości na przyjęte budynki, amplitudy przyspieszeń odpowiadające częstotliwościom środkowym 5 i 8 Hz znajdują się w III strefie skali SWD-I – por. rys. 6b. Przy założeniu, że budynek jest uszkodzony, wówczas dodatkowo jeszcze amplituda drgań odpowiadająca częstotliwości 6,3 i 16 Hz znalazłaby się w III strefie tej skali. W przypadku analizy przebiegu drgań gruntu z rysunku 2a, parametry drgań przekraczają granicę krzywej SWD-I-B, w pasmach 8–10 i 16–31,6 Hz. W przypadku budynku z uszkodzeniami granica SWD-I-B przekroczona jest w paśmie od 8 do 31,6 Hz.

Z podanego w normie PN-85/B-02170 opisu stref wynika, że drgania których parametry mieszczą się w III strefie skali SWD-I powinny być szkodliwe dla konstrukcji budynku i powodować uszkodzenia jego elementów konstrukcyjnych. I tak rzeczywiście byłoby, gdyby drgania o intensywności jak na rysunku 4a działały na konstrukcje analizowanych budynków w sposób długotrwały, a więc np. kilka godzin w ciągu doby. Czas trwania przebiegów drgań jest krótki – por. tabela 3. W przypadku drgań krótkotrwałych norma PN-85/B-02170 dopuszcza przy sprawdzeniu szkodliwości drgań podniesienie granicy stref o jedną. Oznacza to, że drganiom o parametrach mieszczących się w strefie III można przypisać skutki dotyczące strefy II. Dlatego też przebiegi drgań o charakterystyce jak na



Rys. 6. Ocena szkodliwości drgań gruntu i budynku wzbudzonych przez wstrząs górniczy z poz. 1 (a) i poz. 5 (b) tabeli 3

Fig. 6. Evaluation of the harmfulness of the vibration induced by rocbursts described in pos. 1 (a) and pos. 5 (b) table 3

rysunku 4a można traktować jako odczuwalne przez budynek i mogące przyspieszyć wystąpienie uszkodzeń elementów konstrukcyjnych lub spotęgować już istniejące uszkodzenia wywołane innymi przyczynami. Drgania te mogą również wywołać pojawienie się rys na tynkach i wyprawach malarskich (tzw. uszkodzenia architektoniczne). Z analiz przeprowadzonych przez autorów prezentowanej pracy jak i w pracach (Tatara 2002; Maciąg 2005) wynika, że w przypadku niskich budynków rola budynku jako filtru dolnoprzepustowego jest istotna. Składowe poziome drgań gruntu przenoszą się w zredukowanej postaci na fundamenty, a w przypadku dominujących niskich częstotliwości rola budynku jako filtru dolnoprzepustowego jest nieistotna. Korzystanie z przebiegów drgań pomierzonych na swobodnym gruncie w ocenach szkodliwości na niskie budynki murowe daje zawyżone rezultaty, ale pozostające w tej samej strefie szkodliwości co rezultaty uzyskiwane na podstawie drgań pomierzonych na fundamentach budynków.

### 3.3. Ocena odporności budynków murowych na podstawie skal GSI-2004

Do określenia odporności dynamicznej budynków murowych w Polkowicach wykorzystano skale GSI-2004-V, GSI-2004-A oraz GSI-2004-S. Wynikiem tej oceny są wartości  $PGV_{Hmax}$  [mm/s],  $PGA_{H10}$  [mm/s<sup>2</sup>] oraz maksymalna wartość przyspieszeniowego spektrum odpowiedzi  $S_a$  [mm/s<sup>2</sup>] wyznaczonego na podstawie składowych poziomych drgań, przy założeniu ułamka tłumienia krytycznego  $\xi = 5\%$ .

