

Przekazywanie drgań od wstrząsów górniczych z gruntu na fundamenty budynków różnego typu

Influence of building type on the transmission of mine-induced vibrations from the ground to building foundations



*Dr hab. inż. Krystyna Kuźniar, prof. UP**



*Prof. dr hab. inż. Tadeusz Tatara***

Treść: Praca dotyczy analizy przekazywania drgań, których źródłem były wstrząsy górnicze w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM), z gruntu na fundamenty budynków mieszkalnych trzech typów: niskich, średniej wysokości i wysokich. Do oceny wpływu typu budynku na to przekazywanie wykorzystano najprostszy, często stosowany sposób określania różnic w jednocześnie zarejestrowanych drganiach fundamentu budynku i gruntu obok budynku – porównanie maksymalnych wartości (amplitud) tych drgań (przyśpieszeń, prędkości). Uwzględniono zależność od parametrów wstrząsów górniczych i drgań gruntu (energia wstrząsu, odległość epicentralna, maksymalna wartość drgań gruntu obok budynku) oraz porównywano zmiany w relacji maksymalnych wartości drgań gruntu i fundamentu budynku w funkcji częstotliwości w przypadku różnych obiektów. Stwierdzono, że na ogół drgania pomierzone na fundamentach budynków istotnie różnią się od rejestrowanych na gruncie obok budynków. Daje się też zauważyć wpływ konstrukcji budynku na wielkość tych różnic w zakresie stosunku maksymalnych wartości jednocześnie zachodzących drgań gruntu obok budynku i fundamentu budynku.

Abstract: This paper presents the analysis of the transmission of vibrations induced by mining tremors in Legnica-Glogow Copperfield (LGC) from the ground to the foundations of three types of apartment buildings: low buildings, medium-high and tall buildings. In order to evaluate the influence of building type on the transmission, the ratio of maximal foundation value of vibrations (accelerations, velocities) and the maximal ground value of vibrations (as the very simple and popular way of analysis of the differences between ground and building foundation vibrations) was taken into account. The influence of some mining tremors and ground vibrations parameters (mining tremor energy, epicentral distance, maximum value of ground vibrations) on the vibrations reduction was taken into consideration. Alternatively, the changes in the relationship of the maximum value of ground and foundation vibrations in relation to the frequency in case of various buildings were compared. It was found out that generally the vibrations measured on the foundations of the buildings are significantly different from those registered on the ground near the building. The influence of a building type on the size of these differences in the field of the ratios of maximum values of the simultaneously occurring ground and building foundation vibrations was also discovered.

Słowa kluczowe:

wstrząsy górnicze, budynek mieszkalny, przekazywanie drgań gruntu, przyśpieszenie drgań, prędkość drgań

Key words:

mining tremors, apartment building, transmission of vibrations, acceleration of vibrations, velocity of vibrations

1. Wprowadzenie

Jednym ze skutków podziemnej eksploatacji górniczej są wstrząsy górotworu i ich oddziaływanie w postaci propagacji fal sejsmicznych do powierzchni, wzbudzających drgania budynków. Wstrząsy pochodzenia górniczego mają charakter losowy. Występują poza kontrolą człowieka, przypominając słabe trzęsienia ziemi. Istotnym problemem jest więc ocena wpływu drgań od wstrząsów górniczych na obiekty

powierzchniowe. Tymczasem drgania pomierzone na fundamentach budynków mogą się istotnie różnić od jednocześnie rejestrowanych drgań na gruncie obok budynków [2] i [7]. Ze względu na to, że dokładniejsze określenie szkodliwości drgań dla budynków możliwe jest na podstawie przebiegów drgań ich fundamentów [3], ważną z praktycznego punktu widzenia jest ocena sposobu przekazywania drgań z gruntu na fundament obiektu.

Praca dotyczy analizy wpływu typu budynku na przekazywanie drgań, których źródłem były wstrząsy górnicze w jednym z najbardziej aktywnych sejsmicznie regionów

*) Uniwersytet Pedagogiczny, Kraków **) Politechnika Krakowska, Kraków

górnictwa w Polsce, w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM), z gruntu na fundamenty budynków mieszkalnych: niskich, średniej wysokości i wysokich.