Powyższe wartości określają odporność dynamiczną obiektów będących przedmiotem analiz. Postępowanie takie jest uzasadnione tym, że dwa pierwsze parametry mogą być porównane z prognozami działań dynamicznych w analizowanym obszarze. Autorzy skal GSI-2004 uważają, że niezbędnym parametrem oceny skutków oddziaływania drgań na obiekty powierzchniowe jest ponadto czas trwania intensywnej fazy drgań (Dubiński i in. 2006; Dubiński, Mutke 2005).

Po szczegółowej analizie opisów stopni wpływów oddziaływań wstrząsów górniczych w budynkach, proponuje się wprowadzenie czterech następujących pojęć odporności dynamicznej: odporność pełna (w budynkach nie występują żadne uszkodzenia, nawet typu architektonicznego), graniczna I (z punktu widzenia wystąpienia uszkodzeń architektonicznych), graniczna II (z punktu widzenia bezpiecznego użytkowania budynku), warunkowa, przy której mogą pojawić się już uszkodzenia elementów konstrukcyjnych.

Skala GSI-2004-A i skala GSI-2004-V wykorzystują odpowiednio maksymalną wartość przyspieszenia drgań poziomych  $PGA_{H10max}$  wyznaczoną w paśmie częstotliwości do 10 Hz oraz czas trwania intensywnej fazy trwania wstrząsu  $t_{Ha}$  i maksymalną wartość prędkości drgań poziomych  $PGV_{Hmax}$  oraz czas trwania intensywnej fazy trwania wstrząsu  $t_{Hv}$  (Dubiński i in. 2006). Skale GSI-2004-A i GSI-2004-V nie uwzględniają w ocenie wpływu działania wstrząsów typu konstrukcji, ani jej stanu technicznego. Niemniej jednak trudno zgodzić się z tym, że odporność budynków o różnej konstrukcji jest zależna tylko od czasu trwania intensywnej fazy wstrząsu, i że np. stare murowe budynki gospodarcze bez

wzmocnień, będą miały tę samą odporność dynamiczną, jak budynki nowe ze wzmocnieniami. Skala GSI-2004-S wykorzystuje do przeprowadzenia empirycznej oceny wpływu oddziaływania wstrząsów górniczych maksymalne wartości przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi uzyskanych na podstawie zarejestrowanych składowych poziomych przyspieszeń drgań. Spektra te wykonywane są dla częstotliwości od 1 do 12 Hz.

Biorąc pod uwagę czasy trwania intensywnej fazy wstrząsów, zaproponowane cztery pojęcia odporności dynamicznej, dokonano oceny odporności dynamicznej analizowanych budynków murowych. W tabeli 5 podano ocenę odporności dynamicznej z przypisaniem stopnia intensywności drgań wg skal GSI-2004-A i GSI-2004-V (w nawiasach). Podane w tabeli 5 czasy trwania intensywnej fazy wstrząsu należy odnosić zarówno do przyspieszeń jak i do prędkości drgań. Podane wartości  $PGV_{Hmax}$  i  $PGA_{H10}$  określające dynamiczną odporność wynikają bezpośrednio z kryteriów podanych w skalach GSI-2004, które wymagają dalszych weryfikacji w praktyce. Zakładamy, że wszystkie obiekty mają odporność co najmniej określoną przez  $PGV_{Hmax} = 10 \text{ mm/s}$  oraz  $PGA_{H10} = 300 \text{ mm/s}^2$ ; jest to bowiem górna granica strefy 0, a więc zdaniem autorów *Instrukcji* (Dubiński i in. 2006) wszystkie wstrząsy, które mieszczą się w strefie 0 nie powodują żadnych szkód w budynkach.

TABELA 5

Odporność dynamiczna analizowanych budynków murowych w Polkowicach według skal GSI-2004-A i GSI-2004-V

TABLE 5

Dynamic resistance of analyzed masonry buildings in Polkowice according to GSI-2004-A and GSI-2004-V scales

$t_H$	Odporność dynamiczna							
	pełna		graniczna I		graniczna II		warunkowa	
	$PGA_{H10max}$ , [mm/s <sup>2</sup> ]	$PGV_{Hmax}$ , [mm/s]	$PGA_{H10}$ , [mm/s <sup>2</sup> ]	$PGV_{Hmax}$ , [mm/s]	$PGA_{H10}$ , [mm/s <sup>2</sup> ]	$PGV_{Hmax}$ , [mm/s]	$PGA_{H10}$ , [mm/s <sup>2</sup> ]	$PGV_{Hmax}$ , [mm/s]
> 4s	300 (0)	10 (0)	600 (I)	20 (I)	1000 (II)	40 (II)	>1000 (III)	>40 (III)
< 4s	300 (0)	10 (0)	750 (I)	40 (I)	1600 (II)	60 (II)	>1600 (III)	>60 (III)

W ocenie odporności dynamicznej analizowanych budynków murowych z wykorzystaniem skali GSI-2004-S, brano pod uwagę charakterystyki dynamiczne obiektów, a więc typy rozwiązań konstrukcyjnych oraz ich stan techniczny. Biorąc pod uwagę dane podane w pracy (Wawrzynek i in. 2000) oraz własne doświadczenia przyjęto, że podstawowa częstotliwość drgań własnych budynków murowych miasta Polkowice pozostaje w granicach 3–10 Hz. Biorąc pod uwagę wartości częstotliwości drgań własnych budynków murowych oraz wprowadzone cztery pojęcia odporności dynamicznej, w tabeli 6 przypisano tym odpornościom odpowiednie wartości przyspieszeniowego spektrum odpowiedzi  $S_a$ ,



TABELA 6

Odporność dynamiczna budynków murowych w Polkowicach wg skali GSI-2004-S

TABLE 6

Dynamic resistance of masonry buildings in Polkowice according to GSI-2004-S scale

Parametr skali GSI-2004	Odporność dynamiczna							Stopień według GSI-2004	
	pełna		graniczna I		graniczna II		warunkowa		
	$3 < f < 7$	$7 < f < 10$	$3 < f < 7$	$7 < f < 10$	$3 < f < 7$	$7 < f < 10$	$3 < f < 7$		$7 < f < 10$
$S_a$ [mm/s]	$\leq 900$	$\leq 1000$							0
			$\leq 1800$	$\leq 2500$					I
					$\leq 3500$	$\leq 4200$			II
							$> 3500$	$> 4200$	III

które według skali GSI-2004-S określają odporność dynamiczną budynków murowych w Polkowicach. Przedział wartości podstawowej częstotliwości drgań własnych podzielono na dwa podprzedziały od 3 do 7 i od 7 do 10 Hz.

### Wnioski

Skala MSK-64 nie nadaje się do oceny szkodliwości drgań pochodzących od wstrząsów górniczych – szkodliwość jest większa od obserwowanej. Wyniki uzyskane poprzez skale GSI-2004 dobrze korelują z wynikami stanu technicznego obiektów, które przeszły „historię intensywnych wstrząsów”. Korzystanie z przebiegów drgań pomierzonych na swobodnym gruncie w ocenach szkodliwości na niskie budynki murowe poprzez skale SWD-I daje zawyżone rezultaty, ale z reguły pozostające w tej samej strefie szkodliwości co rezultaty uzyskane na podstawie drgań fundamentów budynków.