Wykorzystano najprostszy, często stosowany sposób oceny przekazywania drgań z gruntu na fundament budynku [1]; [5]; [6], a mianowicie porównanie maksymalnych wartości jednocześnie zarejestrowanych drgań fundamentu budynku i gruntu obok budynku. Pod uwagę wzięto maksymalne wartości przyspieszeń oraz maksymalne wartości prędkości drgań poziomych. W przypadku każdego ze wstrząsów porównywano maksymalne wartości zarejestrowanych jednocześnie poziomych składowych drgań fundamentu budynku i gruntu w kierunkach równoległych do odpowiednich osi (poprzecznej i podłużnej) w odniesieniu do wszystkich analizowanych budynków. Jednocześnie badano zależność redukcji maksymalnych wartości drgań przy przekazywaniu ich z podłoża na fundamenty budynków od parametrów wstrząsów górniczych i drgań gruntu (energia wstrząsu, odległość epicentralna, maksymalna wartość drgań gruntu obok budynku). Dla różnych typów budynków dokonano również porównania zmian w relacji maksymalnych wartości drgań fundamentu budynku i gruntu w funkcji częstotliwości.

Dodatkowo, w przypadku budynków zaliczanych do klasy budynków o średniej wysokości oraz budynków wysokich, dokonano analogicznych analiz dotyczących przemieszczeń drgań wzbudzanych odstrzałami materiału wybuchowego w kopalni odkrywkowej (kamieniołomie).

2. Analizowane budynki

Wpływ typu budynku na sposób przekazywania drgań wywołanych wstrząsami górniczymi z gruntu na fundament budynku porównywano w przypadku obiektów z trzech klas budynków mieszkalnych: budynków niskich, budynków średniej wysokości i budynków wysokich. Wszystkie rozważane budynki można traktować jako typowe, najczęściej występujące na terenach objętych eksploatacją górnictwa w rejonie LGOM, reprezentatywne dla budynków ze swoich klas. Budynki należące do różnych klas: niskie, średniej wysokości i wysokie różnią się właściwościami dynamicznymi (np. częstotliwościami drgań własnych).

Grupę budynków niskich analizowano na przykładzie trzech jednokondygnacyjnych, wzniesionych metodą tradycyjną (murowanych), jednorodzinnych domów mieszkalnych, oznaczonych jako N1, N2, N3. Budynki N1 i N2 są podpiwniczone, z kolei budynek N3 jest bez podpiwniczenia.

Z klasy budynków średniej wysokości rozważono typowy mieszkalny, prefabrykowany, wieloblokowy, wielosegmentowy budynek o pięciu kondygnacjach i poprzeczno-podłużnym układzie ścian nośnych, w całości podpiwniczony, posadowiony na ławach fundamentowych. Podłoże gruntowe stanowi warstwa gleby, a poniżej znajduje się glina piaszczysta, miejscami piasek średni i piasek drobny. Budynek ten oznaczono jako S1.

W przeprowadzonych analizach klasę budynków wysokich reprezentuje dwunasto-kondygnacyjny, mieszkalny budynek wielopłytowy z poprzeczno-podłużnym układem ścian nośnych. Można w nim wyróżnić dwa oddylatowane segmenty: jedno- i dwuklatkowy. Obiekt jest w całości podpiwniczony i posadowiony na ławach fundamentowych. Konstrukcję budynku wzmocniono poprzez wprowadzenie dodatkowych przęseł przylegających do ścian szczytowych, które wykonano w technologii betonu monolitycznego. Wzmocnienia sięgają odpowiednio do siódmej i dziesiątej kondygnacji w części jedno- i dwuklatkowej. Dobudowane wzmocnienia przebiegają przez całą szerokość budynku i posadowione są na fundamentach płytowych. W przypadku tego budynku zastosowano oznaczenie W1.

Dodatkowo analizą objęto budynek średniej wysokości S2 i budynek wysoki W2, zlokalizowane w rejonie oddziaływań drgań wzbudzanych odstrzałami materiału wybuchowego w kopalni odkrywkowej (kamieniołomie). Są to budynki ścianowe prefabrykowane, odpowiednio o pięciu i dwunastu kondygnacjach, podpiwniczone, posadowione na rumoszu wapiennym przechodzącym w skałę miękką (wapień).

3. Przekazywanie drgań z podłoża gruntowego na fundamenty budynków różnego typu

Oceny przekazywania drgań z gruntu na fundamenty rozważanych budynków dokonano poprzez porównanie maksymalnych wartości (amplitud) jednocześnie zarejestrowanych drgań dolnej części budynku (fundamentu) i gruntu obok budynku. Skupiono się na przyspieszeniach drgań poziomych, ale dodatkowo, dla porównania, w artykule zamieszczono też niektóre rezultaty otrzymane w przypadku prędkości i przemieszczeń drgań. Analizowano przebiegi przyspieszeń drgań zarejestrowane równocześnie na gruncie i w budynku od wielu wstrząsów górniczych. Pod uwagę wzięto dwie składowe drgań poziomych: x i y, równoległe odpowiednio do osi poprzecznej i podłużnej budynku. Przekazywanie drgań z gruntu na budynek rozważano osobno w kierunku x, osobno w kierunku y, oraz w obu kierunkach bez różnicowania (x i y). Czujniki pomiarowe na gruncie umieszczono w odległości kilku metrów od budynku, a czujniki w budynku ustawiono na fundamentach. Przebiegi prędkości drgań uzyskiwano poprzez całkowanie zarejestrowanych przebiegów przyspieszeń drgań.

Wyliczono zatem ułamek a_{fmax}/a_{gmax} , gdzie: a_{fmax} , a_{gmax} – odpowiednio maksymalna wartość przyspieszeń drgań fundamentu budynku i gruntu obok budynku (tab. 1). Maksymalne wartości składowych przyspieszeń drgań na gruncie i na fundamencie budynku zwykle nie pojawiają się w tym samym czasie z uwagi na to, że na styku grunt-fundament na ogół następuje modyfikacja przebiegu drgań. Ocena przekazywania drgań z gruntu na fundament budynku poprzez porównywanie ich maksymalnych wartości jest podejściem uproszczonym – nie uwzględnia istotnego parametru drgań jakim jest częstotliwość.

Tabela 1. Średnie wartości ułamków a_{fmax}/a_{gmax} w przypadku budynków różnych typów
Table 1. Average values of ratios a_{fmax}/a_{gmax} in case of various types of buildings

	a_{fmax}/a_{gmax} [-]				
	Budynek N1	Budynek N2	Budynek N3	Budynek S1	Budynek W1
Kierunek x	0,71	0,89	0,95	0,26	0,52
Kierunek y	0,62	0,89	0,89	0,53	0,52
Kierunek x i y	0,67	0,89	0,93	0,38	0,52

Zarejestrowane drgania były wynikiem wstrząsów górniczych w LGOM. Do analizy pod uwagę wzięto tylko wyselekcjonowane pary przebiegów drgań gruntu i fundamentu budynku, w przypadku których spełniony był warunek, że maksymalna wartość przyspieszeń drgań gruntu (a_{gmax}) nie jest mniejsza niż 10 cm/s^2 . Energie En rozważanych wstrząsów zawierają się w przedziale $En = 1,4E4 - 2,0E9$, J, przy czym wstrząsów górniczych o energiach rzędu $E4$, J jest w tej grupie tylko kilka. Z kolei odległości epicentralne (re) tych wstrząsów zawierają się w granicach $re = 270 - 5474$, m. Łącznie do rozważań wzięto kilkadziesiąt par przyspieszeń drgań $a_{gmax} - a_{fmax}$ (pary grunt-fundament): ponad 250 w przypadku budynku N1, ponad 100 w przypadku budynku W1 i po kilkadziesiąt w przypadku budynków N1, N2, N3 (tab. 2).