### LITERATURA

- Ciesielski R., 1961 – Ujęcie obliczeniowe oraz ocena wpływu drgań i wstrząsów pochodzących ze źródeł zewnętrznych na niektóre typy budowli. Politechnika Krakowska, Zeszyt Naukowy, nr 1, Kraków.
- Dubiński J., Mutke G., 2005 – Skala górnicza GSI-2004-V do oceny oddziaływania drgań sejsmicznych od wstrząsów górniczych na powierzchnię LGOM. VIII Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, GIG, Ustroń, 80–91.
- Dubiński J., Mutke G., 2006 – Zweryfikowana skala GSI-2004. Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko, Special Edition, Kwartalnik, GIG, Katowice, 50–60.
- Dubiński J., Jaśkiewicz K., Lurka A., Mutke G., 2006 – Instrukcja prowadzenia powierzchniowych pomiarów sejsmometrycznych, interpretacja wyników oraz oceny i prognozowania drgań sejsmicznych wywołanych wstrząsami górniczymi na powierzchni w LGOM w oparciu o skale GSI-2004. KGHM, Lubin.



- Dubiński J., Mutke G., 2007 – Górnicza Skala Intensywności GSI-GZW do oceny skutków oddziaływania wstrząsów górniczych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym na obiekty budowlane i na ludzi. Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko, Special Edition, Kwartalnik, GIG, Katowice, 50–60.
- Fedorowicz L., Fedorowicz J., Cińcio A., 2001 – Problemy oceny wytrzymałości konstrukcji budynków jednorodzinnych na terenach górniczych. Inżynieria i Budownictwo, 3, 168–170.
- Maciąg E., 2005 – Ocena szkodliwości drgań budynków od wstrząsów górniczych na podstawie drgań ich fundamentów czy drgań gruntu? Inżynieria i Budownictwo, 12, 670–677.
- Maciąg E., Tataro T., 1997 – Szkodliwość dla niskich budynków i uciążliwość dla ludzi drgań wzbudzanych wstrząsami górniczymi. Konferencja Naukowo-Techniczna „Ochrona powierzchni i obiektów budowlanych przed szkodami górniczymi”, GIG, Katowice, 269–285.
- Maciąg E., Tataro T., 1999a – Porównanie oceny szkodliwości drgań od wstrząsów górniczych dla niskiego budynku murowanego na podstawie skal SWD i analizy teoretycznej. Sympozjum „Warsztaty '99”: „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 169–182.
- Maciąg E., Tataro T., 1999b – Oddziaływanie wstrząsów górniczych na budynki i sposoby oceny tych oddziaływań. Konferencje Nr 30: V Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej, GIG, Szczyrk, 228–243.
- Maciąg E., Tataro T., Wojtasiewicz M., 1999 – 3-D response of masonry building subjected to mining related rockbursts. Proc. 4th European Conference on Structural Dynamics EURO-DYN'99, Vol. II, Prague, 925–930.
- Maciąg E., Tataro T., 2004 – Odporność dynamiczna obiektów powierzchniowych na wstrząsy górnicze poprzez uproszczoną analizę i  $a^{MSK}$ . Sympozjum „Warsztaty 2004” z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 369–386.
- Tataro T., 2001 – Przybliżona ocena wpływu drgań od wstrząsów górniczych na budynki. Inżynieria i Budownictwo, Nr 1, 28–33.
- Tataro T., 2002 – Działanie drgań powierzchniowych wywołanych wstrząsami górniczymi na niską tradycyjną zabudowę mieszkalną. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, seria „Inżynieria Lądowa”, nr 74, Kraków.
- Tataro T., 2003 – Stosowanie skal SWD do oceny wpływu drgań górniczych na budynki. X Sympozjum „Wpływy sejsmiczne i parasejsmiczne na budowle”, Kraków, 145–152.
- Tataro T., 2006 – Influence of rigid lintels for dynamic response of low masonry buildings due to mining related surface vibrations. Czasopismo Techniczne – seria Budownictwo, z. 13-B/2006, 143–157.
- Tataro T., 2007 – Ocena odporności zabudowy kubaturowej miasta Polkowice do planu ruch 2008–2010 w oparciu o skalę GSI-2004. Politechnika Krakowska, Kraków, (praca niepublikowana).
- Wawrzyniak A., Lipski Z., Fedorowicz J., 2000 – Ogólna ocena odporności budynków jednorodzinnych na wstrząsy górnicze. Inżynieria i Budownictwo, 8, 422–426.