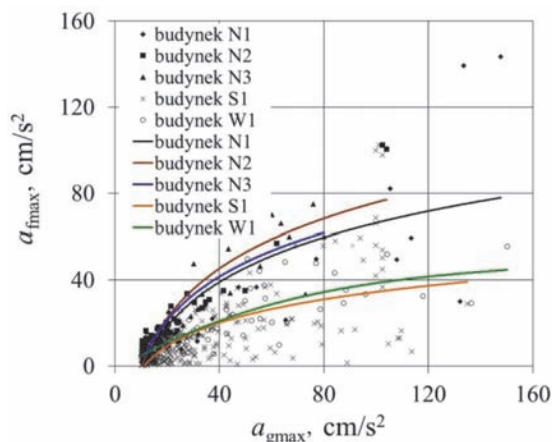
W tabeli 1 zamieszczono średnie wartości ułamków a_{fmax}/a_{gmax} obliczone w przypadku budynków różnego typu: osobno w kierunkach x i y równoległych do odpowiednich osi budynków oraz łącznie dla kierunków x i y. Można zauważyć, że średnio biorąc, wyraźnie najmniejsza redukcja maksymalnych wartości przyspieszeń drgań gruntu przy ich przekazywaniu na fundament budynku ma miejsce w przypadku budynków niskich. Znacznie mniejsze, ale zbliżone do siebie wartości ułamków a_{fmax}/a_{gmax} wyliczono w odniesieniu do budynku średniej wysokości i wysokiego. Nie widać różnicy w przekazywaniu drgań z gruntu na fundamenty budynków w zakresie maksymalnych wartości przyspieszeń drgań w obu kierunkach równoległych do osi budynku (x i y), w przypadku zarówno budynków niskich, jak i wysokiego. Natomiast drgania gruntu podczas przekazywania ich na fundament budynku średniej wysokości w kierunku poprzecznym (x) są tłumione w znacznie większym stopniu niż w kierunku podłużnym (y).

Z kolei w tabeli 2 porównano wybrane wartości ułamków a_{fmax}/a_{gmax} i v_{fmax}/v_{gmax} (gdzie: v_{fmax} , v_{gmax} – odpowiednio maksymalna wartość prędkości drgań fundamentu budynku i gruntu obok budynku) wyznaczone w przypadku budynków N1, S1, W1, reprezentujących trzy rozważane typy obiektów. Pary przebiegów drgań (gruntu i fundamentu budynku) użyte do tych obliczeń pochodzą od wstrząsów górniczych o stosunkowo dużych energiach. Widać, że przy przekazywaniu drgań z gruntu na budynek, redukcja maksymalnych wartości prędkości drgań jest z reguły mniejsza niż redukcja maksymalnych wartości przyspieszeń drgań dla tych samych wstrząsów górniczych. Wniosek ten dotyczy budynków wszystkich analizowanych typów i w przypadku każdego budynku obu kierunków drgań (równoległych do osi budynku). Wniosek ten wyraźnie ilustruje również porównanie średnich wartości ułamków a_{fmax}/a_{gmax} i v_{fmax}/v_{gmax} wyznaczonych z uwzględnieniem wstrząsów o parametrach podanych w tabeli 2. Ponadto uwagę zwraca dużo większa wartość średnia ułamka a_{fmax}/a_{gmax} podana w tabeli 2 w przypadku budynku S1, wyznaczona na podstawie kilku wyselekcjonowanych par przebiegów drgań od wstrząsów wysokoenergetycznych, w stosunku do analogicznej wartości z tabeli 1, która wynika z uwzględnienia ponad 250 par przebiegów drgań od wstrząsów górniczych o energiach z szerszego zakresu, wybranych zgodnie z warunkiem, żeby a_{gmax} nie było mniejsze niż 10 cm/s^2 . Duży rozrzut wartości ułamków a_{fmax}/a_{gmax} i v_{fmax}/v_{gmax} występuje w przypadku przekazywania drgań z gruntu na fundamenty wszystkich budynków, nawet jeśli analizuje się drgania tylko w jednym kierunku równoległym do osi budynku x albo y (rys. 1, rys. 2).

Tabela 2. Wartości ułamków a_{fmax}/a_{gmax} i v_{fmax}/v_{gmax} wyznaczone dla grup wybranych wstrząsów górniczych w przypadku budynków N1, S1, W1

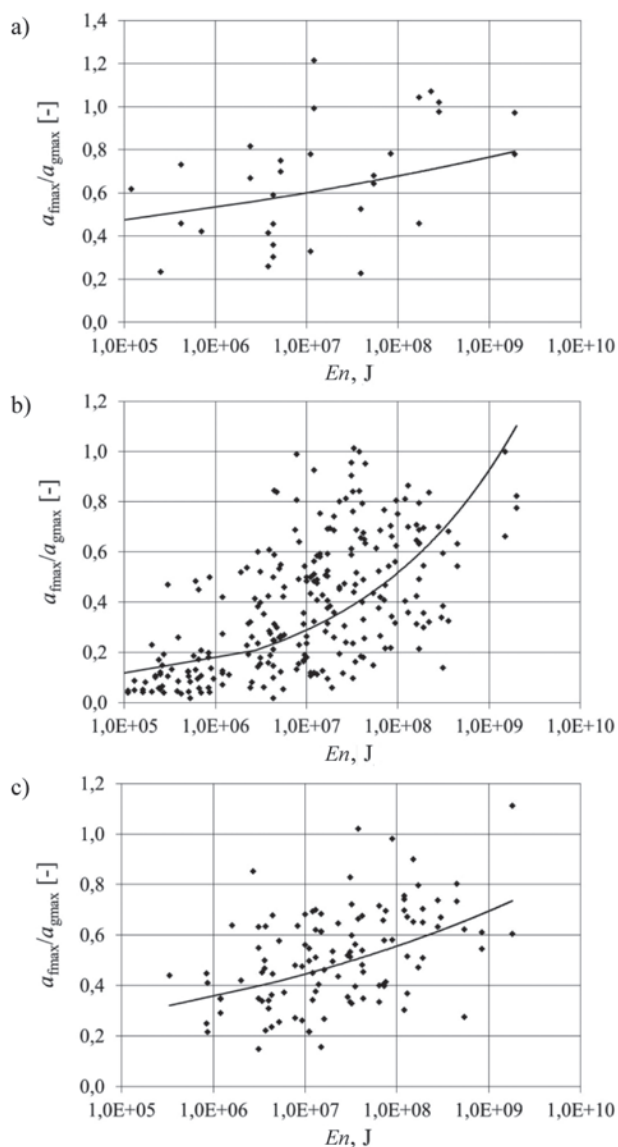
Table 2. Values of ratios a_{fmax}/a_{gmax} and v_{fmax}/v_{gmax} computed for the groups of selected mining tremors in case of buildings N1, S1, W1

Budynek	En, J	re, m	a_{fmax}/a_{gmax} [-]				v_{fmax}/v_{gmax} [-]			
			x	y	x i y	średnia	x	y	x i y	średnia
N1	4,3E+06	548	0,46	0,59	0,52	0,73	1,18	1,18	1,18	1,15
	1,2E+07	470	1,21	0,99	1,10		1,52	1,36	1,44	
	3,9E+07	499	0,53	0,23	0,38		1,33	0,93	1,13	
	1,7E+08	450	1,04	0,46	0,75		0,99	0,92	0,95	
	1,9E+09	980	0,97	0,78	0,88		0,98	1,08	1,03	
S1	2,0E+07	2346	0,37	1,41	0,89	0,69	0,45	0,94	0,70	0,87
	3,3E+07	270	0,44	1,01	0,73		1,29	0,84	1,06	
	3,5E+07	655	0,54	0,68	0,61		0,87	0,83	0,85	
	3,8E+07	1733	0,77	1,00	0,89		1,04	1,07	1,06	
	6,4E+07	629	0,41	0,27	0,34		0,70	0,54	0,62	
	1,7E+08	912	0,69	0,72	0,71		0,51	1,19	0,85	
	1,5E+09	1174	0,65	0,67	0,66		0,81	1,15	0,98	
W1	1,1E+07	537	0,21	0,50	0,36	0,51	0,46	0,67	0,56	0,87
	4,3E+07	903	0,35	0,46	0,40		0,82	0,78	0,80	
	6,4E+07	472	0,40	0,33	0,36		0,66	0,65	0,66	
	1,2E+08	1020	0,33	0,74	0,54		0,83	1,23	1,03	
	1,3E+08	650	1,01	0,45	0,73		1,18	1,19	1,19	
	1,7E+08	963	0,80	0,49	0,64		0,98	0,64	0,81	
	5,4E+08	676	0,28	0,60	0,44		0,53	0,84	0,69	
	8,4E+08	923	0,63	0,58	0,61		1,21	1,18	1,19	