#### PRZYBLIŻONA OCENA DYNAMICZNEJ ODPORNOŚCI NISKIEJ ZABUDOWY MIESZKALNEJ W OBSZARZE LGOM

##### Słowa kluczowe

Wstrząs górniczy, drgania powierzchniowe, budynek murowy, odporność dynamiczna

##### Streszczenie

W pracy podjęto temat istotny z punktu widzenia praktyki inżynierskiej. W ostatnich latach wzrosło zagrożenie zabudowy powierzchniowej ze strony drgań generowanych podziemną eksploatacją górnictwem. Szczególnie w obszarze LGOM wzrosła intensywność wstrząsów górniczych. W artykule przedstawiono w syntetycznej formie charakterystykę wstrząsów górniczych w obszarze LGOM za okres ostatnich kilku lat. Zestawiono także charakterystyki przykładowych drgań powierzchniowych, uznanych za reprezentatywne, zarejestrowanych równocześnie na gruncie i w budynku w poziomie terenu na jednej ze stacji sejsmicznych w Polkowicach.

Na obszarach objętych bezpośrednimi i pośrednimi wpływami górniczymi, zabudowę tworzą zarówno budynki mieszkalne, tak w obrębie miast i wsi, oraz obiekty własne zakładów górniczych. Zabudowa mieszkalna jest zróżnicowana. Wśród zabudowy miejskiej można wyróżnić budynki wznoszone metodami uprzemysłowionymi (wielka płyta i wielki blok) o wysokości od 5–12 kondygnacji. Budynki mieszkalne wznoszone metodami tradycyjnymi na ogół nie przekraczają 3 kondygnacji. Budynki te są często zróżnicowane pod względem konstrukcyjnym i zastosowanych materiałów. Konstrukcja budynków murowych wzniesionych w ostatnim dziesięcioleciu jest wzmocniona poprzez wprowadzone usztywnienia w postaci żelbetowych wieńców obwodowych i słupów w miejscach krzyżowania się ścian nośnych. W pracy przedstawiono szczegółową charakterystykę konstrukcyjną i stan techniczny budynków murowych w Polkowicach.

Trudne jest przeprowadzenie oceny dynamicznej odporności zabudowy powierzchniowej poprzez wykorzystanie wyników obliczeń ich modeli dynamicznych poprzez np. analizę w czasie (THA), a to przede wszystkim z uwagi na liczbę budynków występujących na tym terenie i czas trwania obliczeń. Dlatego też uzasadnionym jest stosowanie różnego typu skal umożliwiających dokonanie takiej oceny. W pracy dokonano porównania przybliżonej oceny odporności powierzchniowej zabudowy mieszkalnej poprzez skale MSK-64, Skale Wpływów Dynamicznych (SWD) oraz Górnicze Skale Intensywności (GSI-2004). Skalę MSK-64 zastosowano ze względów „historycznych”, bowiem jeszcze do niedawna zakłady górnicze wykorzystywały tę skalę w ocenach szkodliwości drgań powierzchniowych. Skala MSK-64 nie nadaje się do oceny szkodliwości drgań pochodzących od wstrząsów górniczych, bowiem szkodliwość określona na jej podstawie jest większa od obserwowanej.

Do ocen dynamicznej odporności analizowanej zabudowy wykonanych poprzez skalę SWD-I wykorzystano wyniki analiz trójowych przebiegów pojedynczych składowych poziomych drgań rejestrowanych w budynku w poziomie terenu. Skale SWD zostały opracowane na podstawie wyników obliczeń modeli budynków uznanych za wzorcowe. Wyniki ocen poprzez skale SWD podlegały wieloletniej weryfikacji.