Rys. 1. Porównanie relacji wartości a_{fmax} do wartości a_{gmax} w przypadku budynków różnych typów

Fig. 1. Comparison of the relations of the value a_{fmax} and the value a_{gmax} in case of various types of buildings

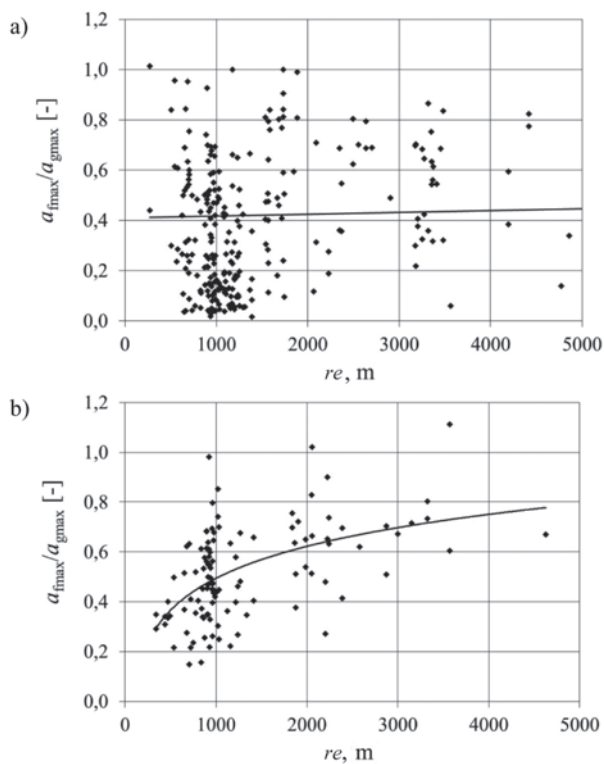


Rys. 2. Zależność ułamków a_{fmax}/a_{gmax} od energii wstrząsów górniczych (En) w przypadku budynków różnych typów: a) N1; b) S1; c) W1

Fig. 2. Ratios a_{fmax}/a_{gmax} versus mining tremor energies (En) in case of various types of buildings: a) N1; b) S1; c) W1

Analizując linie trendu wyznaczone dla relacji wartości a_{fmax} do wartości a_{gmax} (rys. 1), można stwierdzić, że w przypadku wszystkich rozważanych typów budynków, większe wartości maksymalnych przyspieszeń drgań ulegają większej redukcji przy przekazywaniu drgań z gruntu na fundament budynku. Wyraźnie również widać (rys. 1), że w zakresie stosunku wartości a_{fmax} do wartości a_{gmax} , drgania gruntu znacznie lepiej przekazują się na fundamenty budynków niskich (N1, N2, N3) niż na fundamenty budynku średniej wysokości (S1) i wysokiego (W1).

Można również dostrzec wzrost wartości ułamka a_{fmax}/a_{gmax} wraz z przejściem do kolejnych pasm wielkości energii wstrząsów górniczych (En) – wzrostu wartości ułamka a_{fmax}/a_{gmax} ze wzrostem wartości En . Taki trend widać np. na rys. 2 w odniesieniu do budynków reprezentujących wszystkie trzy analizowane klasy obiektów (budynki: N1, S1, W1).



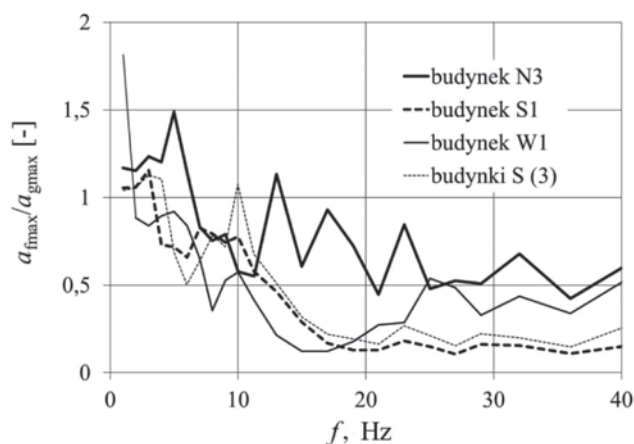
Rys. 3. Zależność ułamków a_{fmax}/a_{gmax} od odległości epicentralnych (re) w przypadku budynków: a) S1; b) W1

Fig. 3. Ratios a_{fmax}/a_{gmax} versus epicentral distances (re) in case of buildings: a) S1; b) W1

Na rys. 3 pokazano zależność ułamków a_{fmax}/a_{gmax} od odległości epicentralnych (re), przykładowo w przypadku budynku średniej wysokości S1 (rys. 3a) i budynku wysokiego W1 (rys. 3b). O ile w odniesieniu do budynku wysokiego W1 można doszukiwać się wzrostu wartości tych ułamków wraz ze wzrostem odległości epicentralnej, o tyle w przypadku budynku średniej wysokości S1 nie widać żadnej prawidłowości – zakres wartości ułamków a_{fmax}/a_{gmax} w kolejnych przedziałach odległości epicentralnych jest zbliżony. Potwierdzają to linie trendu pokazane na rys. 3.

Rozkład przebiegów przyspieszeń drgań gruntu i fundamentów budynków na drgania składowe w poszczególnych pasmach częstotliwości pozwolił na obliczenie wartości ułamków a_{fmax}/a_{gmax} w funkcji częstotliwości (f). Na rys. 4 porównano odpowiednie, wyznaczone z uwzględnieniem wszystkich rozważanych par przebiegów drgań gruntu i fundamentu analizowanego budynku, średnie wartości tych ułamków

w przypadku niskiego budynku N3, budynku średniej wysokości S1 i budynku wysokiego W1. Dodatkowo na rys. 4 zamieszczono krzywą przygotowaną na podstawie średnich wartości ułamków $a_{f_{\max}}/a_{g_{\max}}$ obliczonych z uwzględnieniem danych dotyczących trzech (budynek S1 i dwa inne budynki) mieszkalnych budynków (wielkoblokowych i wielkopłytowych) średniej wysokości (budynki S). Widać, że średnie wartości ułamków $a_{f_{\max}}/a_{g_{\max}}$ wyznaczone w funkcji częstotliwości łącznie w przypadku trzech budynków są porównywalne z odpowiednimi średnimi wartościami obliczonymi tylko na podstawie przekazywania drgań z gruntu na fundament jednego budynku S1. Wyraźnie większe wartości ułamka $a_{f_{\max}}/a_{g_{\max}}$ pojawiają się w przypadku budynków wysokiego i średniej wysokości w pasmach niższych częstotliwości (do ok. 6 Hz – budynek W1; do ok. 12 Hz – budynki S), podczas gdy w przypadku budynku niskiego to pasmo jest znacznie szersze.



Rys. 4. Wartości ułamków $a_{f_{\max}}/a_{g_{\max}}$ w funkcji częstotliwości w przypadku budynków różnych typów

Fig. 4. Values of ratios $a_{f_{\max}}/a_{g_{\max}}$ in relation to the frequency in case of various types of buildings

Przekazywanie drgań z gruntu na fundamente budynków zaliczanych do ww. klas budynków średniej wysokości i wysokich w zakresie zmiany maksymalnych wartości drgań fundamentu w stosunku do maksymalnych wartości drgań gruntu może mieć odmienny charakter gdy źródłem drgań są odstrzały materiału wybuchowego w pobliskim kamieniołomie. Mimo, że tego typu drgania też powstają w wyniku działalności górniczej (kopalnia odkrywkowa), to specyfika źródła drgań i ich charakter jest inny niż w przypadku