Empiryczne skale GSI-2004 do ocen wykorzystują charakterystyki drgań gruntu. Wobec powyższego w celach porównawczych przy stosowaniu skali SWD-I wykorzystano także przebiegi drgań gruntu, które były równocześnie rejestrowane z analizowanymi przebiegami drgań budynku. Wyniki uzyskane poprzez skale GSI-2004 dobrze korelują z wynikami stanu technicznego obiektów, które przeszły „historię intensywnych wstrząsów”. Korzystanie z przebiegów drgań pomierzonych na swobodnym gruncie w ocenach szkodliwości na niskie budynki murowe poprzez skalę SWD-I daje zawyżone rezultaty, ale z reguły pozostające w tej samej strefie szkodliwości, co rezultaty uzyskane na podstawie drgań fundamentów budynków. Oceny odporności analizowanych budynków murowych w Polkowicach wykonane na podstawie skal GSI-2004 i SWD-I można uznać za zbieżne.

#### APPROXIMATE ESTIMATION OF DYNAMIC RESISTANCE OF LOW RESIDENTIAL BUILDINGS IN AREA LGOM

#### Key words

Mining tremor, surface vibrations, masonry building, dynamic resistance

#### Abstract

The study focuses on an important subject in the engineering practice. Threat of surface building has grown in last years due to vibration generated by underground mining exploitation. Intensity of mining shakes has particularly increased in the LGOM area. The paper presents in synthetic form the characteristics of mining shakes in the LGOM area for the period of last several years. It also collates characteristics of exemplary surface vibrations, regarded as representative, and simultaneously measured on ground and in building in one of the seismic station in Polkowice.

In areas subjected to direct and indirect mining influences, habitable buildings create building, within cities as well as villages, and also structures of mining plants. Habitable building is differentiated. It is possible to indicate buildings erected among city building by industrialized methods (great plate and great block) of the height from 5–12 storeys. In general, habitable buildings constructed by traditional methods do not surpass 3 storeys.

These masonry buildings are often differentiated in respect of design and used materials. Construction of masonry buildings has been reinforced in the last decade through introduced stiffening in the form of RC floor rings and vertical pillars in places of crossing of carrying walls. The study presents detailed design characteristics and the state of technical condition of masonry buildings in Polkowice.

Conducting the estimate of dynamic resistance of surface building is difficult because of utilization of calculation results of its dynamic models through e.g. time history analysis (THA), but first of all, due to the number of buildings on this area and the duration of calculations. Therefore it sounds reasonable to apply different types of scales enabling such estimation.

The study compares the approximate estimate of resistance of the habitable building surface through the following scales: MSK-64, Scales of Dynamic Influences (SWD) and Mining Scales of Intensity (GSI-2004). It employs the MSK-64 scale because of „historic” reasons. Not so long mining plants used this scale to estimate the harmfulness of surface vibrations. Yet, it is not a suitable scale for estimation of the harmfulness of vibration from mining shakes, the harmfulness being overestimated.

The SWD-I scale has been applied for the estimation of dynamic resistance of the analyzed buildings. The results of the third octave analysis of single horizontal component of vibrations registered in the building at ground level for have been used. SWD scales have been created on the basis of results of calculation results of buildings models assumed as benchmark. Results of estimates were subjected to many years of verification through SWD scales.

Empirical GSI-2004 scales use characteristics of ground vibrations for estimates. In accordance with the above mentioned idea, for comparative reasons, while applying the SWD-I scale the records of ground vibrations which were measured simultaneously with building vibrations have been taken into account. The results obtained through GSI-2004 scales correlate with the results of the technical conditions of masonry buildings which have successfully gone through „ history intensive shakes”. The use of free ground vibrations in estimates of harmfulness of low masonry buildings by means of SWD-I scale gives overrated results, yet generally still remaining in same zone of harmfulness obtained on the basis of vibrations of building foundations. Estimates of dynamic resistance of analyzed masonry buildings in Polkowice were executed by means of SWD-I and GSI-2004 scales are seen as convergent.