Tabela 3. Średnie wartości ułamków $d_{f_{\max}}/d_{g_{\max}}$ wyznaczone dla wstrząsów wzbudzonych w kamieniołomie w przypadku budynków S2 i W2

Table 3. Average values of ratios $d_{f_{\max}}/d_{g_{\max}}$ computed for tremors induced in the quarry in case of buildings S2 and W2

	$d_{f_{\max}}/d_{g_{\max}}$ [-]		
	Kierunek x	Kierunek y	Kierunek x i y
Budynek S2	0,73	0,83	0,77
Budynek W2	0,16	0,18	0,17

wstrząsów górniczych. Dla ilustracji tych różnic, w tabeli 3 zestawiono średnie wartości ułamków $d_{f_{\max}}/d_{g_{\max}}$ (gdzie: $d_{f_{\max}}$, $d_{g_{\max}}$ – odpowiednio maksymalna wartość przemieszczenia drgań fundamentu budynku i gruntu obok budynku) wyznaczone w przypadku budynku średniej wysokości S2 i budynku wysokiego W2.

4. Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań doświadczalnych w zakresie zmiany (redukcji albo wzmocnienia) maksymalnych wartości przyspieszeń, a także maksymalnych wartości prędkości drgań wywołanych wstrząsami górniczymi przy ich przekazywaniu z gruntu na fundamente typowych na obszarach górniczych budynków różnych typów wynika, że trudno jest jednoznacznie określić sposób tego przekazywania. Wyliczone wartości ułamków $a_{f_{\max}}/a_{g_{\max}}$ i $v_{f_{\max}}/v_{g_{\max}}$ charakteryzują się dużym rozrzutem w przypadku przekazywania drgań z gruntu na fundamente wszystkich rozważanych budynków. Podanie dokładnej zależności nie jest możliwe, ale dają się zauważyć pewne różnice w średnich, wyliczonych na podstawie danych dotyczących wielu wstrząsów górniczych, wartościach tych ułamków odpowiadających budynkom różnego typu. Porównując uzyskane wyniki analiz, można również dopatrywać się różnic w stopniu zmian maksymalnych wartości drgań podczas przekazywania drgań z gruntu na fundamente budynków niskich, średniej wysokości i wysokiego, w zależności od parametrów wstrząsów (energia wstrząsu, odległość epicentralna) i parametrów drgań gruntu (amplituda, częstotliwość).

Również istotne różnice w zakresie zmian maksymalnych wartości przemieszczeń drgań przy przekazywaniu drgań z gruntu na fundamente budynku średniej wysokości i budynku wysokiego obserwuje się w przypadku źródła drgań parasejsmicznych innego typu, ale także związanego z działalnością górniczą – odstrzałów materiału wybuchowego w kamieniołomie.

Literatura

- Ciesielski R., Maciąg E.: Drgania drogowe i ich wpływ na budynki, Wyd. Kom. i Łącz., Warszawa 1990.
- Kuźniar K., Maciąg E., Tatara T.: Acceleration response spectra from mining tremors. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (ECEES), Geneva 2006, Switzerland, Abstract Book, 2006, 466-467 (full paper on CD).
- Maciąg E.: Ocena szkodliwości wstrząsów górniczych dla budynków na podstawie drgań ich fundamentów czy gruntu? „Inżynieria i Budownictwo” 2005, nr 12, s. 670-677.
- Maciąg E.: Interakcja układu budynek-podłoże gruntowe w świetle doświadczalnego badania drgań parasejsmicznych. „Inżynieria Morska i Geotechnika” 2006, nr 4, s. 240-250.
- Stypula K.: Drgania mechaniczne wywołane eksploatacją metra płytkiego i ich wpływ na budynki, Zeszyty Nauk. Politechniki Krakowskiej, seria „Inżynieria Lądowa”, 2001, nr 72.
- Tatara T.: Działanie drgań powierzchniowych wywołanych wstrząsami górniczymi na niską tradycyjną zabudowę mieszkalną. „Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej”, seria „Inżynieria Lądowa”, 2002, nr 74.
- Tatara T.: Odporność dynamiczna obiektów budowlanych w warunkach wstrząsów górniczych, Wydawnictwo PK, Kraków 2012.